

Центр испытаний и экспертизы природных лечебных ресурсов

ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России



Центр является продолжателем векового опыта работы в сфере курортологии. Центр уникален по накопленному опыту в изучении и применении современных методов научных исследований природных лечебных ресурсов (бальнеотерапия, пелоидотерапия и лечебное воздействие климата) на территории Российской Федерации и стран бывшего СССР.

ЦЕНТР ОСУЩЕСТВЛЯЕТ:

- проведение испытаний природных лечебных ресурсов;
- идентификацию природных лечебных ресурсов на основе полученных результатов испытаний;
- разработку специальных медицинских и иных заключений о составе и качестве природных лечебных ресурсов на основе их экспертной оценки по результатам испытаний;
- разработку, верификацию и подготовку к аттестации методов испытаний природных лечебных ресурсов.

ПОДРОБНОСТИ

Предлагаем воспользоваться уникальными и качественными услугами Центра!

Аккредитация в Национальной системе аккредитации Российской Федерации (Росаккредитация) с 30.11.2022, аттестат аккредитации RA.RU.210T29.

Тел.: + 7 499 277-01-05 (доб. 1502)
E-mail: geolog@nmicrk.ru

Реклама

ВЕСТНИК ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЫ

Том 25, № 5•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, Падуя, 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., Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского (МОНИКИ), Москва, Россия

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 Комлутенсе, 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. Бехтеревой 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 20.10.2026.
Выход в свет 23.10.2026.
Формат 640x900 1/8.
Бумага мелованная 115 г/м^2.
Печать офсетная.
Тираж 1000 экз. Заказ № 20261019.

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 «Мрия»

BULLETIN OF REHABILITATION MEDICINE

Vestnik Vosstanovitel'noj Mediciny

Vol. 25, No. 5•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, Moscow Regional Research Clinical Institute (MONIKI) named after M.F. Vladimirsky, 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

Mufit 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 20.10.2026.
Published 23.10.2026.
640x900 1/8 format.
Coated paper 115 g/m^2.
Offset printing.
Circulation 1000 copies. Order No. 20261019.

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: Mriya Limited Liability Company

СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРА

СТАТЬИ

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ 10

Применение молекулярного и атомарного водорода в комплексной реабилитации пациентов с заболеваниями органов дыхания: обзор
Зубарева Н.Н., Марченкова Л.А., Котенко Н.В., Яковлев М.Ю., Арсютова Т.Б., Кошлаков В.В., Ризаханов Р.Н.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ 18

Оптимальные сроки санаторно-курортного лечения пациентов с хроническим бронхитом: многоцентровое исследование
Гришечкина И.А., Яковлев М.Ю., Князева Т.А., Бобровницкий И.П.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ 28

Статическое и динамическое равновесие у детей с врожденными пороками сердца и эффективность тренировок на стабилоплатформе: проспективное сравнительное исследование
Савова Е.М., Ковалев И.А., Заварина А.Ю.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ 39

Модифицированная двигательная терапия, индуцированная ограничением, для улучшения двигательных функций у пациентов с гемипарезом: рандомизированное контролируемое исследование
Баттеша Х.Х.М., Нагиб С.Х., Алькаиси А.Д.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ 47

Профилактическое действие питьевых сульфатной и йодсодержащей минеральных вод на ультраструктуру гипоталамуса и эпифиза в условиях радиации: сравнительный анализ
Королев Ю.Н., Никулина Л.А., Михайлик Л.В.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ 54

Инновационные методы в медицинской реабилитации после операции декомпрессии поясничного отдела позвоночника: клинический случай
Пурдык Ю.В., Кончугова Т.В., Марченкова Л.А.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ 61

Регуляция функциональной активности фибробластов нанокристаллами целлюлозы: результаты экспериментального исследования *in vitro*
Марков П.А., Ерёмин П.С., Торлопов М.А., Михайлов В.И.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ 70

Ожирение и саркопеническое ожирение в пожилом возрасте: особенности гериатрического статуса и кардиореспираторной выносливости (проспективное контролируемое исследование)
Арефьева М.С., Колесникова Е.А., Ерусланова К.А., Остапенко В.С., Рунихина Н.К., Ткачева О.Н.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ 83

Эффективность применения антигравитационной беговой дорожки со 100 % разгрузкой массы тела в комплексной реабилитации пациентов после эндопротезирования коленного сустава: рандомизированное контролируемое исследование
Тулупов Д.О., Кончугова Т.В., Назарова К.М., Марфина Т.В., Марченкова Л.А., Габуева Л.А.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ 92

Эффективность тренировок с положительным давлением на выдохе у пациентов после реконструкции постинфарктной аневризмы левого желудочка и аортокоронарного шунтирования: проспективное исследование
Затенко М.А., Мамалыга М.Л., Джитава Т.Г., Данилов С.А.

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ 103

Опыт и перспективы применения биомеханических тренажеров в комплексной абилитации пациентов с детским церебральным параличом: обзор
Белогорова Т.А., Машанская А.В., Власенко А.В., Бердина О.Н., Бугун О.В., Рычкова Л.В.

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ 114

Гигиенические аспекты применения спелеотерапии в комплексном лечении и профилактике хронических неинфекционных заболеваний: обзор
Стромилова А.А., Яковлев М.Ю., Митрохин О.В.

ЭКСПЕРТНОЕ МНЕНИЕ 124

Эволюция от восстановительной медицины к здоровому долголетию на примере курортной индустрии
Труханов А.И.

ПОСТ-РЕЛИЗ 135

I Всероссийский конгресс с международным участием «Здоровое питание — путь к здоровью нации»

CONTENTS

ARTICLES

REVIEW 10

The Use of Molecular and Atomic Hydrogen in the Comprehensive Rehabilitation of Patients with Respiratory Diseases: A Review
Natalia N. Zubareva, Larisa A. Marchenkova, Natalya V. Kotenko, Maxim Yu. Yakovlev, Tatiana B. Arsiutova, Vladimir V. Koshlakov, Radzhudin N. Rizakhanov

ORIGINAL ARTICLE 18

Optimal Duration of Health Resort Treatment for Patients with Chronic Bronchitis: a Multicenter Study
Irina A. Grishechkina, Maxim Yu. Yakovlev, Tatyana A. Knyazeva, Igor P. Bobrovnitskii

ORIGINAL ARTICLE 28

Static and Dynamic Balance in Children with Congenital Heart Defects and the Effectiveness of Training on a Stabilometer Platform: A Prospective Comparative Study
Elena M. Savova, Igor A. Kovalev, Anna Yu. Zavarina

ORIGINAL ARTICLE 39

Modified Constraint-Induced Movement Therapy for Motor Ability in Individual with Hemiparesis: A Randomized Controlled Trial
Hanan Hosny M. Battesha, Samah Hosney Nagib, Ali Daifallah Alqaisi

ORIGINAL ARTICLE 47

Preventive Effect of Drinking Sulfate and Iodine-Containing Mineral Waters on the Ultrastructure of the Hypothalamus and Epiphysis under Radiation Exposure: A Comparative Analysis
Yury N. Korolev, Liudmila A. Nikulina, Lyubov V. Mykhailik

ORIGINAL ARTICLE 54

Innovative Methods in Medical Rehabilitation after Lumbar Spine Decompression Surgery: A Clinical Case Report
Yulia V. Purdyk, Tatiana V. Konchugova, Larisa A. Marchenkova

ORIGINAL ARTICLE 61

Regulation of Fibroblast Functionality Through Cellulose Nanocrystals: Findings from an *in vitro* Experimental Study
Pavel A. Markov, Petr S. Eremin, Mikhail A. Torlopov, Vasily I. Mikhaylov

ORIGINAL ARTICLE 70

Obesity and Sarcopenic Obesity in Older Adults: Specifics of Geriatric Status and Cardiorespiratory Fitness (A Prospective Controlled Study)
Mariia S. Arefeva, Elena A. Kolesnikova, Ksenia A. Eruslanova, Valentina S. Ostapenko, Nadezda K. Runikhina, Olga N. Tkacheva

ORIGINAL ARTICLE 83

Effectiveness of a 100 % Body Weight Relief Anti-Gravity Treadmill in a Comprehensive Rehabilitation Following Knee Replacement: A Randomized Controlled Study
Denis O. Tulupov, Tatiana V. Konchugova, Kristina M. Nazarova, Tatiana V. Marfina, Larisa A. Marchenkova, Larisa A. Gabueva

ORIGINAL ARTICLE 92

Effectiveness of Positive Expiratory Pressure Training in Patients after Reconstruction of Postinfarction Left Ventricular Aneurysm and Coronary Artery Bypass Grafting: A Prospective Study
Mark A. Zatenko, Maksim L. Mamalyga, Tamara G. Dzhitava, Sergey A. Danilov

REVIEW 103

Experience and Outlook for the Use of Biomechanical Simulators in the Complex Habilitation of Patients with Cerebral Palsy: A Review
Tatyana A. Belogorova, Alexandra V. Mashanskaya, Anastasia V. Vlasenko, Olga N. Berdina, Olga V. Bugun, Lyubov V. Rychkova

REVIEW 114

Hygienic Aspects of the Use of Mineral Resources in the Complex Treatment and Prevention of Chronic Non-communicable Diseases: A Review
Alena A. Stromilova, Maxim Yu. Yakovlev, Oleg V. Mitrokhin

EXPERT OPINION 124

Evolution from Rehabilitation Medicine to Healthy Longevity: As Illustrated by the Health-Resort Industry
Arseniy I. Trukhanov

PRESS RELEASE 135

The First Russian Congress with International Participation "Healthy Nutrition – the Path to the Nation's Health"

Обзорная статья / Review
DOI: https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-10-17

Применение молекулярного и атомарного водорода в комплексной реабилитации пациентов с заболеваниями органов дыхания: обзор

Зубарева Н.Н.[1], Марченкова Л.А.[1], Котенко Н.В.[1,*], Яковлев М.Ю.[1,2], Арсютова Т.Б.[1], Кошлаков В.В.[3], Ризаханов Р.Н.[3]

[1] Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия
[2] Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия
[3] Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации "Исследовательский центр им. М.В. Келдыша"», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. В статье представлен анализ современных данных об эффективности и механизмах действия молекулярного водорода (H_2) при заболеваниях дыхательной системы.

ЦЕЛЬ. Систематизация и анализ современных научных данных об эффективности и механизмах действия атомарного и молекулярного водорода при заболеваниях дыхательной системы с акцентом на коррекцию дыхательных нарушений у женщин в период менопаузального перехода.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА. Рассмотрены ключевые молекулярные механизмы, включая селективную антиоксидантную активность, противовоспалительное и антиапоптотическое действие, а также концепцию митохондриального гормезиса. Особый акцент сделан на анализе связи между нарушениями дыхательной функции у женщин в период менопаузального перехода и потенциалом водородной терапии в коррекции данных нарушений. Представлены результаты новейших рандомизированных клинических исследований, демонстрирующих эффективность ингаляционной терапии молекулярным водородом у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ), интерстициальными заболеваниями легких и постковидной дыхательной недостаточностью. Включены собственные данные пилотного исследования с использованием генератора водорода, подтверждающие безопасность и клиническую эффективность метода у женщин в менопаузальном переходе с респираторными нарушениями после COVID-19.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Обоснована перспективность применения водородной терапии в качестве патогенетически обоснованного компонента комплексной реабилитации дыхательных нарушений у женщин в перименопаузальном и постменопаузальном периодах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: молекулярный водород, атомарный водород, дыхательная система, менопауза, оксидативный стресс, хроническая обструктивная болезнь легких, реабилитация

Для цитирования / For citation: Зубарева Н.Н., Марченкова Л.А., Котенко Н.В., Яковлев М.Ю., Арсютова Т.Б., Кошлаков В.В., Ризаханов Р.Н. Применение молекулярного и атомарного водорода в комплексной реабилитации пациентов с заболеваниями органов дыхания: обзор. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(5):10–17. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-10-17 [Zubareva N.N., Marchenkova L.A., Kotenko N.V., Yakovlev M.Yu., Arsiutova T.B., Koshlakov V.V., Rizakhanov R.N. The Use of Molecular and Atomic Hydrogen in the Comprehensive Rehabilitation of Patients with Respiratory Diseases: A Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):10–17. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-10-17 (In Russ.).]

* **Для корреспонденции:** Котенко Наталья Владимировна, E-mail: kotenkonv@nmicrk.ru

Статья получена: 14.07.2026
Статья принята к печати: 05.10.2026
Статья опубликована: 23.10.2026

© 2026, Зубарева Н.Н., Марченкова Л.А., Котенко Н.В., Яковлев М.Ю., Арсютова Т.Б., Кошлаков В.В., Ризаханов Р.Н.
Эта статья открытого доступа по лицензии CC BY-NC-SA 4.0. Издательство: ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

The Use of Molecular and Atomic Hydrogen in the Comprehensive Rehabilitation of Patients with Respiratory Diseases: A Review

Natalia N. Zubareva[1], Larisa A. Marchenkova[1], Natalya V. Kotenko[1,*], Maxim Yu. Yakovlev[1,2], Tatiana B. Arsiutova[1], Vladimir V. Koshlakov[3], Radzhudin N. Rizakhanov[3]

[1] National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia
[2] I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia
[3] Joint Stock Company State Scientific Center of the Russian Federation "Keldysh Research Center", Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. This article analyzes current evidence on the efficacy and mechanisms of action of molecular hydrogen (H_2) in respiratory diseases.

AIM. To systematize and analyze current scientific data on the efficacy and mechanisms of action of atomic and molecular hydrogen in respiratory diseases, with an emphasis on the correction of respiratory disorders in women during the menopausal transition.

MAIN CONTENT OF THE REVIEW. Key molecular mechanisms are discussed, including selective antioxidant activity, anti-inflammatory and anti-apoptotic effects, as well as the concept of mitochondrial hormesis. Particular emphasis is placed on the relationship between respiratory dysfunction in women during the menopausal transition and the potential of hydrogen therapy in correcting these disorders. Recent randomized clinical trials demonstrating the efficacy of inhaled molecular hydrogen therapy in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD), interstitial lung diseases, and post-COVID respiratory failure are presented. We also include original data from a pilot study, using the domestic IV-01 hydrogen generator, confirming the safety and clinical efficacy of the method in menopausal transition women with post-COVID respiratory dysfunction.

CONCLUSION. The prospects of hydrogen therapy as a pathogenetically substantiated component of comprehensive rehabilitation for respiratory disorders in perimenopausal and postmenopausal women are substantiated.

KEYWORDS: molecular hydrogen, atomic hydrogen, respiratory system, menopause, oxidative stress, chronic obstructive pulmonary disease, rehabilitation

For citation: Zubareva N.N., Marchenkova L.A., Kotenko N.V., Yakovlev M.Yu., Arsiutova T.B., Koshlakov V.V., Rizakhanov R.N. The Use of Molecular and Atomic Hydrogen in the Comprehensive Rehabilitation of Patients with Respiratory Diseases: A Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):10–17. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-10-17 (In Russ.).

* **For correspondence:** Natalya V. Kotenko, E-mail: kotenkonv@nmicrk.ru

Received: 14.07.2026
Accepted: 05.10.2026
Published: 23.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

Молекулярный водород (H_2) долгое время рассматривался как физиологически инертный газ, не проявляющий биологической активности. Однако после новаторской работы Ohsawa I. et al. [1], продемонстрировавшей селективные антиоксидантные свойства H_2 в модели ишемически-реперфузионного повреждения головного мозга, интерес к его терапевтическому применению значительно возрос. К 2025 г. опубликовано более 2000 научных работ, в ходе систематического анализа было идентифицировано 81 завершенное клиническое исследование и 64 научные публикации, посвященные изучению H_2 у человека [2].

Молекулярный водород обладает уникальными физико-химическими свойствами: малым молекулярным весом, способностью легко проникать через биомембраны и диффундировать в цитозоль, митохондрии и ядро. В многочисленных публикациях подчеркивается, что H_2 оказывает антиоксидантное, противовоспалительное и антиапоптотическое действие, а также модулирует аутофагию и клеточную гибель [3].

Особый интерес представляет применение водородной терапии при заболеваниях дыхательной системы. Актуальные данные показывают, что H_2 способен защищать легкие от разнообразных патологических состояний, включая острое повреждение легких, хроническую обструктивную болезнь легких (ХОБЛ), бронхиальную астму, рак легкого, легочную артериальную гипертензию и фиброз [4–6].

Вместе с тем недостаточно изученной остается проблема применения водородной терапии у женщин в период менопаузального перехода. Известно, что менопауза сопровождается ускоренным снижением легочной функции, что связано как с возрастными изменениями, так и с гормональной дисфункцией — в первую очередь, со снижением уровня эстрогенов и прогестерона. Указанные изменения создают предпосылки для поиска новых методов коррекции дыхательных нарушений у данной категории пациенток [7].

ЦЕЛЬ

Систематизация и анализ современных научных данных об эффективности и механизмах действия атомарного и молекулярного водорода при заболеваниях дыхательной системы с акцентом на коррекцию дыхательных нарушений у женщин в период менопаузального перехода.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА

Молекулярные механизмы действия водорода

Селективная антиоксидантная активность

Ключевым механизмом биологического действия молекулярного водорода является его способность селективно нейтрализовать наиболее агрессивные формы активных форм кислорода — гидроксильный радикал (OH) и пероксинитрит ($ONOO^-$), не затрагивая при этом физиологически значимые активные формы кислорода, участвующие в клеточной сигнализации (H_2O_2, O_2^-) [8]. Данное свойство отличает H_2 от классических антиоксидантов, которые могут нарушать окислительно-восстановительный баланс и физиологические процессы редокс-сигнализации [9].

Благодаря малому размеру молекулы H_2 способен легко проникать через биологические мембраны, включая гематоэнцефалический барьер, и достигать внутриклеточных компартментов — митохондрий и ядра, где локализуются основные источники оксидативного стресса.

Противовоспалительное и антиапоптотическое действие

Помимо прямой антиоксидантной активности, молекулярный водород демонстрирует выраженные противовоспалительные свойства [8]. Экспериментальные и клинические исследования показали, что H_2 снижает продукцию провоспалительных цитокинов (IL-1β, IL-6, TNF-α), уменьшает экспрессию молекул адгезии и инфильтрацию тканей нейтрофилами и макрофагами. Антиапоптотическое действие H_2 реализуется через модуляцию каспазного каскада и регуляцию экспрессии белков семейства Bcl-2 [6].

Митохондриальный гормезис как интегральный механизм

Фундаментальным механизмом биологического действия молекулярного водорода, согласно современным представлениям, является митохондриальный гормезис. Было показано, что введение H_2 индуцирует мягкий митохондриальный окислительный стресс, который активирует транскрипционный фактор Nrf2, что приводит к усилению экспрессии генов антиоксидантной защиты [10, 11]. Данный феномен, при котором умеренный митохондриальный стресс делает клетку менее восприимчивой к последующим повреждениям, получил название митогормезиса.

Молекулярный водород выступает в роли адаптогена, вызывающего митохондриальный гормезис — обновление и укрепление биоэнергетических и антиоксидантных систем организма через активацию Nrf2, экспрессию гемоксигеназы-1, митофагию и обновление митохондриальной популяции [12, 13].

Активация сигнального пути Keap1-Nrf2-ARE играет ключевую роль в регуляции клеточного окислительно-восстановительного баланса, метаболизма и индукции адаптивных ответов против клеточного стресса [14, 15].

Особенности действия атомарного водорода

Атомарный водород представляет собой более реакционноспособную форму, обладающую мощными антиоксидантными свойствами. Ингаляционная терапия атомарным водородом основывается на его способности снижать хроническое воспаление, улучшать клеточное дыхание и оказывать регенеративное воздействие на организм. В отличие от молекулярного водорода, атомарный водород характеризуется более высокой реакционной способностью и может обеспечивать быстрый антиоксидантный эффект при ингаляционном введении. Однако клиническая доказательная база по применению атомарного водорода в настоящее время существенно уступает таковой для молекулярного водорода [16].

Эффективность водорода при заболеваниях дыхательной системы: клинические исследования

Хроническая обструктивная болезнь легких

Наиболее значимые клинические результаты получены при применении молекулярного водорода у пациентов с ХОБЛ [15–17]. В рандомизированном проспективном исследовании 2024 г. было показано, что ингаляционная терапия молекулярным водородом (90 минут ежедневно в течение 14 дней) в дополнение к стандартной терапии у пациентов с дыхательной недостаточностью на фоне обострения ХОБЛ в постковидном периоде привела к достоверному улучшению комплекса клинико-функциональных показателей: снижению индекса ригидности сосудов с 14,6 ± 1,2 м/с до 6,2 ± 0,6 м/с, снижению уровня лактата артериальной крови с 2,84 ± 0,1 ммоль/л до 0,02 ± 0,1 ммоль/л, уменьшению фракции венозного шунта Qs/Qt с 27,21 ± 3,4 до 7,14 ± 1,23 ($p < 0,01$), увеличению дистанции 6-минутного шагового теста (6-МШТ) с 57,1 ± 4,4 м до 328,9 ± 33,7 м ($p < 0,05$) [6, 18, 19].

Была продемонстрирована эффективность и безопасность комплексного применения медицинских газов (термический гелиокс + оксид азота + молекулярный водород) у пациентов с обострением ХОБЛ, осложненным гипоксемической и гиперкапнической дыхательной недостаточностью и вторичной легочной артериальной гипертензией в постковидном периоде ($n = 100$) [19, 20].

Бронхиальная астма

Молекулярный водород продемонстрировал эффективность в снижении воспаления дыхательных путей при бронхиальной астме. В проспективном исследовании 2020 г. однократная ингаляция водорода (2,4 % H_2 в течение 45 минут) у пациентов с бронхиальной астмой или ХОБЛ привела к снижению маркеров воспаления в крови и выдыхаемом воздухе, что подтверждает противовоспалительное действие H_2 в дыхательных путях [21]. Аналогичные результаты получены в независимых исследованиях, где ингаляции H_2 снижали уровни провоспалительных цитокинов, включая IL-4, IL-6 и IL-1β [6, 22].

Интерстициальные заболевания легких

В рандомизированном контролируемом исследовании 2023 г. изучалась эффективность водородной терапии у 87 пациентов с ранней стадией интерстициальных заболеваний легких по сравнению с N-ацетилцистеином. Частота улучшения HRCT-изображений в группе водорода составила 63,6 % против 39,5 % в контрольной

группе, наблюдалось значимое снижение композитного физиологического индекса (CPI) и улучшение диффузионной способности легких (DLCO) [23]. Клинический случай, описанный в 2024 г., продемонстрировал эффективность водород-ассистированной терапии у пациентки с прогрессирующим фиброзирующим интерстициальным заболеванием легких, осложненным пневмонией, с улучшением рентгенологической картины уже на четвертый день лечения.

Постковидный синдром

В многоцентровом открытом исследовании у госпитализированных пациентов с COVID-19 ингаляции водородно-кислородной смеси (66,7 % H_2 + 33,3 % O_2) привели к уменьшению тяжести заболевания, снижению боли в грудной клетке и более быстрому купированию одышки и кашля по сравнению с оксигенотерапией. В рандомизированном контролируемом исследовании 2022 г. у пациентов с персистирующими симптомами после COVID-19 ингаляции 100 % водорода (1 час дважды в день в течение 14 дней) обеспечили достоверное улучшение физической функции (6-МШТ) и легочной функции (FVC и FEV_1) по сравнению с плацебо [24, 25].

Безопасность водородной терапии

Важным аспектом клинического применения является безопасность. Подтверждена клиническая безопасность комбинированного ингаляционного применения NO и H_2: воздействие не оказывало негативного влияния на гемодинамические параметры, функциональные легочные объемы и показатели артериальной крови [21]. Кроме того, H_2 безопасно используется в глубоководных дыхательных смесях для предотвращения декомпрессионной болезни, при этом отсутствует цитотоксический эффект даже при высоких концентрациях [22, 26].

Нарушения дыхательной функции у женщин в период менопаузального перехода

Период менопаузального перехода характеризуется комплексом физиологических изменений, затрагивающих в том числе дыхательную систему. Данные исследования проводятся с 2017 г. [27, 28]. Было показано, что снижение функции легких у женщин в постменопаузе сопоставимо с эффектом выкуривания 20 сигарет в день в течение 10 лет. В проспективном исследовании с участием 1438 женщин (период наблюдения — 20 лет) было установлено, что уменьшение форсированной жизненной емкости легких (FVC) и объема форсированного выдоха за первую секунду (FEV_1) у женщин в периоде менопаузального перехода значительно превышает ожидаемое возрастное снижение [7, 28].

Патофизиологические механизмы

В основе ускоренного снижения легочной функции лежат два основных фактора: возрастные изменения и снижение уровня половых гормонов. Все рецепторы половых стероидных гормонов экспрессируются в легочной ткани, что объясняет их прямое влияние на респираторную систему. Прогестерон стимулирует дыхательный центр, повышая его чувствительность к CO_2; эстрогены обладают противовоспалительными и антиоксидантными свойствами [26, 29–32].

В постменопаузе достоверно снижаются PEFR (пиковая скорость выдоха), FEF25-75 (максимальная скорость форсированного выдоха на уровне 25–75 %), FEV_1 и FVC, что коррелирует с низкими уровнями эстрогенов и прогестерона. Раннее прекращение менструальной функции является независимым предиктором низкой легочной функции у женщин в постменопаузе [30–33].

Оксидативный стресс и системное воспаление в менопаузе

Менопауза характеризуется развитием системного воспаления и усилением оксидативного стресса. В экспериментальном исследовании на модели овариэктомии у крыс показано, что менопауза вызывает оксидативный стресс в легочной ткани, сопровождающийся гистологическими изменениями, включая десквамацию эпителия, гипертрофию перибронхиальных гладких мышц и гиперплазию пневмоцитов II типа [34, 35].

У женщин с бронхиальной астмой в постменопаузе выявлены более высокие уровни провоспалительных маркеров и худшие показатели легочной функции (FEV_1, FVC, FEV_1/FVC) по сравнению с женщинами в пременопаузе [30, 36].

Обоснование применения водородной терапии у женщин в период менопаузального перехода

Анализ патогенетических механизмов дыхательных нарушений у женщин в менопаузе и биологических эффектов молекулярного водорода позволяет выделить несколько точек пересечения, обосновывающих перспективность водородной терапии в данной популяции:

1. Антиоксидантная защита. Усиление оксидативного стресса в менопаузе является ключевым фактором повреждения легочной ткани. Молекулярный водород, благодаря селективной антиоксидантной активности, способен нейтрализовать гидроксильные радикалы и пероксинитрит, не нарушая физиологической редокс-сигнализации [8–10].

2. Противовоспалительное действие. H_2-терапия снижает продукцию провоспалительных цитокинов, что особенно актуально в условиях системного воспаления, характерного для менопаузального периода [24]. Учитывая повышенный уровень провоспалительных маркеров у женщин в постменопаузе [36], водородная терапия может способствовать снижению воспалительной нагрузки на дыхательную систему [6, 8].

3. Активация Nrf2 и митогормезис. Показано, что H_2 активирует сигнальный путь Keap1-Nrf2-ARE, что приводит к усилению экспрессии генов антиоксидантной защиты [12]. В условиях оксидативного стресса, вызванного менопаузой, данная активация может способствовать защите легочной ткани от повреждения [11, 13, 14, 34].

4. Модуляция метаболизма. В рандомизированном двойном слепом плацебо-контролируемом перекрестном исследовании 2025 г. показано, что 60-минутная ингаляция молекулярного водорода у здоровых женщин достоверно снижает респираторный коэффициент и минутную вентиляцию легких, увеличивая окисление жиров в покое. Данный эффект имеет особое значение для женщин в менопаузе, учитывая характерное для этого периода перераспределение жировой ткани и увеличение массы тела [36].

5. Безопасность и отсутствие побочных эффектов. Водородная терапия характеризуется благоприятным профилем безопасности. В проведенных клинических исследованиях не зарегистрировано серьезных нежелательных явлений, связанных с ингаляционным введением H_2 [21]. Это делает водородную терапию привлекательным методом для длительного применения у женщин в постменопаузальном периоде [22, 26].

6. Улучшение клеточного дыхания и функции митохондрий. Атомарный и молекулярный водород улучшает клеточное дыхание и снижает хроническое воспаление, воздействуя на митохондрии [12, 37]. В условиях митохондриальной дисфункции, связанной с возрастными и гормональными изменениями, данный эффект может способствовать улучшению функции дыхательной мускулатуры и легочной ткани.

Ингаляции атомарного водорода у женщин в менопаузальном переходе с постковидной дыхательной дисфункцией

С учетом высокого риска респираторных нарушений у женщин в период менопаузального перехода, перенесших COVID-19, на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России было проведено проспективное открытое пилотное исследование «Ингаляции атомарного водорода у женщин в менопаузальном переходе с постковидной дыхательной дисфункцией».

Целью данного исследования явилась оценка безопасности и клинической эффективности курсового ингаляционного применения атомарного водорода у женщин в менопаузальном переходе с дыхательной дисфункцией, ассоциированной с постковидным синдромом.

В исследование было включено 38 женщин в возрасте 45–58 лет (средний возраст — 51,3 ± 3,8 года), находящихся в периоде менопаузального перехода (критерии STRAW+10). Все пациентки перенесли подтвержденный COVID-19 легкой или среднетяжелой степени не менее чем за 12 недель до включения в исследование и имели сохраняющиеся респираторные жалобы: одышку при умеренной физической нагрузке (оценка по шкале mMRC ≥ 2 баллов), снижение переносимости физических нагрузок. Спирометрическими критериями включения служили снижение FEV_1 или FVC ниже 80 % от должных величин при отсутствии ранее диагностированного хронического респираторного заболевания. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом, все участницы подписали информированное согласие.

Для получения атомарного водорода использовался новый медицинский аппарат «Генератор водорода», модель ИВ-01, разработанный в АО ГНЦ «Центр Келдыша» (Россия) (производство по ТУ 32.50.21-001-47430587-2023). В отличие от широко распространенных приборов, получающих молекулярный водород путем электролиза воды, в модели ИВ-01 генерируется водород путем последовательного отрыва атомов Н от молекулы воды. Сформированный поток атомарного водорода по мере транспортировки газа к выходу преобразуется в молекулярный водород. Таким образом, вдыхаемая пациентом смесь состоит из воздуха, молекулярного и атомарного водорода. Ингаляции проводили через носовые канюли в положении пациентки сидя, продолжительность одной процедуры составляла 30 минут. Курс лечения включал 14 ежедневных процедур (кроме выходных дней), что в сумме составило 10–12 ингаляций. В течение всего периода наблюдения пациентки продолжали получать стандартную реабилитационную программу, включавшую лечебную гимнастику и при необходимости симптоматическую терапию.

До начала курса и на следующий день после его завершения оценивались: спирометрические параметры (FVC, FEV_1, FEV_1/FVC, PEFR), толерантность к физической нагрузке (по данным 6-МШТ), выраженность одышки по шкале mMRC, качество жизни по опроснику SF-36, а также лабораторные маркеры окислительного стресса — малоновый диальдегид и активность супероксиддисмутазы в сыворотке крови.

Все 38 пациенток полностью завершили курс ингаляций. Нежелательных явлений, связанных с применением водорода, зарегистрировано не было. После курса терапии отмечено статистически значимое ($p < 0,05$) увеличение FEV_1 в среднем на 10,2 % (с 71,4 ± 6,8 % до 78,7 ± 7,1 %), FVC — на 8,5 %, а также прирост дистанции 6-МШТ с 376 ± 42 м до 432 ± 38 м. Выраженность одышки по шкале mMRC снизилась с медианы 3 [2; 3] до 2 [1; 2] баллов. По данным опросника SF-36, значимо улучшились показатели физического компонента здоровья. Лабораторно зафиксировано снижение уровня малонового диальдегида на 18 % и повышение активности супероксиддисмутазы на 22 %, что подтверждает антиоксидантный эффект терапии.

Полученные результаты демонстрируют, что двухнедельный курс ингаляций атомарного водорода с использованием аппарата ИВ-01 безопасен и приводит к клинически значимому улучшению функции легких, физической работоспособности и качества жизни у женщин в менопаузальном переходе с постковидными респираторными нарушениями.

Выводами пилотного исследования явились данные о том, что ингаляции атомарного водорода могут рассматриваться как перспективный компонент комплексной реабилитации женщин с дыхательной дисфункцией после COVID-19 на фоне гормональных изменений в период менопаузального перехода. Эти результаты служат прямым обоснованием для проведения более масштабных рандомизированных контролируемых исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ современных литературных данных позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Молекулярный водород (H_2) является селективным антиоксидантом и адаптогеном, реализующим свои терапевтические эффекты через нейтрализацию токсичных активных форм кислорода, противовоспалительное, антиапоптотическое действие и механизм митохондриального гормезиса с активацией сигнального пути Nrf2.

2. Ингаляционная терапия молекулярным водородом продемонстрировала клиническую эффективность и безопасность у пациентов с ХОБЛ, бронхиальной астмой, интерстициальными заболеваниями легких, постковидным синдромом и другими заболеваниями дыхательной системы, что подтверждено результатами

рандомизированных клинических исследований с высоким уровнем доказательности.

3. Менопаузальный переход сопровождается ускоренным снижением легочной функции, обусловленным гормональной перестройкой (снижением уровней эстрогенов и прогестерона), усилением оксидативного стресса, системного воспаления и развитием остеопороза грудных позвонков.

4. Водородная терапия, учитывая ее антиоксидантный, противовоспалительный и метаболический потенциал, а также благоприятный профиль безопасности, может рассматриваться в качестве перспективного патогенетически обоснованного метода коррекции дыхательных нарушений у женщин в период менопаузального перехода.

5. Пилотное исследование, выполненное в ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России с использованием генератора водорода ИВ-01, впервые доказывает безопасность и клиническую эффективность ингаляций атомарного водорода у женщин в менопаузальном переходе с постковидной дыхательной дисфункцией, что подтверждается улучшением спирометрических показателей, переносимости нагрузок и качества жизни, а также положительной динамикой маркеров окислительного стресса.

6. Необходимо проведение целенаправленных рандомизированных клинических исследований для углубленной оценки эффективности водородной терапии в коррекции дыхательных нарушений у женщин в перименопаузальном и постменопаузальном периодах с включением в протоколы спирометрических, метаболических и клинических показателей, а также с оценкой качества жизни.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Зубарева Наталия Николаевна, доктор экономических наук, доцент, генеральный директор, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4872-3377

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

Котенко Наталья Владимировна, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник, отдел соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
E-mail: kotenkonv@nmicrk.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6501-791X

Яковлев Максим Юрьевич, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник, отдел изучения механизмов действия физических факторов, заместитель директора по стратегическому развитию, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, профессор кафедры общей гигиены, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет).
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5260-8304

Арсютова Татьяна Борисовна, врач физической и реабилитационной медицины, заведующий отделением медицинской реабилитации, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-4260-4475

Кошлаков Владимир Владимирович, доктор технических наук, генеральный директор, Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации "Исследовательский центр имени М.В. Келдыша"».

Ризаханов Раджудин Насрединович, кандидат физико-математических наук, начальник отдела нанотехнологий, Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации "Исследовательский центр имени М.В. Келдыша"».

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: Зубарева Н.Н. — научное обоснование, курирование проекта, руководство проектом, проверка и редактирование рукописи; Марченкова Л.А. — научное обоснование, методология, курирование проекта, проверка и редактирование рукописи; Котенко Н.В. — методология, проведение исследования, курация данных, анализ данных, написание черновика рукописи, визуализация; Яковлев М.Ю. — научное обоснование, методология, верификация данных, анализ данных, проверка и редактирование рукописи; Арсютова Т.Б. — проведение исследования, обеспечение материалов для исследования, курация данных, визуализация, написание черновика рукописи; Кошлаков В.В. — научное обоснование, обеспечение материалов для исследования, верификация данных, проверка и редактирование рукописи; Ризаханов Р.Н. — методология, обеспечение материалов для исследования, верификация данных, анализ данных, проверка и редактирование рукописи.

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

Конфликт интересов. Зубарева Н.Н. — главный редактор журнала «Вестник восстановительной медицины». Марченкова Л.А. — председатель редакционного совета журнала «Вестник восстановительной медицины». Яковлев М.Ю. — член редакционной коллегии журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные 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

Natalia N. Zubareva, D.Sc. (Econ.), Associate Professor, Director General, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology. National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4872-3377

Larisa A. Marchenkova, D.Sc. (Med.), Associate Professor, Head of the Research Department, Chief Researcher, Department of Somatic Rehabilitation, Reproductive Health and Active Longevity, Professor of 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

Natalya V. Kotenko, PhD (Med.), Leading Researcher, Department of Somatic Rehabilitation, Reproductive Health and Active Longevity, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
E-mail: kotenkonv@nmicrk.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6501-791X

Maxim Yu. Yakovlev, D.Sc. (Med.), Chief Researcher, Department of Mechanisms of Physical Factors, Deputy Director for Strategic Development, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology; Professor at the Department of General Hygiene, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5260-8304

Tatiana B. Arsiutova, Physician of Physical and Rehabilitation Medicine, Head of the Medical Rehabilitation Department, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-4260-4475

Vladimir V. Koshlakov, D.Sc. (Tech.), Director General, Joint Stock Company State Scientific Center of the Russian Federation "Keldysh Research Center".

Radzhudin N. Rizakhanov, PhD (Phys. & Math.), Head of the Nanotechnology Department, Joint Stock Company State Scientific Center of the Russian Federation "Keldysh Research Center".

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: Zubareva N.N. — conceptualization, project administration, project supervision, writing — review & editing; Marchenkova L.A. — conceptualization, methodology, project administration, writing — review & editing; Kotenko N.V. — methodology, investigation, data curation, data analysis, writing — original draft, visualization; Yakovlev M.Yu. — conceptualization, methodology, data verification, data analysis, writing — review & editing; Arsiutova T.B. — investigation, provision of research materials, data curation, visualization, writing — original draft; Koshlakov V.V. — conceptualization, provision of research materials, data verification, writing — review & editing; Rizakhanov R.N. — methodology, provision of research materials, data verification, data analysis, writing — review & editing.

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

Disclosure. Zubareva N.N. — Editor-in-Chief of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal. Marchenkova L.A. — Chair of the Editorial Council of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal. Yakovlev M.Yu. — Member of Editorial Board of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal. The other authors declare the absence of obvious and 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. Ohsawa I., Ishikawa M., Takahashi K., et al. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. Nat Med. 2007; 13(6): 688–694. https://doi.org/10.1038/nm1577
2. Johnsen H.M., Hiorth M., Klaveness J. Molecular Hydrogen Therapy — A Review on Clinical Studies and Outcomes. Molecules. 2023; 28(23): 7785. https://doi.org/10.3390/molecules28237785
3. Nguyen Puente B., Habet V., Wheeler C.R., et al. Emerging Clinical Applications for Molecular Hydrogen. Respir Care. 2026; 71(3): 328–338. https://doi.org/10.1177/19433654251398759
4. Fu Z., Zhang J., Zhang Y. Molecular hydrogen is a promising therapeutic agent for pulmonary disease. J Zhejiang Univ Sci B. 2022; 23(2): 102–122. https://doi.org/10.1631/jzus.b23e0401
5. Chuang Y.T., Hung W.C., Chen T.A. Molecular hydrogen therapy in respiratory diseases: mechanisms, evidence, and technical considerations. All Life. 2026; 19(1): 2643533. https://doi.org/10.1080/26895293.2026.2643533
6. Zajac D., Jampolska M., Wojciechowski P. Molecular Hydrogen in the Treatment of Respiratory Diseases. Int J Mol Sci. 2025; 26(9): 4116. https://doi.org/10.3390/ijms26094116
7. Russell G., Nenov A. Molecular hydrogen therapies and the benefits for menopausal and perimenopausal women: An aphoristic review. GSC Biological and Pharmaceutical Sciences. 2022; 21(2): 112–115. https://doi.org/10.30574/gscbps.2022.21.2.0427
8. He W., Rahman M.H., Bajgai J., et al. Hydrogen Gas Inhalation Alleviates Airway Inflammation and Oxidative Stress on Ovalbumin-Induced Asthmatic BALB/c Mouse Model. Antioxidants. 2024; 13(11): 1328. https://doi.org/10.3390/antiox13111328
9. Tang C., Wang L., Chen Z., et al. Molecular Hydrogen Ameliorates Anti-Desmoglein 1 Antibody-Induced Pemphigus-Associated Interstitial Lung Disease by Inhibiting Oxidative Stress. Int J Mol Sci. 2025; 26(9): 4203. https://doi.org/10.3390/ijms26094203
10. Ohsawa I. Biological Responses to Hydrogen Molecule and its Preventive Effects on Inflammatory Diseases. Curr Pharm Des. 2021; 27(5): 659–666. https://doi.org/10.2174/1381612826666200925123510
11. Zhang X., Lu X., Li F., et al. Alleviation of exercise-induced injury by hydrogen inhalation via the reduction of oxidative stress and inflammation in athletes. J Thorac Dis. 2025; 17(8): 104713. https://doi.org/10.21037/jtd-2025-104713
12. Нестеров С.В., Рогов А.Г., Василов Р.Г. Митохондрии как ключевая мишень воздействия молекулярного водорода. Пульмонология. 2024; 34(1): 59–64. https://doi.org/10.18093/0869-0189-2024-34-1-59-64 [Nesterov S.V., Rogov A.G., Vasilov R.G. Mitochondria as a key target of molecular hydrogen. Pulmonologiya. 2024; 34(1): 59–64. https://doi.org/10.18093/0869-0189-2024-34-1-59-64 (In Russ.).]

13. Ohta S. Molecular hydrogen as a preventive and therapeutic medical gas: initiation, development and potential of hydrogen medicine. Pharmacol Ther. 2014; 144(1): 1–11. https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2014.04.006
14. Liu W., Zhang Y., Chen Y., et al. Molecular hydrogen mitigates traumatic brain injury-induced lung injury via NLRP3 inflammasome inhibition. BMC Chemistry. 2025; 19(1): 138. https://doi.org/10.1186/s13065-025-01513-2
15. Brandi G., Delbaldo C., Deserti M., et al. Molecular hydrogen therapy: A "democratic" emerging strategy against aging and age-related diseases. Ageing Research Reviews. 2025; 104: 102567. https://doi.org/10.1016/j.arr.2025.102567
16. Chuang Y.T., Tseng Ch., Chen T.A. A narrative review of hydrogen therapy for COPD: aging-related insights. Open Medicine. 2026; 21(1): 20250123. https://doi.org/10.1515/med-2026-0123
17. Sousa G.S., Soares J.M.R.L., de Oliveira M.E.A., et al. A hidrogenioterapia na reabilitação de pacientes com DPOC. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação (REASE). 2025; 11(11): 1719–1735. https://doi.org/10.51891/rease.v11i11.22121
18. Шогенова Л.В., Гуфранов Х.Ф. Эффективность и безопасность ингаляционной терапии молекулярным водородом у пациентов с дыхательной недостаточностью на фоне обострения хронической обструктивной болезни легких в постковидном периоде. Пульмонология. 2024; 34 (5): 655–667. https://doi.org/10.18093/0869-0189-2024-34-5-655-667 [Shogenova L.V., Gufranov H.F. Efficacy and safety of inhaled molecular hydrogen therapy in patients with respiratory failure due to chronic obstructive pulmonary disease exacerbation in post-COVID period. Pulmonologiya. 2024; 34(5): 655–667. https://doi.org/10.18093/0869-0189-2024-34-5-655-667 (In Russ.).]
19. Liu S.F., Li C.L., Lee H.C., et al. The Benefit of Hydrogen Gas as an Adjunctive Therapy for Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Medicina (Lithuania). 2024; 60(2): 245. https://doi.org/10.3390/medicina60020245
20. Шогенова Л.В. Эффективность и безопасность комплексного применения медицинских газов термического гелиокса, оксида азота и молекулярного водорода у пациентов с обострением хронической обструктивной болезни легких, осложненной гипоксемической, гиперкапнической дыхательной недостаточностью и вторичной легочной артериальной гипертензией в постковидном периоде. Терапевтический архив. 2025; 97(3): 242–249. https://doi.org/10.26442/00403660.2025.03.203131 [Shogenova L.V. Efficiency and safety of the integrated use of medical gases thermal heliox, nitric oxide and molecular hydrogen in patients with exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease complicated by hypoxemic, hypercapnic respiratory failure and secondary pulmonary arterial hypertension in the post-COVID period. Ter Arkh. 2025; 97(3): 242–249. https://doi.org/10.26442/00403660.2025.03.203131 (In Russ.).]
21. Wang S.T., Bao C., He Y., et al. Hydrogen gas (XEN) inhalation ameliorates airway inflammation in asthma and COPD patients. QJM. 2020; 113(12): 870–875. https://doi.org/10.1093/qjmed/hcaa164
22. Guan W.J., Wei C.H., Chen A.L., et al. Hydrogen/oxygen mixed gas inhalation improves disease severity and dyspnea in patients with Coronavirus disease 2019 in a recent multicenter, open-label clinical trial. J Thorac Dis. 2020; 12(6): 3448–3452. https://doi.org/10.21037/jtd-2020-057
23. Tang C., Wang L., Chen Z., et al. Efficacy and Safety of Hydrogen Therapy in Patients with Early-Stage Interstitial Lung Disease: A Single-Center, Randomized, Parallel-Group Controlled Trial. Ther Clin Risk Manag. 2023; 19: 1051–1061. https://doi.org/10.2147/TCRM.S438044
24. Botek M., Krejčí J., Valenta M., et al. Molecular Hydrogen Positively Affects Physical and Respiratory Function in Acute Post-COVID-19 Patients: A New Perspective in Rehabilitation. Int J Environ Res Public Health. 2022; 19(4): 1992. https://doi.org/10.2147/TCRM.S438044
25. Salomez-Ihl C., Gerbaud P., Tanguy S., et al. H2 inhalation therapy in patients with moderate COVID-19 (H2 COVID): a prospective ascending-dose phase I clinical trial. Antimicrobial Agents and Chemotherapy. 2024; 68(9): e0005924. https://doi.org/10.1128/aac.00059-24
26. Gong Y., Quan T., Guan Q., et al. Advances in hydrogen therapy and hydrogen administration biomaterials for respiratory diseases. Science China Materials. 2026; 69(4): 1898. https://doi.org/10.1007/s40843-025-3723-4
27. Karia A.K., Kedar K.V., Munje R.P. Effect of Menopause on Pulmonary Functions: An Analysis! J South Asian Feder Menopause Soc. 2017; 5(2): 99–101. https://doi.org/10.5005/jp-journals-10032-1115
28. Triebner K., Johannessen A., Puggini L., et al. Menopause is associated with accelerated lung function decline. Am J Respir Crit Care Med. 2017; 195(8): 1043–1052. https://doi.org/10.1164/rccm.201605-0968oc
29. Farha S., Asosingh K., Laskowski D., et al. Effects of the menstrual cycle on lung function variables in women with asthma. Am J Respir Crit Care Med. 2009; 180(4): 304–310. https://doi.org/10.1164/rccm.200904-0497oc
30. Imai R., Ro S., Tukpah A.C., et al. Lung Function Changes Across the Menopausal Transition: A Longitudinal Analysis of Annual Exams. Chest. 2025; 169(3): 710–722. https://doi.org/10.1016/j.chest.2025.09.011
31. Eliyahu E., Katz M.G., Vincek A., et al. Effects of Hormone Replacement Therapy on Women's Lung Health and Disease. Pulm Ther. 2023; 9(4): 461–477. https://doi.org/10.1007/s41030-023-00240-0
32. Arn S., Kipp Sh., Jackman R., et al. Effect of oestrogen and progesterone on hypoxic exercise ventilation and respiratory muscle recruitment: considerations of the menstrual cycle and post-menopause. Eur Respir J. 2025; 66: 4177. https://doi.org/10.1183/13993003.congress-2025.PA4177
33. Real F., Svanes C., Omenaas E.R., et al. Lung function, respiratory symptoms, and the menopausal transition. J Allergy Clin Immunol. 2008; 121(1): 72–80.e2. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2007.08.057
34. Ciftci O.U., Ozturk F., Ozkan Y., et al. The oxidative stress at lungs after menopause and the antioxidant effects of vitamin D, fish oil and exercise in an experimental rat model. Bratisl Lek Listy. 2020; 121(8): 565–570.
35. Korovljev D., Trivic T., Štajer V., et al. Short-Term H_2 Inhalation Improves Cognitive Function in Older Women: A Pilot Study. Int J Gerontol. 2020; 14(2): 149–150. https://doi.org/10.6890/IJGE.202005_14(2).0013
36. Papaioannou A., Papaporfyriou A., Kallieri M., et al. Effects of menopause and fat mass in asthmatic inflammation in female asthmatics. Eur Respir J. 2022; 60(suppl 66): 3569.
37. Ohta S. Molecular hydrogen as a preventive and therapeutic medical gas: initiation, development and potential of hydrogen medicine. Pharmacol Ther. 2014; 144(1): 1–11. https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2014.04.006

Оригинальная статья / Original article
DOI: https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-18-27

Оптимальные сроки санаторно-курортного лечения пациентов с хроническим бронхитом: многоцентровое исследование

Гришечкина И.А.[1,*], Яковлев М.Ю.[1,2], Князева Т.А.[1], Бобровницкий И.П.[3,4,5]

[1] Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия
[2] Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия
[3] Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий — Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневского Минобороны России, Красногорск, Россия
[4] Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии, Москва, Россия
[5] Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Хронический бронхит (ХБ) — распространенное заболевание, требующее разработки оптимальных сроков санаторно-курортного лечения (СКЛ).

ЦЕЛЬ. Определить оптимальные сроки СКЛ при ХБ на основе оценки непосредственных и отдаленных результатов лечения длительностью 7, 14, 18 и 21 день.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В 2024–2025 гг. в ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России проведено многоцентровое рандомизированное исследование, включающее 100 пациентов с ХБ. До лечения и после него проведены: общеклинический осмотр, измерение сатурации, общий анализ крови, тестирование. Лечение пациентов включало: аэротерапию, галоингаляции, лечебную гимнастику по методике при заболеваниях органов дыхания, воздействие низкоинтенсивным лазерным излучением на проекцию корней легких, воздействие переменным магнитным полем на область задней поверхности грудной клетки, ингаляции с минеральной водой, газовоздушные углекислые ванны, общие пенно-солодковые ванны. Через 11,0 ± 1,0 месяца собраны отдаленные результаты СКЛ.

РЕЗУЛЬТАТЫ. У пациентов с ХБ уровень сатурации статистически достоверно повышался на 14-й день ($Z = 3,29$; $p = 0,0001$), а также в сроки СКЛ 18 и 21 день ($Z = 3,29$; $p = 0,0001$; $Z = 4,11$; $p = 0,0004$). Отмечалась положительная динамика уровня качества жизни ($Z = 2,8$; $p = 0,005$; $Z = 4,2$; $p = 0,00003$; $Z = 3,39$, $p = 0,0007$), теста 6-минутной ходьбы ($Z = 3,41$; $p = 0,0007$; $Z = 4,29$; $p = 0,0002$; $Z = 4,46$; $p = 0,0001$), а также уровня лейкоцитов ($Z = 2,02$; $p = 0,043$; $Z = 2,1$; $p = 0,040$; $Z = 2,57$; $p = 0,016$) и скорости оседания эритроцитов ($Z = 3,26$; $p = 0,01$; $Z = 3,92$; $p = 0,0001$; $Z = 2,2$; $p = 0,028$) в группе пациентов, получавших СКЛ в сроки 14, 18 и 21 день. При сроках СКЛ 14, 18, 21 день было отмечено статистически достоверное снижение числа жалоб на слабость и утомляемость ($\chi^2 = 1,79$; $p = 0,0001$; $\chi^2 = 15,75$; $p = 0,0001$; $\chi^2 = 12,03$; $p = 0,005$). При анализе отдаленных результатов лечения было показано, что курс СКЛ 14, 18 и 21 день позволяет снизить частоту обращений к пульмонологу и терапевту в связи с обострением заболевания ($\chi^2 = 34,271$; $p < 0,001$, $\chi^2 = 11,345$; $p < 0,001$).

ОБСУЖДЕНИЕ. Анализ непосредственных и отдаленных результатов СКЛ различной продолжительности (7, 14, 18 и 21 день) позволил обосновать рекомендации по выбору его оптимальных сроков у пациентов с ХБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Оптимальный срок СКЛ для пациентов с ХБ, постоянно проживающих в климатической зоне проведения СКЛ, — 14 дней, для прибывших на лечение из других климатических зон — 18 дней.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: хронический бронхит, болезни органов дыхания, пульсоксиметрия, низкоинтенсивное лазерное излучение, аэротерапия, ингаляции с минеральной водой

Для цитирования / For citation: Гришечкина И.А., Яковлев М.Ю., Князева Т.А., Бобровницкий И.П. Оптимальные сроки санаторно-курортного лечения пациентов с хроническим бронхитом: многоцентровое исследование. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(5):18–27. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-18-27 [Grishechkina I.A., Yakovlev M.Yu., Knyazeva T.A., Bobrovnitskii I.P. Optimal Duration of Health Resort Treatment for Patients with Chronic Bronchitis: a Multicenter Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):18–27. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-18-27 (In Russ.).]

[*] **Для корреспонденции:** Гришечкина Ирина Александровна, E-mail: grishechkinaia@nmicrk.ru

Статья получена: 03.06.2026
Статья принята к печати: 31.08.2026
Статья опубликована: 23.10.2026

© 2026, Гришечкина И.А., Яковлев М.Ю., Князева Т.А., Бобровницкий И.П.
Эта статья открытого доступа по лицензии CC BY-NC-SA 4.0. Издательство: ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

Optimal Duration of Health Resort Treatment for Patients with Chronic Bronchitis: a Multicenter Study

Irina A. Grishechkina[1,*], Maxim Yu. Yakovlev[1,2], Tatyana A. Knyazeva[1], Igor P. Bobrovnitskii[3,4,5]

[1] *National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia*
[2] *I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia*
[3] *National Medical Research Center for High Medical Technologies — A.A. Vishnevsky Central Military Clinical Hospital, Krasnogorsk, Russia*
[4] *Institute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow, Russia*
[5] *State Scientific Center of the Russian Federation Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

ABSTRACT

INTRODUCTION. Chronic bronchitis (CB) is a common disease that necessitates identifying the ideal length for health resort treatment (HRT).

AIM. To determine the optimal duration of HRT in chronic bronchitis based on an assessment of the immediate and long-term results of treatment lasting 7, 14, 18 and 21 days.

MATERIALS AND METHODS. In 2024–2025, a multicenter randomized trial involving 100 patients with chronic bronchitis was conducted at the National Medical Research Center for Balneology and Rehabilitation. A general clinical examination, oxygen saturation, complete blood count, and testing were performed before and after the treatment. Patient treatment included aerotherapy, haloinhalation, therapeutic exercises based on the methodology for respiratory diseases, low-intensity laser radiation applied to the lung roots, alternating magnetic field applied to the posterior chest wall, mineral water inhalations, carbon dioxide gas baths, and full-body foam-licorice baths. Long-term results of the health resort treatment were collected after 11.0 ± 1.0 months.

RESULTS. In patients with chronic bronchitis, oxygen saturation levels increased in a statistically significant manner on day 14 ($Z = 3.29$; $p = 0.0001$), as well as on days 18 and 21 of HRT ($Z = 3.29$; $p = 0.0001$; $Z = 4.11$; $p = 0.0004$). Positive trends were observed in the group of patients receiving HRT on days 14, 18, and 21 in terms of quality of life ($Z = 2.8$; $p = 0.005$; $Z = 4.2$; $p = 0.00003$; $Z = 3.39$; $p = 0.0007$), the 6-minute walk test ($Z = 3.41$; $p = 0.0007$; $Z = 4.29$; $p = 0.0002$; $Z = 4.46$; $p = 0.0001$), as well as white blood cell count ($Z = 2.02$; $p = 0.043$; $Z = 2.1$; $p = 0.040$; $Z = 2.57$; $p = 0.016$) and erythrocyte sedimentation rate ($Z = 3.26$; $p = 0.01$; $Z = 3.92$; $p = 0.0001$; $Z = 2.2$; $p = 0.028$). For HRT durations of 14, 18, and 21 days, a statistically significant decrease in the number of complaints of weakness and fatigue was observed ($\chi^2 = 1.79$; $p = 0.0001$; $\chi^2 = 15.75$; $p = 0.0001$; $\chi^2 = 12.03$; $p = 0.005$). An analysis of long-term treatment outcomes showed that HRT courses lasting 14, 18, and 21 days reduce the frequency of visits of patients experiencing exacerbation of the disease to pulmonologists and general practitioners ($\chi^2 = 34.271$; $p < 0.001$; $\chi^2 = 11.345$; $p < 0.001$).

DISCUSSION. A study examining both the immediate and long-term effects of health resort treatments lasting different durations — 7, 14, 18, and 21 days — offers insights for recommending the ideal treatment length for patients with chronic bronchitis.

CONCLUSION. The optimal duration of health resort treatment for patients with chronic bronchitis who permanently reside in the climatic zone where such treatment is provided is 14 days; for those arriving for treatment from other climatic zones, it is 18 days.

KEYWORDS: bronchitis, respiration disorders, pulsoximetry, low-intensity laser radiation, aerotherapy, inhalation with mineral water

For citation: Grishechkina I.A., Yakovlev M.Yu., Knyazeva T.A., Bobrovnitskii I.P. Optimal Duration of Health Resort Treatment for Patients with Chronic Bronchitis: a Multicenter Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):18–27. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-18-27 (In Russ.).

* **For correspondence:** Irina A. Grishechkina, E-mail: grishechkinaia@nmicrk.ru

Received: 03.06.2026
Accepted: 31.08.2026
Published: 23.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

Симптомы хронического бронхита (ХБ) широко распространены в популяции [1, 2]. Ранее было установлено, что хронический кашель — основной симптом заболевания — встречается у 3,3–13,0 % населения европейских стран [3–5].

ХБ может существовать длительно как самостоятельное заболевание, но может сосуществовать со многими очаговыми и генерализованными болезнями легких, а также с сердечно-сосудистой и почечной патологией [6]. В связи с этим актуальность ХБ связана не только с возможностью ранней диагностики заболеваний со схожей клинической картиной в популяции пациентов с ХБ, но и с разработкой эффективных методов лечения [7, 8].

Для целей комплексного лечения и профилактики заболевания широко используются возможности санаторно-курортного лечения (СКЛ). Продолжительность СКЛ была установлена ранее на основании эмпирических данных, полученных в 1960–1970 гг. [9]. Однако социально-экономические изменения, произошедшие в нашей стране, появление новых методов лечения требуют пересмотра данного вопроса [10] и научного обоснования определения оптимальных сроков СКЛ при ХБ.

ЦЕЛЬ

Определить оптимальные сроки СКЛ при ХБ на основе оценки непосредственных и отдаленных результатов лечения длительностью 7, 14, 18 и 21 день.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С 1 августа 2024 г. по 1 марта 2025 г. в санатории «Россия», научно-клиническом филиале Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации (г. Ессентуки, Ставропольский край) и лечебно-реабилитационном клиническом центре «Курортная больница» Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Министерства здравоохранения Российской федерации (г. Кисловодск, Ставропольский край) было проведено многоцентровое открытое проспективное рандомизированное клиническое исследование, в которое было включено 100 пациентов с диагнозом хронического бронхита [7], из них 67 женщин и 33 мужчины (67,0 % и 33,0 % соответственно) в возрасте от 18 лет до 75 лет. Средний возраст пациентов составил 60,0 [54,0; 70,0] лет, средний стаж заболевания — 15,25 [5,0; 25,5] лет.

Критерии включения в исследование: мужчины и женщины старше 18 лет, подлежащие направлению на СКЛ[1] с установленным диагнозом «хронический бронхит» согласно рекомендациям Российского респираторного общества [7] и подписавшие информированное согласие пациента на участие в исследовании.

Критерии невключения: наличие любых соматических, неврологических и психиатрических заболеваний и патологических состояний, которые могут ограничивать выполнение отдельных процедур или комплекса в целом; острые инфекционные заболевания (в том числе респираторные) при поступлении; алкогольная или наркотическая зависимость в настоящее время или в анамнезе; участие в другом клиническом исследовании или клинической апробации в течение последнего года до включения или предшествующая рандомизация в другом продолжающемся клиническом исследовании, предшествующее включение в текущее исследование.

Критерии исключения: отзыв пациентом согласия на участие в исследовании; появление одного или нескольких критериев невключения пациента в исследование; смерть; возникновение сопутствующих или новых соматических заболеваний/симптомов или обострение хронических заболеваний, требующих изменения схем СКЛ или его прекращения (по усмотрению исследователя); несоблюдение пациентом режима немедикаментозной и медикаментозной терапии, а также других включенных в стандартный комплекс процедур; беременность.

После проведения скрининга пациенты на уровне контактного центра ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России методом простой рандомизации распределялись на 4 исследуемые группы: группа сравнения 1 (ГС1) (n = 25) находилась на СКЛ 7 дней; группа сравнения 2 (ГС2) (n = 25) находилась на СКЛ 14 дней; группа сравнения 3 (ГС3) (n = 25) находилась на СКЛ 18 дней; группа сравнения 4 (ГС4) (n = 25) находилась на СКЛ 21 день.

До лечения и после него проводились общеклинический осмотр, общий анализ крови, электрокардиография, тестирование («Тест качества жизни» (опросник EQ-5L, EuroQoLGroup, 1990)), нагрузочный тест (тест 6-минутной ходьбы), исследование вариабельности сердечного ритма («Валента», Россия), измеряли сатурацию (SpO_2) [11].

Оценка метеочувствительности осуществлялась в ходе проведения вербально-коммуникативного обследования при поступлении пациента в соответствии с ранее разработанной методикой[2].

Базисное лечение пациентов, проходящих СКЛ количеством 6, 12, 16 и 18 процедур в зависимости от срока пребывания (7, 14, 18 и 21 день соответственно), включало: ранее назначенную медикаментозную терапию, коррекция которой в течение СКЛ не проводилась, мероприятия по модификации образа жизни (отказ от курения и пр.) [1, 6, 7]. Назначалась аэротерапия. При воздействии климатом по методике воздушных ванн по щадящему режиму соблюдались следующие условия: температура окружающего воздуха составляла +21 °С и выше, продолжительность 1-й процедуры была 10 минут, 2-й — 20 минут, 3-й — 25 минут, 4-й — 30 минут, 5-й и последующих процедур — 40 минут. Галоингаляция: II режим производительности галоаэрозоля продолжительностью 30 минут (галоингалятор «Галонеб», ООО «Аэромед», Россия), ежедневно. Проводились лечебная гимнастика по методике при заболеваниях органов дыхания 30 минут 6 дней в неделю; воздействие низкоинтенсивным лазерным излучением на проекцию корней легких в инфракрасном диапазоне, импульсной мощностью 2–3 Вт/имп., частотой следования импульсов 80 Гц, 3–5 минут, ежедневно, до 15 процедур (аппарат лазерной терапии «Милта-Ф-8-01», ЗАО «НПО КП», Россия); воздействие переменным магнитным полем на область задней поверхности грудной клетки, 20–25 мТл, продолжительность 15 минут, ежедневно, до 15 процедур (аппарат магнитотерапевтический «Полимаг 02», АО «Еламед», Россия); ингаляции с минеральной водой в течение 15 минут (хлоридно-гидрокарбонатная натриевая среднеминерализованная слабокислая, слабощелочная теплая); газовоздушные углекислые ванны температурой 36–38 °С, продолжительностью 20 минут (сухая угле-

[1] Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 27.03.2024 № 143н «Об утверждении классификации природных лечебных ресурсов, указанных в пункте 2 статьи 2.1 федерального закона от 23 февраля 1995 г. № 26-ФЗ "О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах", их характеристик и перечня медицинских показаний и противопоказаний для санаторно-курортного лечения и медицинской реабилитации с применением таких природных лечебных ресурсов».

[2] Фесюн А.Д., Рачин А.П., Лобанов А.А. и др. Способ оценки метеопатии человека. Патент RU 2736612 C1 от 19.11.2020, заявка № 2020118155 от 02.06.2020. [Fesyun A.D., Rachin A.P., Lobanov A.A., et al. Method for Assessing Human Meteoropathy. Patent RU 2736612 C1. November 19, 2020. Application No. 2020118155, filed June 2, 2020 (In Russ.).]

кислая ванна «Реабокс», REABOKS, Россия), через день; общие пенно-солодковые ванны температурой 35–37 °С, продолжительностью 10 минут, через день [12–15].

Через 10–12 месяцев после проведенного курса СКЛ (с 1 августа по 31 декабря 2025 г.) собирали данные об отдаленных исходах СКЛ: обращаемости за специализированной, скорой и неотложной медицинской помощью, числе госпитализаций в связи с обострением заболевания, а также жизненном статусе пациентов. На основании анализа полученной информации формировали выводы об оптимальных сроках СКЛ у пациентов с ХБ с разной длительностью пребывания в санаторно-курортной организации.

Исследование было запланировано и проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией в редакции 2013 г. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом при ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России (Протокол № 7 от 29.08.2024). Информированное согласие подписано всеми пациентами, участвовавшими в исследовании. Также получено письменное информированное согласие от законного представителя(-ей) на публикацию анонимной информации о пациентах в данной статье.

Статистическая обработка данных выполнялась с использованием методов непараметрического анализа, учитывая малое (менее 30) число пациентов в группах. Использованы критерии χ^2 Мак-Немара и Пирсона, критерии Вилкоксона и Краскела — Уоллиса. Критический уровень значимости (p) в исследовании был принят равным 0,05. При множественном сравнении групп применялась поправка Бонферрони (p = 0,0125 при сравнении четырех групп). Статистический анализ проводился с использованием пакета прикладных программ Statistical Package for the Social Sciences, Version 23.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценка непосредственных результатов санаторно-курортного лечения

Первоначально был изучен анамнез пациентов с ХБ и выявлены следующие факторы риска развития заболевания: у 36 пациентов (36,0 %) — активный статус курения, профессиональная деятельность 2 пациентов (2,0 %) была связана с производством ароматических веществ и мелкодисперсной органической пылью, у 16 (16,0 %) пациентов имелись родственники первой и второй линии родства, страдающие хроническими респираторными заболеваниями и/или аллергическими заболеваниями. Среди исследуемой выборки пациентов отсутствовали испытуемые (0,0 %), имеющие в анамнезе туберкулез органов дыхания, иммунодефициты или операции на органах грудной клетки.

При проведении вербально-коммуникативного обследования было установлено, что 55 % пациентов с ХБ метеочувствительны, 93 пациента (93,0 %) прибыли на лечение из климатической зоны постоянного проживания, отличной по комплексу климатических факторов от климатической зоны проведения СКЛ.

В таблице 1 приведены клинические проявления заболевания у пациентов 4 групп. Наиболее частыми жалобами при поступлении были кашель (93,0 % пациентов), а также слабость и утомляемость (73,0 %), более половины пациентов (61,0 %) отмечали одышку.

После проведенного СКЛ зарегистрировано уменьшение симптомов заболевания во всех группах, но статистически значимые изменения были получены, начиная с 14-го дня СКЛ, и заключались в уменьшении частоты жалоб на слабость и/или утомляемость ($p < 0,05$ по критерию χ^2 Мак-Немара) и также сохранялись на 18-й и 21-й день СКЛ. При сравнении групп между собой

Таблица 1. Клинические данные (жалобы) в группах пациентов, страдающих хроническим бронхитом с различными сроками санаторно-курортного лечения
Table 1. Clinical data (complaints) in groups of patients suffering from chronic bronchitis with different periods of spa treatment

Исследуемый параметр / Parameter under study	ГС1, 7 дней СКЛ (n = 25) / CG1, 7 days HRT (n = 25)		ГС2, 14 дней СКЛ (n = 25) / CG2, 14 days HRT (n = 25)		ГС3, 18 дней СКЛ (n = 25) / CG3, 18 days HRT (n = 25)		ГС4, 21 день СКЛ (n = 25) / CG4, 21 days HRT (n = 25)	
	До лечения / Before treatment	После лечения / After treatment	До лечения / Before treatment	После лечения / After treatment	До лечения / Before treatment	После лечения / After treatment	До лечения / Before treatment	После лечения / After treatment
Кашель, абс., % / Cough, %	23 (92,00)	23 (92,0)	23 (92,00)	22,0 (88,0)	23 (92,00)	23 (92,00)	24 (96,0)	23 (92,00)
Одышка, абс., % / Dyspnea, %	13 (52,0)	13 (52,0)	11 (44,0)	11 (44,0)	19 (76,0)	18 (72,0)	18 (72,0)	16 (64,0)
Слабость, повышенная утомляемость, абс., % / Fatigue, %	23 (92,0)	23 (92,0)*	22 (88,0)	0 (0,0)*	23 (92,0)	0 (0,0)*	25 (100,0)	0 (0,0)*

Примечание: *Данные представлены в виде частот. * — анализ различий произведен с помощью критерия Мак-Немара. Достоверность различий считалась установленной при p < 0,05. СКЛ — санаторно-курортное лечение, ГС — группа сравнения.*
Note: *Data are presented as frequencies. * — differences were analyzed using the McNemar test. Differences were considered significant at p < 0.05. HRT — health resort treatment, CG — comparison group.*

по степени убыли симптомов статистически достоверной разницы отмечено не было ($p > 0,0125$ по критерию χ^2 Пирсона, применена поправка Бонферрони для множественного сравнения групп).

Далее были проанализированы результаты общеклинического осмотра. Исходно у большинства пациентов отмечались избыток массы тела или ожирение I степени, систолическое и диастолическое артериальное давление, частота сердечных сокращений в пределах нормы. При оценке результатов проведенного СКЛ во всех группах пациентов, начиная с 14-го дня СКЛ, также было отмечено статистически значимое снижение исходно избыточного веса и индекса массы тела ($p < 0,05$ по критерию Вилкоксона), далее эта динамика сохранялась на 18-й и 21-й день, у части пациентов эти показатели достигли нормальных значений к концу пребывания в санаторно-курортной организации.

Затем было исследовано качество жизни пациентов с ХБ. Исходно было зарегистрировано его снижение по отдельным подшкалам опросника и умеренное снижение по данным визуально-аналоговой шкалы.

После проведенного СКЛ длительностью 7 дней было отмечено статистически значимое повышение качества жизни по показателю «Профиль здоровья», которое сохранялось при сроке СКЛ 14, 18 и 21 день. При сроке СКЛ 14 дней было отмечено статистически значимое повышение качества жизни по результатам заполнения пациентом визуально-аналоговой шкалы, и далее эта динамика сохранялась в сроки СКЛ 18 и 21 день ($p < 0,05$ по критерию Вилкоксона).

При анализе межгрупповых различий выявленные изменения прироста показателей общеклинического осмотра и тестирования не достигали порога статистической значимости ($p > 0,0125$ по критерию Краскела — Уоллиса, применена поправка Бонферрони для множественного сравнения групп). Анализируя данные лабораторно-инструментальных показателей пациентов с ХБ[3], можно отметить нормальные значения во всех группах пациентов, за исключением ГС4, где у части исследуемых было отмечено увеличение скорости оседания эритроцитов (СОЭ). Также при поступлении было отмечено умеренное снижение толерантности к физической нагрузке во всех группах пациентов.

При оценке уровня толерантности к физической нагрузке и периферической кислородной сатурации было зарегистрировано статистически значимое увеличение ее уровня, по данным пульсоксиметрии, и увеличение дистанции, пройденной в тесте 6-минутной ходьбы во всех группах пациентов, начиная с 14-го дня СКЛ ($p < 0,05$ по критерию Вилкоксона), и далее на 18-й и 21-й день лечения эта динамика сохранялась[3].

При изучении основных показателей общего анализа крови[3], начиная с 14-го дня СКЛ, было отмечено статистически значимое снижение уровня лейкоцитов в периферической крови и уменьшение СОЭ ($p < 0,05$ по критерию Вилкоксона). Данная динамика сохранилась и на 18-й, и на 21-й день СКЛ. При оценке уровня гемоглобина и числа лейкоцитов в группах пациентов с ХБ в разные сроки СКЛ были отмечены разнонаправленные статистически значимые изменения ($p < 0,05$ по критерию Вилкоксона), вероятно, связанные с реакциями адаптации и акклиматизации пациентов, прибывших на СКЛ из регионов постоянного пребывания, отличных по комплексу погодных и геофизических факторов от среднегорного климата. Так, начиная с 14-го дня СКЛ, отмечено статистически достоверное повышение гемоглобина и снижение числа лейкоцитов, на 18-й и 21-й день данная динамика сохраняется, что связано, вероятно, как с результатами СКЛ, так и с течением адаптационных процессов в условиях низко- и среднегорного климата.

При сравнении групп между собой по степени убыли или прироста показателей статистически достоверной разницы не было отмечено ($p > 0,0125$ по критерию Краскела — Уоллиса, применена поправка Бонферрони для множественного сравнения групп).

Также была выполнена оценка адаптационных возможностей организма пациентов с ХБ. С этой целью был проведен анализ вариабельности сердечного ритма. Исходно в наблюдаемых нами группах сравнения были отмечены снижение размаха интервалов R-R, снижение моды и амплитуды моды ниже нормальных значений. При оценке спектральных показателей было отмечено снижение показателей, отвечающих за парасимпатическую активность и превышающих норму значения индекса напряжения.

После проведенного СКЛ (в группе пациентов со сроком СКЛ 14 дней) была отмечена положительная динамика, заключающаяся в повышении вариабельности сердечного ритма, активности парасимпатической нервной системы, снижении симпатического тонуса и индекса напряжения. Данная динамика сохранялась в группах со сроком СКЛ 18 и 21 день. Однако эти изменения не были статистически значимыми ($p < 0,05$ по критерию Вилкоксона), и при сравнении групп между собой по степени убыли или прироста показателей также статистически достоверной разницы отмечено не было ($p > 0,0125$ по критерию Краскела — Уоллиса, применена поправка Бонферрони для множественного сравнения групп).

Изучение отдаленных исходов санаторно-курортного лечения

При изучении долгосрочной эффективности СКЛ через год врачами-исследователями были получены отдаленные результаты исследования 83 пациентов, остальные 17 больных с ХБ отказались предоставить информацию о своем состоянии по разным причинам. Результаты опроса пациентов представлены на диаграмме (рис. 1).

Следует отметить, что в течение года пациенты с ХБ, прошедшие 7-дневное СКЛ, имели более частые госпитализации в связи с обострением заболевания, отмечали большую потребность в неотложной помощи и чаще обращались за оказанием плановой специализированной помощи в связи с обострением заболевания или в связи с острыми респираторными вирусными инфекциями (ОРВИ) (рис. 1). У пациентов с длительно-

[3] Grishechkina I. Duration of period SRT by patients with chronic bronchitis. Mendeley Data, VI, 2026. https://doi.org/10.17632/4zpwtsd42m.1.

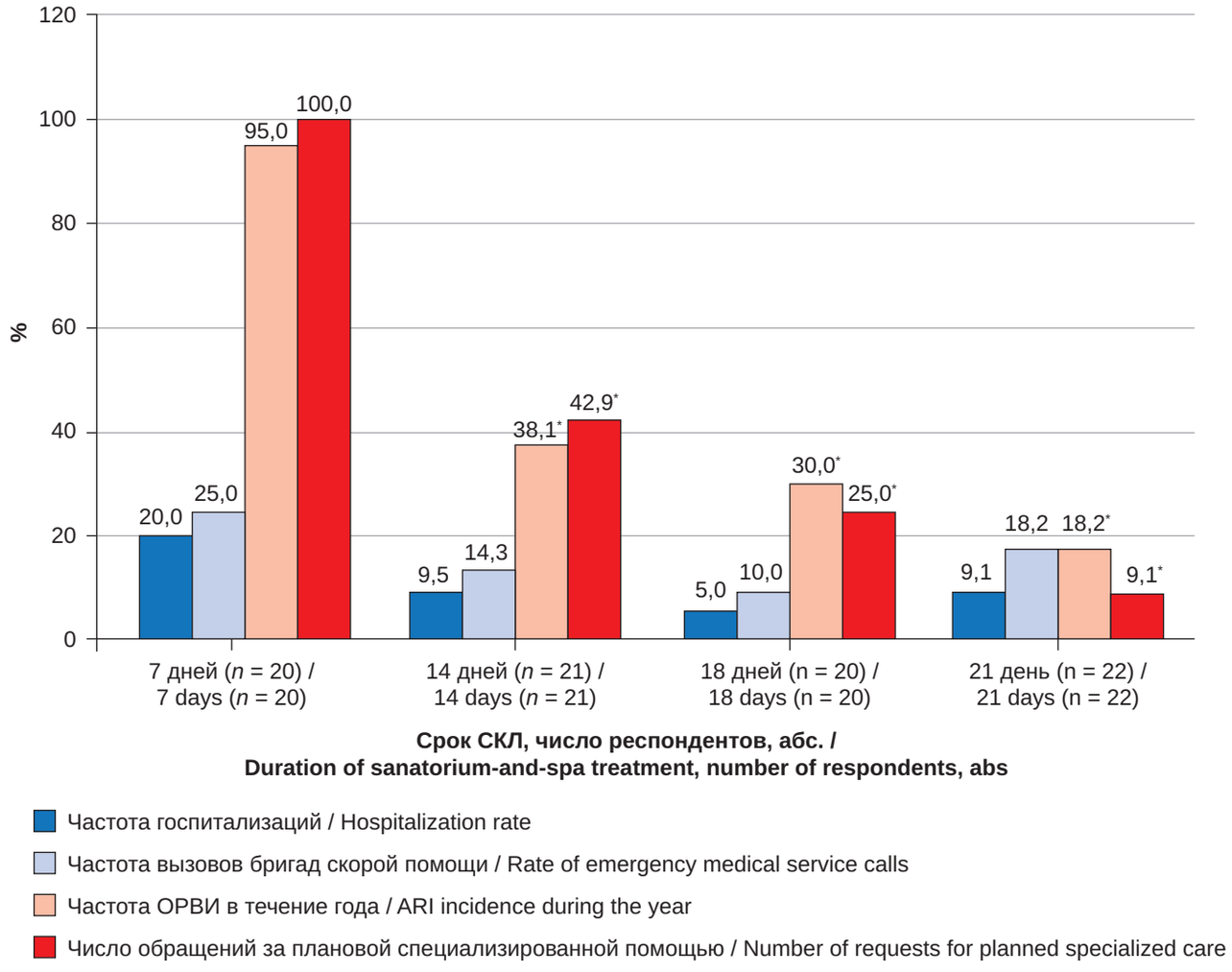


Рис. 1. Отдаленные результаты лечения пациентов с хроническим бронхитом с разными сроками санаторно-курортного лечения (анализ различий произведен с помощью критерия χ^2, * — $p < 0,05$)
Fig. 1. Remote treatment results for patients with chronic bronchitis with different durations of health resort treatment (analysis of differences was performed using the χ^2 criterion, * — $p < 0.05$)

стью СКЛ 14, 18 и 21 день эти показатели уменьшались по мере увеличения срока СКЛ. Однако статистически достоверные различия были зарегистрированы только по числу возникновений ОРВИ, которые зачастую служат причиной обострения заболевания, и потребности в оказании плановой специализированной помощи в связи с обострением заболевания (χ^2 Пирсона = 34,271; $p < 0,001$ и χ^2 Пирсона = 11,345; $p < 0,001$ соответственно). При сравнении групп между собой было отмечено, что число ОРВИ в первой группе статистически достоверно было выше, чем в остальных (при сравнении ГС1 и ГС3 ($\chi^2 = 14,752$; $p < 0,001$), ГС1 и ГС4 ($\chi^2 = 23,018$; $p < 0,001$), ГС1 и ГС2 ($\chi^2 = 18,027$, $p < 0,001$)). Также было отмечено, что число обращений за специализированной помощью в первой группе пациентов статистически достоверно было выше, чем в остальных (при сравнении ГС1 и ГС3 ($\chi^2 = 15,170$; $p < 0,001$), ГС1 и ГС4 ($\chi^2 = 32,727$; $p < 0,001$), ГС1 и ГС2 ($\chi^2 = 24,000$, $p < 0,001$)). При сравнении ГС2 и ГС3, ГС3 и ГС4, а также ГС2 и ГС4 по описанным ранее показателям статистически значимых изменений выявлено не было ($\chi^2 = 1,558$; $p = 0,406$; $\chi^2 = 1,453$; $p = 0,229$; $\chi^2 = 5,634$; $p = 0,018$ соответственно).

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время отсутствуют данные об оптимальных сроках СКЛ при ХБ, обоснованные позициями доказательной медицины. В российской и зарубежной литературе в течение последних десятилетий представлены отдельные научные работы, изучавшие преимущественно ингаляционное применение минеральных вод и воздействие лечебного климата у пациентов с ХБ [16–20]. Имеются научные работы, проведенные на группе кардиологических пациентов, сравнивающие результаты стандартных и укороченных сроков СКЛ, по результатам которых получены противоречивые данные [21, 22]. Проведенное исследование восполняет этот пробел.

В данном исследовании, сравнивающем эффективность СКЛ при различной продолжительности пребывания пациентов с ХБ в санаторно-курортной организации, были получены следующие результаты.

На 7-й день СКЛ отмечалось повышение качества жизни по шкале «Профиль здоровья», и данная положительная динамика сохранялась при выписке пациентов со сроком СКЛ 14, 18 и 21 день ($Z = 2,34$; $p = 0,019$; $Z = 2,02$; $p = 0,046$; $Z = 3,63$; $p = 0,0003$; $Z = 3,65$; $p = 0,0003$ соответственно).

На 14-й день СКЛ отмечались статистически значимое уменьшение жалоб на слабость и утомляемость (критерий Мак-Немара $\chi^2 = 17{,}9$; $p = 0{,}0001$), снижение веса и индекса массы тела ($Z = 3{,}18$; $p = 0{,}001$ и $Z = 2{,}37$; $p = 0{,}018$ соответственно), повышение периферической кислородной сатурации ($Z = 3{,}29$; $p = 0{,}001$), толерантности к физической нагрузке ($Z = 3{,}41$; $p = 0{,}0007$), качества жизни по визуально-аналоговой шкале теста качества жизни ($Z = 2{,}8$; $p = 0{,}005$), снижение числа лейкоцитов и СОЭ ($Z = 2{,}02$; $p = 0{,}047$; $Z = 3{,}26$; $p = 0{,}001$ соответственно), и в дальнейшем эта динамика сохраняется в последующие сроки СКЛ (критерий Мак-Немара $\chi^2 = 15{,}75$; $p = 0{,}0001$; критерий Мак-Немара $\chi^2 = 12{,}03$; $p = 0{,}005$ и $Z = 3{,}18$; $p = 0{,}001$; $Z = 2{,}34$; $p = 0{,}029$ и $Z = 3{,}28$; $p = 0{,}001$; $Z = 4{,}11$; $p = 0{,}0004$ и $Z = 4{,}29$; $p = 0{,}00002$; $Z = 4{,}46$; $p = 0{,}00001$ и $Z = 4{,}2$; $p = 0{,}00003$; $Z = 3{,}39$; $p = 0{,}0007$ и $Z = 2{,}1$, $p = 0{,}04$; $Z = 2{,}57$; $p = 0{,}016$ и $Z = 3{,}92$; $p = 0{,}0001$; $Z = 2{,}2$; $p = 0{,}028$ соответственно). На 14-й день СКЛ, помимо описанных ранее изменений, отмечалось увеличение гемоглобина в ОАК ($Z = 1{,}99$; $p = 0{,}045$), эти изменения сохраняются в дальнейшем на 18-й и 21-й день СКЛ ($Z = 2{,}57$; $p = 0{,}01$; $Z = 2{,}2$; $p = 0{,}03$ соответственно).

При проведении вербально-коммуникативного обследования было установлено, что 55 % пациентов с ХБ метеочувствительны, 97 пациентов (97,0 %) прибыли на лечение из климатической зоны постоянного проживания, отличной по комплексу климатических факторов от климатической зоны проведения СКЛ.

При анализе отдаленных результатов лечения было выявлено, что, начиная со срока СКЛ 14 дней, происходит снижение частоты ОРВИ в течение года и числа амбулаторных обращений к пульмонологу и терапевту. Дальнейшее увеличение продолжительности СКЛ не влияет на число отдаленных результатов.

При сопоставлении полученных непосредственных и отдаленных результатов лечения было сделано заключение, что для пациентов с диагнозами простого, слизисто-гнойного или смешанного ХБ, постоянно проживающих в климатической зоне проведения СКЛ, его оптимальный срок будет составлять 14 дней. Для пациентов, прибывших на лечение из других климатических зон, учитывая наличие адаптационно-приспособительных реакций, оптимальный срок СКЛ будет составлять 18 дней.

Достоинством нашего исследования является многоцентровой характер исследования, в котором пациенты получали стандартизованный набор лечебных процедур, имеющих наибольшую доказательную базу, по единому протоколу. Использование дизайна рандомизированного клинического исследования позволяло сделать обоснованные и наиболее достоверные с позиций доказательной медицины выводы о клинической эффективности СКЛ и его оптимальных сроках у пациентов с ХБ.

Результаты данного исследования расширят и, возможно, дополнят знания врачей медицинских организаций, непосредственно осуществляющих отбор пациентов на СКЛ, а также врачей, осуществляющих лечение в санаторно-курортных организациях. Вместе с тем результаты данного исследования могут быть использованы организаторами здравоохранения при планировании оказания медицинских услуг и преподавателями профильных кафедр, осуществляющих обучение студентов, ординаторов или курсантов по данному направлению подготовки.

Ограничения исследования

Данное исследование было проведено в рамках государственного задания НИОКТР 124081000006-8 «Научное обоснование оптимальных сроков санаторно-курортного лечения при различных классах заболеваний по МКБ-10 (МКБ-11)» и строго соответствовало его целям и задачам, в связи с чем нами не производился набор дополнительных групп или включение в исследование отдельных категорий пациентов, например, группы пациентов с ХБ, не получавших СКЛ, группы здоровых добровольцев, исследуемых только с факторами риска заболевания, или пациентов в период обострения ХБ, в связи с чем результаты исследования не могут быть обобщены или перенесены на эти категории людей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что у пациентов с ХБ уровень периферической кислородной сатурации статистически достоверно повышался на 14-й день, а также на 18-й и 21-й день СКЛ. С 14-го дня СКЛ и в сроки 18, 21 день были отмечены статистически достоверный прирост дистанции, проходимой в тесте 6-минутной ходьбы, снижение числа лейкоцитов и СОЭ в периферической крови в эти же сроки СКЛ. При сроках СКЛ 14, 18, 21 день было отмечено статистически достоверное снижение числа жалоб на слабость и утомляемость, повышение качества жизни пациентов по данным визуально-аналоговой шкалы и показателя «Профиль здоровья». Были зарегистрированы реакции адаптации у пациентов, прибывших на лечение из климатической зоны постоянного проживания, отличной по комплексу климатических факторов от климатической зоны проведения СКЛ.

При анализе отдаленных результатов лечения было доказано, что, начиная со срока СКЛ 14 дней, происходит снижение частоты ОРВИ в течение последующего года и числа амбулаторных обращений к пульмонологу и терапевту. Дальнейшее увеличение продолжительности СКЛ не влияет на число отдаленных результатов.

Таким образом, у пациентов с диагнозами простого, слизисто-гнойного или смешанного ХБ, постоянно проживающих в климатической зоне проведения СКЛ, оптимальный срок будет составлять 14 дней, а у пациентов, прибывших на лечение из других климатических зон, — 18 дней.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Гришечкина Ирина Александровна, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник, отдел изучения механизмов действия физических факторов, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

E-mail: grishechkinaia@nmicrk.ru;

ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4384-2860

Яковлев Максим Юрьевич, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник, отдел изучения механизмов действия физических факторов, заместитель директора по стратегическому развитию, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, профессор кафедры общей гигиены, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет).
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5260-8304
Князева Татьяна Александровна, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3384-5205
Бобровницкий Игорь Петрович, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заместитель начальника Филиала № 2 по научной работе, Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий — Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневского Минобороны России; главный научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии, Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии, Государственный научный центр Российской Федерации; член отделения «Медицинские науки», член секции «Профилактическая медицина», Институт медико-биологических проблем Российской академии наук.
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1805-4010

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: Гришечкина И.А. — верификация данных, анализ данных, проведение исследования, обеспечение материалов для исследования, курация данных, написание черновика рукописи, визуализация, курирование проекта; Яковлев М.Ю. — научное обоснование, методология, программное обеспечение, проверка и редактирование рукописи, руководство проектом; Князева Т.А. — научное обоснование, методология, проверка и редактирование рукописи, курирование проекта, руководство проектом; Бобровницкий И.П. — научное обоснование.

Благодарности. Авторы публикации выражают искреннюю благодарность всем врачам и пациентам, принявшим участие в исследовании.
Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

Конфликт интересов. Яковлев М.Ю. — член редакционной коллегии журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные 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 при ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России (Москва, Россия) (Протокол № 7 от 29.08.2024).

Информированное согласие. В исследовании не раскрывается сведений, позволяющих идентифицировать личность пациентов. От всех 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.

Декларация о наличии данных. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, находятся в открытом доступе в репозитории Mendeley Data по адресу: https://doi.org/10.17632/4zpwtsd42m.1

ADDITIONAL INFORMATION

Irina A. Grishechkina, PhD (Med.), Leading Researcher, Department for Study of the Mechanisms of Action of Physical Factors, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
E-mail: grishechkinaia@nmicrk.ru;
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4384-2860
Maxim Yu. Yakovlev, D.Sc. (Med.), Chief Researcher, Department for Study of the Mechanisms of Action of Physical Factors, Deputy Director for Strategic Development, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology; Professor at the Department of General Hygiene, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5260-8304
Tatyana A. Knyazeva, D.Sc. (Med.), Professor, Chief Researcher, Unit of Somatic Rehabilitation, Reproductive Health and Active Longevity, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3384-5205
Igor P. Bobrovnitskii, D.Sc. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Head for Research of Branch No. 2, A.A. Vishnevsky National Medical Research Center for High Medical Technologies, Ministry of Defense of the Russian Federation; Chief Researcher of the Laboratory of Physical-Chemical and Environmental Pathophysiology, Research Institute of General Pathology and Pathophysiology; Member of the "Medical Sciences" Department, Member of the "Preventive Medicine" Section, Institute of Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences.
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1805-4010

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: Grishechkina I.A. — validation, formal analysis, investigation, resources, data curation, writing — original draft, visualization,

supervision; Yakovlev M.Yu. — conceptualization, methodology, software, writing — review & editing, project administration; Knyazeva T.A. — conceptualization, methodology, writing — review & editing, project administration; Bobrovnitskii I.P. — conceptualization.

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

Acknowledgements. The authors of this publication express their sincere gratitude to all the physicians and patients who participated in the study.

Disclosure. Maxim Yu. Yakovlev — Member of Editorial Board 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. The study was approved by the Local Ethics Committee of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology (Moscow, Russia) (Protocol No. 7, dated August 29, 2024).

Informed Consent for Publication. The study does not disclose information to identify the patients. Written consent was obtained from all 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.

Data Availability Statement. The data that support the findings of this study are publicly available in the Mendeley Data repository at: https://doi.org/10.17632/4zpwtsd42m.1

Список литературы/ References

1. Драпкина О.М., Авдеев С.Н., Дроздова Л.Ю. и др. Эффективное комплексное ведение пациентов с хроническим бронхитом: консенсус экспертов. Первичная медико-санитарная помощь. 2024; 1(2): 28–36. https://doi.org/10.15829/3034-4123-2024-28 [Drapkina O.M., Avdeev S.N., Drozdova L.Y., et al. Effective integrated management of patients with chronic bronchitis: expert consensus statement. Primary Health Care (Russian Federation). 2024; 1(2): 28–36. https://doi.org/10.15829/3034-4123-2024-28 (In Russ.).]
2. Косарев В.В., Бабанов С.А. Социальные аспекты хронического бронхита по данным эпидемиологического исследования. Экология человека. 2005; 12: 46–49. [Kosarev V.V., Babanov S.A. Social aspects of chronic bronchitis according to epidemiological study data. Human ecology. 2005; 12: 46–49 (In Russ.).]
3. Miravitles M., la Roza C., Monera J., et al. Chronic respiratory symptoms, spirometry and knowledge of COPD among general population. Respir. Med. 2006; 100(11): 1973–1980. https://doi.org/10.1016/j.rmed.2006.02.024
4. Pelkonen M., Notkola L., Nissinen A., et al. Thirty-year cumulative incidence of chronic bronchitis and COPD in relation to 30-year pulmonary function and 40-year mortality: a follow-up in middle-aged rural men. Chest. 2006; 130(4): 1129–1137. https://doi.org/10.1378/chest.130.4.1129
5. Колосов В.П., Манаков Л.Т., Кику П.Ф. и др. Заболевания дыхания на Дальнем Востоке России: эпидемические и социально-гигиенические аспекты. Монография. Владивосток. 2013; 220 с. [Kolosov V.P., Manakov L.T., Kiku P.F., et al. Respiratory diseases in the Russian Far East: epidemiological and socio-hygienic aspects. Monograph. Vladivostok. 2013; 220 p. (In Russ.).]
6. Чучалин А.Г. Пульмонология. Национальное руководство. Краткое издание. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2020; 768 с. [Chuchalin A.G. Pulmonology. National guidelines. Brief edition. M.: GEOTAR-Media. 2020; 768 p. (In Russ.).]
7. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Рубрикатор клинических рекомендаций. Клинические рекомендации «Хронический бронхит». 28.12.2024. Доступно на: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/655_2 (Дата обращения: 12.05.2026). [Ministry of Health of the Russian Federation. The Clinical Guidelines Rubricator. Clinical Guidelines "Chronic bronchitis". 28.12.2024. Available from: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/655_2 (Accessed: May 12, 2026) (In Russ.).]
8. Овсянников Е.В., Белякова А.В. Оценка качества жизни и выраженности тревоги и депрессии у пациентов с хроническим бронхитом. Научно-практический журнал. 2025; 26(3): 22–30. https://doi.org/10.18499/1990-472X-2025-26-3-22-30 [Ovsyannikov E.V., Belyakova A.V. Assessment of the quality of life and the severity of anxiety and depression in patients with chronic bronchitis. Scientific and practical journal. 2025; 26(3): 22–30. https://doi.org/10.18499/1990-472X-2025-26-3-22-30 (In Russ.).]
9. Царфис П.Г., Данилов Ю.Е. Основные принципы лечения больных на курортах СССР. М.: Медицина. 1975; 312 с. [Tsarfis P.G., Danilov Yu.E. Basic principles of treatment of patients at resorts of the USSR. Moscow: Medicine. 1975; 312 p. (In Russ.).]
10. Зубарева Н.Н., Камкин Е.Г. Научные исследования и практические инструменты современной курортологии: вклад в реализацию национальных целей развития России в среднесрочной перспективе. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(4): 10–18. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-10-18 [Zubareva N.N., Kamkin E.G. Scientific Research and Practical Tools of Contemporary Balneology: Contribution to the Implementation of Russia's National Medium-Term Development Goals. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4): 10–18. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-10-18 (In Russ.).]
11. Боголюбов В.М. Физиотерапия и реабилитация. Книга II. М.: БИНОМ. 2021; 312 с. [Bogolyubov V.M. Physiotherapy and rehabilitation. Book II. M.: BINOM. 2021; 312 p. (In Russ.).]
12. Лыков Ю.А., Кузюкова А.А., Марченкова Л.А. и др. 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., Kuzyukova A.A., Marchenkova L.A., et al. 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.).]
13. Гришечкина И.А., Князева Т.А., Яковлев М.Ю. и др. Эффективность санаторно-курортного лечения различной продолжительности у взрослых пациентов с бронхиальной астмой: многоцентровое рандомизированное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(6): 8–17. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-6-8-17 [Grishechkina I.A., Knyazeva T.A., Yakovlev M.Yu., et al. Effectiveness of Health-Resort Treatment of Varying Duration in Adult Patients with Bronchial Asthma: a Multicenter Randomized Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(6): 8–17. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-6-8-17 (In Russ.).]
14. Карелова Н.Ю., Кулишова Т.В., Харченко С.С. и др. Персонализированный подход в комплексной реабилитации пациентов после коронавирусной пневмонии с применением гипокси-гипероксической терапии: рандомизированное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(5): 34–46. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-5-34-46 [Karelova N.Yu., Kulishova T.V., Kharchenko S.S., et al. Personalized Approach in Complex Rehabilitation of Patients after COVID-19 Pneumonia Using Hypoxia-Hyperoxia Therapy: a Randomized Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(5): 34–46. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-5-34-46 (In Russ.).]

15. Вологжанин Д.А., Голота А.С., Игнатенко А.-М.И. и др. Иммунологические аспекты физиотерапии по данным клинических исследований: обзор. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(5): 73–83. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-5-73-83 [Vologzhanin D.A., Golota A.S., Ignatenko A.-M.I., et al. Immunological Aspects of Physiotherapy According to the Latest Clinical Studies: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(5): 73–83. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-5-73-83 (In Russ.).]

16. Salami A., Dellepiane M., Crippa B., et al. Sulphurous water inhalations in the prophylaxis of recurrent upper respiratory tract infections. International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology. 2008; 72(11): 1717–1722.

17. Разумов А.Н., Ежов В.В., Довгань И.А. и др. Лечебные эффекты климатотерапии: наукометрический анализ доказательных исследований. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2020; 97(6): 59–67. https://doi.org/10.17116/kurort20209706159 [Razumov A.N., Ezhov V.V., Dovgan I.A., et al. Therapeutic effects of climotherapy: scientomatrical analysis of evidence-based studies. Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy. 2020; 97(6): 59–67. https://doi.org/10.17116/kurort20209706159 (In Russ.).]

18. Cristalli G., Abramo A., Pollastrini L. Trattamento delle flogosi croniche delle vie aeree superiori con crenoterapia inalatoria solfureo-solfato-bicarbonato-carbonica-alcalinoterrosa: studio della citologia nasale [Treatment of chronic inflammation of the upper respiratory airways by inhalation thermal therapy with sulfur-sulfate-bicarbonate-carbonate-alkaline earth mineral water: a study of nasal cytology]. Acta Otorhinolaryngol Ital. 1996; 16(S. 55): 91–94.

19. Beer A.M., Fetaj S., Lange U. Peloid therapy. An overview of the empirical status and evidence of mud therapy. Zeitschrift für Rheumatologie. 2013; 72(6): 581–589.

20. Калинина Л.В., Зубарева Н.Н., Кончугова Т.В., Габуева Л.А. Организация персонифицированной траектории санаторно-курортного лечения пациентов фтизиатрического профиля на основе цифровых технологий. Russian journal of environmental and rehabilitation medicine. 2026; 1: 93–101 [Kalinina L.V., Zubareva N.N., Konchugova T.V., Gabueva L.A. The organization of a personalized trajectory for sanatorium treatment of patients with tuberculosis based on digital technologies. Russian journal of environmental and rehabilitation medicine. 2026; 1: 93–101 (In Russ.).]

21. Соколов А.В. Организационно-методические принципы применения технологии восстановительного лечения в условиях санатория. Курортные ведомости. 2003; 3: 14–15 [Sokolov A.V. Organizational and methodological principles for the application of restorative treatment technologies in a sanatorium setting. Resort News. 2003; 3: 14–15 (In Russ.).]

22. Елизаров А.Н., Естенкова М.Г. Санаторно-курортное лечение пациентов с укороченным сроком пребывания на Кисловодском курорте. Курортная медицина. 2013; 3: 89–93 [Elizarov A.N., Estenkova M.G. Spa treatment for short-stay patients at the Kislovodsk resort. Spa medicine. 2013; 3: 89–93 (In Russ.).]

23. Гришечкина И.А., Князева Т.А., Яковлев М.Ю. Сравнение результатов санаторно-курортного лечения различной продолжительности при хронической обструктивной болезни легких: многоцентровое исследование. Врач. 2026; 37(2): 70–74. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-02-14 [Grishechkina I.A., Knyazeva T.A., Yakovlev M.Yu. Comparison of the outcomes of spa treatment of varying duration for chronic obstructive pulmonary disease: a multicenter study. Vrach. 2026; 37(2): 70–74. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-02-14 (In Russ.).]

24. Гришечкина И.А. Оценка долгосрочной эффективности реабилитационных программ у пациентов с постковидным синдромом. Врач, 2023; 34(7): 76–79. https://doi.org/10.29296/25877305-2023-07-17 [Grishechkina I.A. Evaluation of the long-term effectiveness of rehabilitation programs in patients with post-COVID syndrome. Vrach. 2023; 34(7): 76–79. https://doi.org/10.29296/25877305-2023-07-17 (In Russ.).]

25. Агаркова В.Ю., Богачева А.В., Седова А.В. и др. Модуляция метаболических процессов короткоцепочечными жирными кислотами у пациентов с бронхиальной астмой: роль микробиоты. Врач. 2026; 37(3): 19–24. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-03-03 [Agarkova V.Yu., Bogacheva A.V., Sedova A.V., et al. Modulation of metabolic processes by short-chain fatty acids in patients with bronchial asthma: the role of the microbiota. Vrach. 2026; 37(3): 19–24. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-03-03 (In Russ.).]

Оригинальная статья / Original article
DOI: https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-28-38

Статическое и динамическое равновесие у детей с врожденными пороками сердца и эффективность тренировок на стабилоплатформе: проспективное сравнительное исследование

Савова Е.М.*, Ковалев И.А., Заварина А.Ю.

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

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Дети с врожденными пороками сердца (ВПС) имеют высокий риск отклонений в моторном развитии, одним из проявлений которых являются нарушения равновесия, что при отсутствии коррекции может негативно отразиться на качестве их жизни.
ЦЕЛЬ. Изучить половозрастные особенности формирования равновесия у детей с ВПС с применением стабилометрии и оценить эффективность курса кардиологической реабилитации, дополненного тренировками на стабилоплатформе с биологической обратной связью (БОС).
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Участники исследования — дети 7–14 лет в отдаленном периоде после оперативного лечения ВПС (радикальная и гемодинамическая коррекция) с жалобами на нарушения координации, головокружение, двигательную неловкость, кинетоз, проходившие курс кардиологической реабилитации на базе Реабилитационного центра для детей с пороками сердца ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России в 2023–2024 гг. По результатам опросника координации DCDQ'07 (Developmental Coordination Disorder Questionnaire) и в зависимости от длительности госпитализации участники были разделены на контрольную (стандартный курс реабилитации: лечебная физкультура (ЛФК), физиотерапия и занятия с психологами) и основную (с дополнительными занятиями на стабилоплатформе) группы. Всем детям проводилась оценка статического равновесия с помощью пробы «Стойка на одной ноге» Цюрихской шкалы нейромоторного развития-2 (Zurich Neuromotor Assessment-2, ZNA-2) и динамического равновесия (стабилометрический «Тест лимита стабильности») в начале и в конце курса реабилитации. Основные постурографические показатели статического равновесия были проанализированы по результатам пробы «Показатель функции равновесия» (ПФР).
РЕЗУЛЬТАТЫ. В исследование включено 94 пациента (47 мальчиков и 47 девочек) с медианой возраста 10,5 [8,0; 12,0] года. Наиболее выраженные отклонения z-оценки (стандартизированная оценка) статического равновесия по ZNA-2 были получены у детей с цианотическими одножелудочковыми пороками: 29,4 % из них имели нарушения легкой степени тяжести (z-оценка от –1,0 до –2,0), а 11,8 % — тяжелой (≤–3,0). По данным стабилометрии, выявлена нелинейность становления постурального контроля у пациентов с ВПС по мере взросления, а также тенденция к ухудшению динамического равновесия в подростковом возрасте. Девочки характеризовались лучшими показателями статической устойчивости, тогда как мальчики — динамической. Дополнение курса кардиологической реабилитации балансотерапией на стабилоплатформе показало статистически значимое повышение z-оценки статического равновесия с –0,5 [–1,11; –0,15] до –0,24 [–0,68; 0,22] ($p < 0,001$) и показателей лимита стабильности (ПЛС) во всех направлениях: вперед — с 92,7 ± 22,0 % до 101,6 ± 23,3 % ($p = 0,006$), назад — с 60,7 ± 18,3 % до 71,2 ± 21,0 % ($p < 0,001$), вправо — с 77,5 ± 20,4 % до 85,6 ± 12,7 % ($p = 0,006$), влево — с 85,7 ± 14,7 % до 93,4 ± 11,9 % ($p < 0,001$). Также в статье представлены результаты анализа влияния различных двигательных режимов на улучшение равновесия в рамках курса реабилитации.
ОБСУЖДЕНИЕ. Полученные нами данные стабилометрии отражают в целом неоптимальное функциональное состояние системы равновесия у детей с ВПС, а также указывают на продолжение развития этой функции в подростковом возрасте. Выявленные особенности могут быть обусловлены сопутствующей патологией (например, опорно-двигательного аппарата), которая, однако, напрямую связана с первичной патологией сердца.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Для детей-школьников с ВПС и жалобами на постуральные расстройства характерны отклонения z-оценки статического равновесия при депривации зрения, волнообразный паттерн формирования статической опороспособности и отсутствие прироста показателей динамического равновесия по мере взросления. Дополнительные тренировки на стабилоплатформе с БОС способствуют улучшению постурального контроля.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дети, врожденные пороки сердца, равновесие, кардиореабилитация, биологическая обратная связь

Для цитирования / For citation: Савова Е.М., Ковалев И.А., Заварина А.Ю. Статическое и динамическое равновесие у детей с врожденными пороками сердца и эффективность тренировок на стабилоплатформе: проспективное сравнительное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(5):28–38. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-28-38 [Savova E.M., Kovalev I.A., Zavarina A.Yu. Static and Dynamic Balance in Children with Congenital Heart Defects and the Effectiveness of Training on a Stabilometer Platform: A Prospective Comparative Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):28–38. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-28-38 (In Russ.).]

* **Для корреспонденции:** Савова Елена Михайловна, E-mail: emsavova@bakulev.ru

Статья получена: 12.08.2025
Статья принята к печати: 31.08.2026
Статья опубликована: 23.10.2026

© 2026, Савова Е.М., Ковалев И.А., Заварина А.Ю.
Эта статья открытого доступа по лицензии CC BY-NC-SA 4.0. Издательство: ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

Static and Dynamic Balance in Children with Congenital Heart Defects and the Effectiveness of Training on a Stabilometer Platform: A Prospective Comparative Study

Elena M. Savova*, **Igor A. Kovalev**, **Anna Yu. Zavarina**

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

ABSTRACT

INTRODUCTION. Children with congenital heart defects (CHD) face a significant risk of experiencing delays in motor development, often highlighted by difficulties with balance. If not addressed, these issues can adversely impact their quality of life.

AIM. To study the gender- and age-specific characteristics of balance development in children with congenital heart diseases using stabilometry and to evaluate the effectiveness of a cardiac rehabilitation program supplemented with training on a stabilometer platform with biofeedback (BF).

MATERIALS AND METHODS. The study participants were children aged 7–14 years in the long-term follow-up period after surgical treatment for congenital heart defects (radical and hemodynamic correction) who reported complaints of coordination problems, dizziness, motor clumsiness, and motion sickness, who underwent a course of cardiac rehabilitation at the Rehabilitation Center for Children with Heart Defects at the A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery of the Russian Ministry of Health in 2023–2024. According to the results of the DCDQ'07 (Developmental Coordination Disorder Questionnaire) and depending on the duration of hospitalization, participants were divided into a control group (standard rehabilitation program: exercise therapy, physical therapy, and sessions with psychologists) and an experimental group (with additional sessions on a stability platform). All children underwent an assessment of static balance using the "One-Leg Stand" test from the Zurich Neuromotor Assessment-2 (ZNA-2) and an assessment of dynamic balance (the stabilometric "Limits of Stability" test) at the beginning and end of the rehabilitation course. The main posturographic indicators of static balance were analyzed based on the results of the "Balance Function Index" test.

RESULTS. The study involved 94 patients (47 boys and 47 girls) with a median age of 10.5 [8.0; 12.0] years. The most pronounced deviations in the z-score (standardized score) for static balance on the ZNA-2 were observed in children with cyanotic single-ventricle defects: 29.4 % of them had mild impairments (–1.0 > z-score > –2.0) whilst 11.8 % had severe impairments (≤ –3.0). Stabilometry data revealed a non-linear development of postural control in patients with CHD as they grew older, as well as a trend towards a deterioration in dynamic balance during adolescence. Girls demonstrated better static stability, whilst boys showed better dynamic balance. Supplementing the cardiac rehabilitation programme with balance therapy on a stabilization platform resulted in a statistically significant increase in the z-score for static balance from –0.5 [–1.11; –0.15] to –0.24 [–0.68; 0.22] ($p < 0.001$) and in stability limit indicators in all directions: forward from 92.7 ± 22.0 % to 101.6 ± 23.3 % ($p = 0.006$), backward from 60.7 ± 18.3 % to 71.2 ± 21.0 % ($p < 0.001$), to the right from 77.5 ± 20.4 % to 85.6 ± 12.7 % ($p = 0.006$), to the left from 85.7 ± 14.7 % to 93.4 ± 11.9 % ($p < 0.001$). The article also presents the results of an analysis of the effect of various exercise regimes on improving balance as part of the rehabilitation programme.

DISCUSSION. Our stabilometry data represent a generally suboptimal balance ability in children with CHD and also demonstrate that balance function continues to develop during adolescence. These findings may be due to comorbidities (e.g., musculoskeletal disorders), which, nevertheless, are directly related to the underlying cardiac pathology.

CONCLUSION. School children with CHD and complaints of postural instability have z-score deviations in static balance tests with visual deprivation, a wave-like pattern of static stability development, and no improvements in dynamic balance with age. Additional training on a stabilometer platform with BF helps to improve postural control.

KEYWORDS: children, congenital heart defects, postural balance, cardiac rehabilitation, biofeedback

For citation: Savova E.M., Kovalev I.A., Zavarina A.Yu. Static and Dynamic Balance in Children with Congenital Heart Defects and the Effectiveness of Training on a Stabilometer Platform: A Prospective Comparative Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):28–38. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-28-38 (In Russ.).

* **For correspondence:** Elena M. Savova, E-mail: emsavova@bakulev.ru

Received: 12.08.2025
Accepted: 31.08.2026
Published: 23.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

Существующие методы диагностики позволяют тщательно обследовать пациентов с врожденными пороками сердца (ВПС) на разных этапах их жизни, начиная с периода внутриутробного развития [1]. Передовые технологии предоставляют возможности как интра- [2], так и постоперационного [3] мониторинга различных систем организма, а важность качества жизни людей после кардиохирургических вмешательств предопределяет комплексный подход не только к их обследованию, но и к реабилитации [4].

Становление ребенка с ВПС как полноценного члена общества в значительной мере зависит от сформированности его двигательных навыков, определяющихся развитием постурального контроля [5]. По имеющимся данным, моторные нарушения могут затрагивать до 2/3 детей с ВПС [6], и для них характерны отклонения в статическом и динамическом равновесии [7–10], при-

чем у пациентов с исходно более тяжелыми пороками выявляются более выраженные нарушения [8].

ЦЕЛЬ

Изучить половозрастные особенности формирования равновесия у детей с ВПС с применением стабилометрии и оценить эффективность курса кардиологической реабилитации, дополненного тренировками на стабилоплатформе с биологической обратной связью (БОС).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование функции равновесия у детей-школьников с ВПС проводилось с применением стабилометрического комплекса «СТАБИЛО-МБН» (ООО НМФ «МБН», Россия) с 2023 г. по 2024 г. на базе Реабилитационного центра для детей с пороками сердца ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России (НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева). Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева (Протокол № 2 от 13.04.2023).

Критерии включения и невключения

Критериями включения являлись возраст от 7 до 14 лет включительно; отдаленный период после радикальной коррекции ВПС; наличие жалоб на проблемы с координацией, головокружение, двигательную неловкость, кинетоз; информированное согласие, подписанное родителями и ребенком старше 14 лет.

Критерии невключения: отсутствие статуса «учащийся»; генетическое заболевание, тяжелая ортопедическая (установленный диагноз или данные о наличии сколиоза 3–4-й степени при осмотре, выраженная деформация нижних конечностей), значимая неврологическая (детский церебральный паралич, инсульт в анамнезе и т.п.) или нескорректированная офтальмологическая патология; несоблюдение инструкций пациентом.

Методы исследования и деления пациентов на группы

Родители включенных в научную работу пациентов заполняли опросник о координации (Developmental Coordination Disorder Questionnaire 2007, DCDQ'07, Канада). Дети с низким баллом по анкете DCDQ'07, предполагающим наличие диспраксии, в случае согласия посетить не менее 7 тренировочных сессий на стабилоплатформе распределялись в основную группу. Контрольную группу составили пациенты без диспраксии по данным анкетирования (однако отсутствие выраженных двигательных нарушений, по субъективной оценке родителей, не исключает ее наличия) либо с невысоким баллом по DCDQ'07 и невозможностью посетить ≥ 7 дополнительных занятий по объективным причинам.

Первичная диагностика состояла в оценке статического равновесия с помощью пробы «Стойка на одной ноге» с открытыми (ГО) и закрытыми глазами (ГЗ), входящей в Цюрихскую шкалу нейромоторного развития-2, а также посредством стабилометрического теста «Показатель функции равновесия» (ПФР) (пробы в основной стойке проводились с европейской установкой стоп, пробы Ромберга — с установкой стоп вместе и вытянутыми вперед руками). Динамический компонент равновесия изучался в пробе «Тест лимита стабильности» на стабилоплатформе. Эффективность тренировок оценивалась по изменению z-оценки (стандартизированная оценка) статического равновесия по Цюрихской шкале и показателей лимита стабильности (ПЛС), по данным стабилометрии.

Характеристика групп по реабилитационным процедурам и методика тренировок на стабилоплатформе

Все участники исследования занимались лечебной физкультурой (ЛФК) (лечебная и дыхательная гимнастика в зале, аквагимнастика в бассейне либо велотренировки) и проходили физиотерапевтическое лечение в зависимости от клинико-функционального состояния. Занятия на стабилоплатформе с БОС проводились дополнительно к стандартному реабилитационному курсу, ежедневно по будням в утренние часы. Тренировки длились 20–25 минут и состояли в выполнении различных игровых заданий на улучшение равновесия, сложность которых возрастала по мере освоения ребенком более простых уровней.

Статистический анализ

Обработка полученных данных проводилась с помощью программы IBM SPSS Statistics 26. Нормальность распределения определялась по критериям Колмогорова — Смирнова с поправкой Лиллиефорса (при $n > 50$ человек) или Шапиро — Уилка ($n < 50$). Применявшиеся методы анализа: параметрические (*t*-критерий Стьюдента, однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA)) и непараметрические (*U*-критерий Манна — Уитни); сравнение связанных совокупностей с помощью парного *t*-критерия и критерия Вилкоксона. Результаты представлены как M ± SD в случае нормального распределения и как Me [Q_1; Q_3] — при отличном от нормального распределении.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Участие в исследовании приняло 94 пациента с медианой возраста 10,5 [8,0; 12,0] года, соотношение по полу — 47 мальчиков и 47 девочек. По типу ВПС общая группа была представлена пороками сердца: ацианотические — 54,2 %, цианотические двухжелудочковые — 27,7 %, единственный желудочек — 18,1 %. Медиана срока после радикальной коррекции ВПС — 7,5 [5,0; 10,0] года. Доля детей с жалобами на двигательную неловкость составила 55,3 %, периодические спотыкания — 48,9 %, головокружения — 47,9 %, кинетоз — 45,7 %, шаткость при ходьбе/стоянии — 28,7 %. У 70,2 % общей выборки балл анкеты DCDQ'07 соответствовал наличию диспраксии. При осмотре у 54,3 % пациентов выявлено нарушение осанки (без данных о наличии сколиоза), у 16 % — сколиотическая осанка (положительный тест Адамса); 12,8 % пациентов имели килевидную, 13,8 % — воронкообразную, 13,8 % — смешанную деформации грудной клетки, у 9,6 % выявлен сердечный горб. Только у 17 % детей не было видимых отклонений со стороны опорно-двигательного аппарата. Очки носили 24 ребенка, из них 70,8 % имели мио-

пию, 20,8 % — гиперметропию, 37,5 % — астигматизм (которые на момент исследования, со слов родителей, были скорректированы).

Статическое равновесие с использованием пробы «Стойка на одной ноге» в общей группе оказалось ниже среднего, но в пределах нормативных значений: z-оценка = –0,34 [–0,89; 0,2]. Более глубокий анализ данных показал, что наиболее выраженные отклонения отмечались в тестах Г3: –0,51 ± 0,86 и –0,67 ± 0,93 для доминантной и недоминантной ног соответственно.

На рисунке 1 представлены результаты данной пробы по каждому из тестов в зависимости от возраста. Обращают на себя внимание наибольшая вариабельность показателей в тестах ГО в возрасте 7–9 лет и выраженные отклонения от среднего в 13 лет. Данные тестов Г3 характеризуются большим интерквартильным размахом и более низкими медианными значениями, что указывает на некоторое отставание детей с ВПС в формировании статического равновесия при закрытых глазах, и здесь также выделяется выраженное отклонение от нормы 13-летних пациентов.

Разделение когорты по типам ВПС показало, что более выраженные отклонения у детей с цианотическими пороками в «Стойке на одной ноге» были обусловлены худшей опороспособностью в тестах с депривацией зрения (табл. 1).

Сравнение пациентов с ацианотическими и цианотическими ВПС, разделенных на подгруппы в зависимости от типа порока (одно- или двухжелудочковый), выявило статистически значимые различия (p = 0,006). Z-оценка статического равновесия снижалась по мере возрастания исходной тяжести порока сердца, и 29,4 % пациентов в подгруппе с единственным желудочком имели нарушения легкой степени тяжести (z-оценка от –1,0 до –2,0), а 11,8 % — тяжелой (≤ –3,0).

По результатам пробы ПФР получены данные о возрастных изменениях ПФР и коэффициента Ромберга (КР) (рис. 2 и 3). Оба графика характеризуются нелинейностью динамики, ПФР (рис. 2) имеет тенденцию к возрастанию.

Анализ скорости общего центра давления (ОЦД) (рис. 4) также выявил возрастные особенности: данный параметр имеет тенденцию к снижению по мере взросления пациентов, однако его динамика тоже нелинейна, и более выраженный волнообразный паттерн отмечается в пробах Г3. На данном графике заметны выраженные пики для всех представленных тестов у 9-летних детей, а также возрастание скорости в 11 и 13 лет в тестах с депривацией зрения.

Сведения о ПЛС у детей в медицинской литературе весьма ограничены, поэтому мы сопоставили наши результаты с условной нормой, определенной польскими коллегами в похожей пробе [13]. Для этого мы разделили пациентов на аналогичные возрастные группы. В таблице 2 приведены полученные нами данные ПЛС, а также выявленные различия.

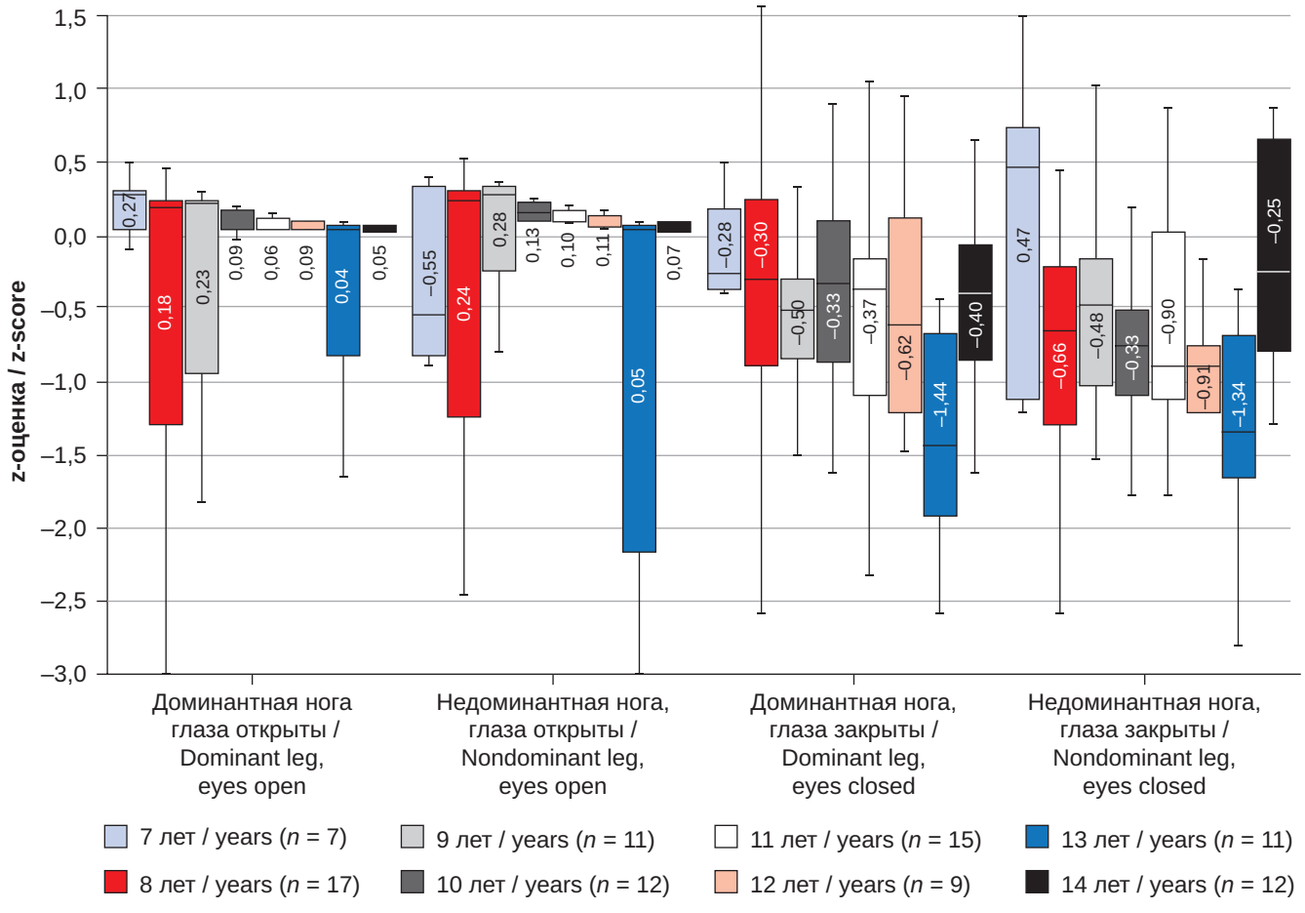


Рис. 1. Показатели статического равновесия у детей с врожденными пороками сердца разного возраста
Fig. 1. Static balance parameters in children with congenital heart defects of different ages

Таблица 1. Влияние типа врожденного порока сердца на статическое равновесие по «Стойке на одной ноге»
Table 1. The effect of the type of congenital heart defect on static balance using the One-Leg Stand test

Показатель / Parameter	Тип ВПС / CHD type		*p*
	Ацианотический (*n* = 51) / Acyanotic (*n* = 51)	Цианотический (*n* = 43) / Cyanotic (*n* = 43)	
Возраст, лет/ Age, years	10,0 [8,0; 12,0]	11,0 [9,0; 12,5]	0,479
Статическое равновесие, z-оценка / Static balance, z-score	–0,15 [–0,56; 0,12]	–0,56 [–1,14; –0,28]	0,003*
Стойка на доминантной ноге, ГО, z-оценка / Standing on dominant leg, EO, z-score	0,08 [0,04; 0,18]	0,06 [–0,85; 0,11]	0,082
Стойка на недоминантной ноге, ГО, z-оценка / Standing on non-dominant leg, EO, z-score	0,09 [0,05; 0,2]	0,09 [–0,38; 0,19]	0,501
Стойка на доминантной ноге, ГЗ, z-оценка / Standing on dominant leg, EC, z-score	–0,34 [–0,92; 0,32]	–0,63 [–1,17; –0,28]	0,022*
Стойка на недоминантной ноге, ГЗ, z-оценка / Standing on non-dominant leg, EC, z-score	–0,65 [–1,06; 0,35]	–0,9 [–1,29; –0,4]	0,048*

Примечание: ** — различия показателей статистически значимы (p < 0,05). ВПС — врожденный порок сердца, ГЗ — глаза закрыты, ГО — глаза открыты.*
Note: ** — statistically significant difference (p < 0.05). CHD — congenital heart defect, EC — eyes closed, EO — eyes open.*

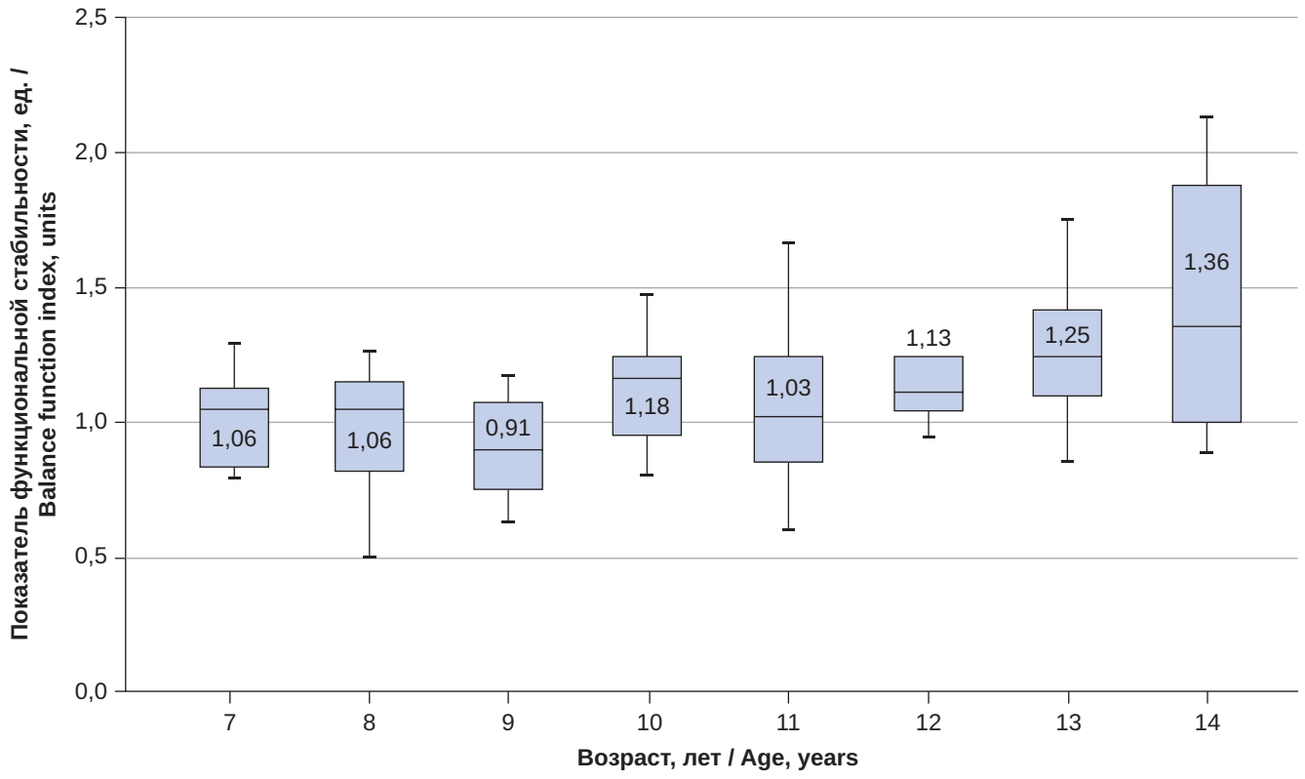


Рис. 2. Показатель функции равновесия у детей с врожденными пороками сердца в зависимости от возраста
Fig. 2. Balance function index in children with congenital heart defects by age

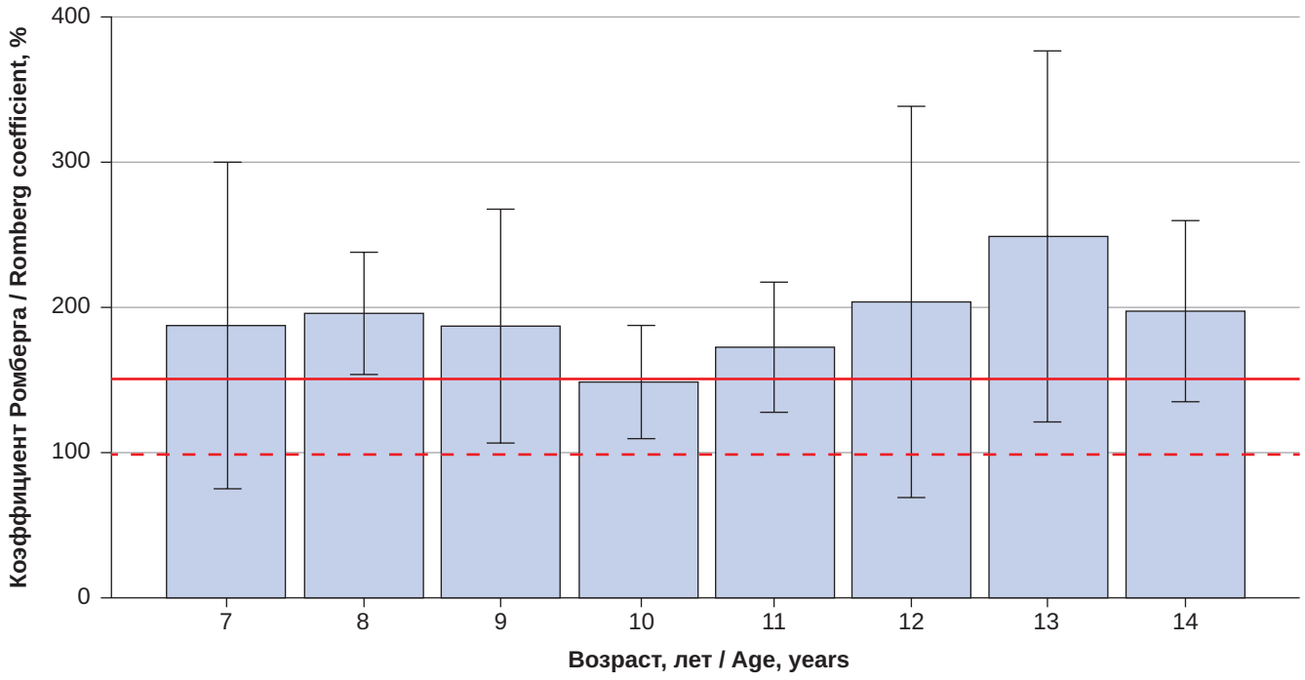


Рис. 3. Динамика коэффициента Ромберга у детей с врожденными пороками сердца по возрастным группам
Fig. 3. Dynamics of the Romberg coefficient in children with congenital heart defects by age group

Примечание: —— — *средние значения для детей;* – – – — *граница преобладания проприоцептивной (< 100 %) либо зрительной (> 100 %) систем [12].*
Note: —— — *mean for children;* – – – — *a borderline between proprioceptive (< 100 %) or visual (> 100 %) system predomination [12].*

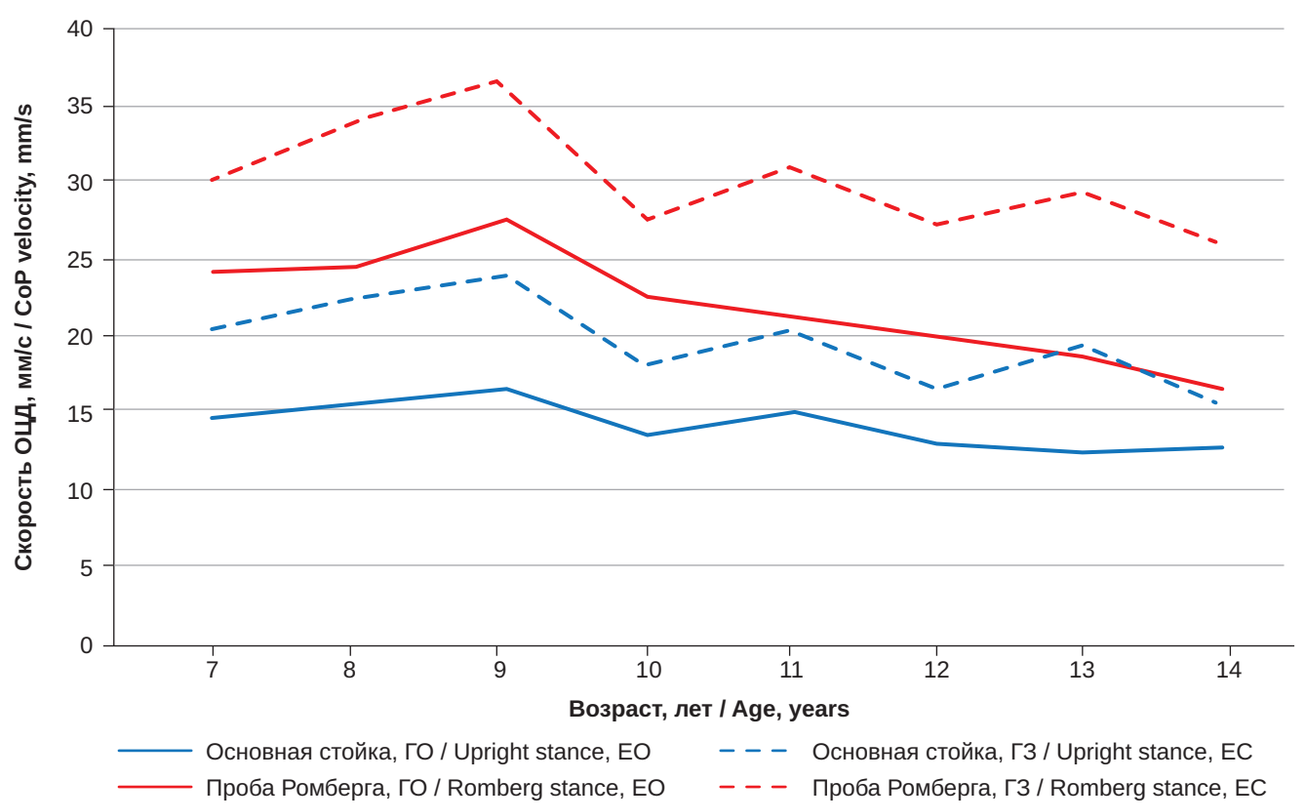


Рис. 4. Изменения средней скорости центра давления в зависимости от возраста и условий проведения проб (постановки стоп и депривации зрения)
Fig. 4. Changes in the average center of pressure velocity depending on age and test conditions (stance width and visual deprivation)

Примечание: *ГЗ — глаза закрыты, ГО — глаза открыты, ОЦД — общий центр давления.*
Note: *EC — eyes closed, EO — eyes open, CoP — center of pressure.*

Таблица 2. Результаты «Теста лимита стабильности» и их сопоставление с условной нормой
Table 2. "Limits of stability" test results and their comparison with the conventional standard

Возрастная группа / Age group	Показатель лимита стабильности, % (отклонение от нормы [13], %) / Limit of stability, % (deviation from the norm [13], %)				
	Вперед / Forward	Назад / Backward	Вправо / To the right	Влево / To the left	Все направления / All directions
(6-)7 лет / (6-)7 years	95,1 ± 22,4 (–9,2)	56,1 ± 18,1 (+35,2)	86,6 ± 7,6 (–4,3)	94,6 ± 11,8 (–2,0)	83,1 ± 8,2 (–0,2)
8–9 лет / 8–9 years	103,9 ± 28,5 (–1,2)	61,7 ± 20,5 (+54,6)	79,3 ± 18,0 (–15,6)	88,2 ± 14,3 (–5,8)	83,3 ± 12,4 (+0,1)
10–11 лет / 10–11 years	95,7 ± 20,6 (–2,0)	64,6 ± 17,8 (+37,2)	79,8 ± 16,7 (–23,3)	89,3 ± 15,2 (–15,4)	82,3 ± 11,6 (–6,7)
12–13 лет / 12–13 years	88,5 ± 16,6 (–4,5)	62,0 ± 15,1 (+11,5)	80,9 ± 22,1 (–24,3)	79,9 ± 13,2 (–28,2)	77,8 ± 10,9 (–15,1)
14(-15) лет / 14(-15) years	97,4 ± 22,4 (–4,6)	61,1 ± 20,1 (+0,2)	80,3 ± 11,8 (–24,8)	83,4 ± 13,4 (–25,2)	80,6 ± 9,4 (–15,9)

Проведенный анализ не выявил разницы в уровне физической активности, по баллу DCDQ'07, z-оценке статического равновесия, ПФР и КР в зависимости от пола, однако мы получили более низкие показатели скорости ОЦД у девочек и статистически значимо лучшие результаты в «Тесте лимита стабильности» у мальчиков (табл. 3).

Как было описано выше, пациенты были разделены на 2 группы, в одной из которых проводились тренировки на стабилоплатформе с БОС. Основная характеристика групп представлена в таблице 4. Статистически значимые различия выявлены только по баллу анкеты DCDQ'07 ($p < 0,001$), причем средний балл контрольной группы соответствовал пограничной зоне определения диспраксии. По сопутствующей патологии (частоте нарушений со стороны опорно-двигательного аппарата и органа зрения) группы были сопоставимы.

За период прохождения курса реабилитации пациенты из основной группы посетили 7,0 [7,0; 8,0] тренировок на стабилоплатформе. В таблице 5 представлены результаты сравнительного анализа изучаемых групп по параметрам, выбранным для оценки эффективности курса реабилитации.

Таблица 3. Отличия стабилометрических показателей у детей с врожденными пороками сердца в зависимости от пола
Table 3. Sex differences in stabilometric parameters in children with congenital heart defects

Показатель / Parameter	Девочки [8,0; 13,0], лет / Girls 11,0 [8,0; 13,0] years (*n* = 47)	Мальчики 10,0 [9,0; 12,0], лет / Boys 10,0 [9,0; 12,0] years (*n* = 47)	*p*
Скорость ОЦД (основная стойка, ГО), мм/с / CoP velocity (upright stance, EO), mm/s	13,4 [11,7; 15,8]	14,0 [13,1; 16,5]	0,136
Скорость ОЦД (основная стойка, ГЗ), мм/с / CoP velocity (upright stance, EC), mm/s	18,4 [14,6; 21,8]	19,4 [15,7; 23,1]	0,3
Скорость ОЦД (проба Ромберга, ГО), мм/с / CoP velocity (Romberg stance, EO), mm/s	20,8 [15,8; 24,2]	23,2 [19,6; 26,9]	0,005*
Скорость ОЦД (проба Ромберга, ГЗ), мм/с / CoP velocity (Romberg stance, EC), mm/s	26,2 [21,9; 33,9]	30,2 [26,5; 34,8]	0,039*
Показатель лимита стабильности / Limit of stability: Вперед / Forward, %	89,7 ± 23,9	103,9 ± 20,1	0,002*
Назад / Backward, %	57,6 ± 13,8	66,6 ± 20,9	0,016*
Вправо / To the right, %	76,2 ± 17,0	84,7 ± 16,5	0,016*
Влево / To the left, %	83,9 ± 13,6	89,4 ± 14,8	0,065

Примечание: ** — различия показателей статистически значимы (p < 0,05). ГЗ — глаза закрыты, ГО — глаза открыты, ОЦД — общий центр давления.*
Note: ** — statistically significant difference (p < 0.05). EC — eyes closed, EO — eyes open, CoP — center of pressure.*

Таблица 4. Характеристика сравниваемых групп
Table 4. Characteristics of the compared groups

Группа / Group	N	Пол / Sex		Возраст / Age	Тип ВПС / CHD type		Количество лет после радикальной коррекции / Years after radical correction	Балл DCDQ'07 / DCDQ'07 points
		Мужской / Male	Женский / Female		Ациано-тический / Acyanotic	Цианотический (в том числе с единственным желудочком) / Cyanotic (including univentricular CHD)		
Основная / Main	47	23	24	11,0 [8,0; 13,0]	24	23 (9)	7,3 ± 3,5	43,4 ± 8,9
Контрольная / Control	47	24	23	10,0 [9,0; 12,0]	27	20 (8)	7,2 ± 3,8	55,9 ± 10,4

Примечание: *ВПС — врожденный порок сердца, DCDQ'07 — опросник для оценки расстройств координации движений.*
Note: *CHD — congenital heart defect, DCDQ'07 — The Developmental Coordination Disorder Questionnaire 2007.*

Таблица 5. Эффективность тренировок на стабилоплатформе
Table 5. Effectiveness of training on a stabilometer platform

Показатель / Parameter	Этапы наблюдения / Study phase			
	Основная группа / Main group (n = 47)		Контрольная группа / Control group (n = 47)	
	До / Before	После / After	До / Before	После / After
Статическое равновесие, z-оценка / Static balance, z-score	–0,5 [–1,11; –0,15]	–0,24 [–0,68; 0,22]	–0,24 [–0,71; 0,12]	–0,28 [–0,89; 0,15]
p	< 0,001*		0,719	
Показатель лимита стабильности: Вперед / Limit of stability: Forward, %	92,7 ± 22,0	101,6 ± 23,3	100,9 ± 23,6	107,5 ± 22,0
p	0,006*		0,015*	
Назад / Backward, %	60,7 ± 18,3	71,2 ± 21,0	63,5 ± 18,1	63,0 ± 17,2
p	< 0,001*		0,756	
Вправо / To the right, %	77,5 ± 20,4	85,6 ± 12,7	83,4 ± 12,8	87,6 ± 14,3
p	0,006*		0,751	
Влево / To the left, %	85,7 ± 14,7	93,4 ± 11,9	87,6 ± 14,3	89,4 ± 13,1
p	0,001*		0,352	

Примечание: ** — различия показателей статистически значимы (p < 0,05).*
Note: ** — statistically significant difference (p < 0.05).*

Анализ пробы «Стойка на одной ноге» выявил, что улучшения в основной группе были получены преимущественно за счет повышения z-оценки в тестах на недоминантной ноге: в тесте ГО показатель возрос с 0,08 [–0,93; 0,18] до 0,1 [0,05; 0,29] (p = 0,058; выраженно уменьшился интерквартильный размах). В тесте ГЗ z-оценка увеличилась с –0,97 [–1,26; –0,37] до –0,27 [–1,28; 0,52] (p = 0,001). По данным стабилометрии, в группе с тренировками отмечалось статистически значимое возрастание ПЛС во всех направлениях в среднем на 8 %.

Для оценки влияния каждого из назначенных пациентам двигательных режимов на функцию равновесия был проведен анализ изучаемых показателей в динамике в следующих группах: ЛФК в зале (n = 27), аквагимнастика (n = 17), ЛФК + стабилоплатформа (n = 33), аквагимнастика + стабилоплатформа (n = 12). Из-за малого числа пациентов сравнение эффективности велотренировок не проводилось. У детей без дополнительных занятий выявлено улучшение только по 1 параметру — возрастание ПЛС вперед (p = 0,006) в группе аквагимнастики. Комбинация аквагимнастики и балансотерапии характеризовалась улучшением z-оценки статического равновесия (p = 0,002) за счет значительного повышения устойчивости в тестах ГО (p = 0,041) и ГЗ (p = 0,047) на недоминантной ноге. Однако самым эффективным двигательным режимом оказалось сочетание ЛФК в зале и занятий на стабилоплатформе, так как именно

в данной группе пациентов выявлено улучшение как статического (p = 0,026), так и динамического равновесия во всех направлениях: вперед (p = 0,017), назад (p = 0,001), вправо (p = 0,023) и влево (p = 0,004).

ОБСУЖДЕНИЕ

Интерпретация полученных данных затруднена в связи с отсутствием в литературе информации о большинстве стабилометрических показателей по результатам тех же проб у детей. Исследуемая когорта характеризовалась увеличением ПФР (рис. 2), что соответствует представлениям об улучшении постурального контроля в подростковом возрасте [11]. Однако полученные нами значения (рис. 2) существенно ниже таковых, описанных Скворцовым Д.В. для практически здоровых людей 17–20 лет (4,2 ± 1,52) [12]. С учетом незначительной динамики ПФР с возрастом кажется маловероятным, что у детей из нашей выборки с 15 до 17 лет этот показатель возрастет в 3 раза. Кроме того, в связи с измененной гемодинамикой, гипоксемией, воздействием различных периоперационных факторов, а также отставанием в моторном развитии разной степени тяжести [6] можно предположить, что низкие значения ПФР у данной когорты детей отражают в целом неоптимальное функциональное состояние системы равновесия. Коэффициент Ромберга (рис. 3) в данной когорте был выше среднего показателя для детей [12] и отличается более выраженным преобладанием зрительной системы. Примечателен тот факт, что именно в группе детей 13 лет КР был самым высоким. Сопоставление скорости ОЦД в основной стойке ГО и ГЗ у пациентов с ВПС (рис. 4) с данными Barozzi S. et al. [14] показало, что изучавшаяся ими группа типично развивающихся детей отличалась меньшей скоростью ОЦД и линейным снижением данного параметра по мере увеличения возраста.

Проведенный нами анализ динамического равновесия (табл. 2) позволил выявить отсутствие выраженных отклонений ПЛС вперед во всех возрастных группах у пациентов с врожденной кардиологической патологией. Полученные в нашем исследовании ПЛС назад значительно выше аналогичного показателя у польских детей 7–11 лет [13], но в подростковом возрасте эта разница нивелируется. Такие расхождения, наиболее вероятно, обусловлены особенностями проведения теста. ПЛС при наклонах вправо и влево у детей с ВПС имеют тенденцию к сохранению на прежнем уровне или снижению по мере взросления, что не было характерно для здоровой популяции детей [13]. Суммарный ПЛС также демонстрировал снижение с возрастом как в абсолютных, так и в относительных значениях.

По результатам метаанализа Schedler S. et al. девочки характеризуются лучшим развитием статического компонента равновесия, однако мальчики имеют незначительное преимущество в заданиях на динамическое равновесие (во время ходьбы) и превосходят девочек в заданиях на опережающий постуральный контроль [11], аналогичных «Тесту лимита стабильности». Оценка стабилометрических показателей здоровых детей подтвердила лучшее развитие постурального контроля у девочек [5], но не выявила половых различий в ПЛС [13]. Исследуемая нами группа также характеризовалась лучшей статической опороспособностью девочек, но мы получили существенное превосходство мальчиков в динамическом равновесии (табл. 3).

Мнения ученых относительно длительности становления функции равновесия разнятся. Ряд авторов считает, что формирование постурального контроля у здоровых детей завершается в 12 лет [5, 13, 15], тогда как Barozzi S. et al. пришли к заключению, что в 14 лет дети не достигают уровня взрослых по данному параметру [14]. Это подтверждается выводами систематического обзора и метаанализа, согласно которым развитие равновесия у здоровых детей продолжается вплоть до окончания подросткового периода по мере созревания центральной нервной системы [11]. С учетом полученного нами «провала» в z-оценке статического равновесия у пациентов в 13 лет, а также низких значений ПФР и ПЛС и весьма высоких показателей скорости ОЦД в 14-летнем возрасте следует предположить, что у детей с ВПС при наличии жалоб на проблемы с координацией, головокружение, двигательную неловкость и/или кинетоз формирование функции равновесия в 14 лет еще не завершено.

Также необходимо учитывать выявленное нами наличие у большинства детей нарушений со стороны опорно-двигательного аппарата, что подтверждается международными данными, согласно которым более ранний возраст первой операции на открытом сердце и несколько кардиохирургических вмешательств были ассоциированы с послеоперационными деформациями грудной клетки [16] и с развитием сколиоза [17] у детей с ВПС, и частота таких особенностей развития в несколько раз превышала общепопуляционную. Следовательно, полученные нами данные стабилометрии во многом могли быть обусловлены сопутствующей патологией, которая, однако, напрямую связана с первичной патологией сердца.

Ограничения исследования

Исследуемая выборка была ограничена наличием определенных жалоб, возрастными рамками, отдаленными сроками после операции и небольшой длительностью курса реабилитации. Также на результатах исследования могло отразиться наличие сопутствующей патологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное нами исследование показало, что для детей-школьников с ВПС с субъективными признаками постуральных расстройств характерны особенности становления функции равновесия, проявляющиеся отклонениями z-оценки статического равновесия при депривации зрения, выраженной нелинейностью формирования опороспособности (по данным статических стабилометрических тестов) и отсутствием улучшений динамического компонента равновесия по мере взросления. Половые различия у пациентов с ВПС характеризуются преимуществом девочек в статических пробах, а мальчиков — в динамических. Дополнение курса кардиологической реабилитации тренировками на стабилоплатформе с БОС повышает опороспособность данной когорты детей. Комбинация аквагимнастики и балансотерапии характеризовалась улучшением z-оценки статического равновесия, а наиболее эффективным

оказалось сочетание ЛФК и занятий на стабилоплатформе, способствовавшее улучшению как статического, так и динамического компонентов равновесия в рамках двухнедельного курса реабилитации.

Планируется проведение дальнейших исследований, которые будут направлены на дополнение имеющихся данных результатами стабилометрических обследований подростков с ВПС 15–17 лет, а также пациентов без жалоб и детей в раннем послеоперационном периоде. Также научный интерес представляет сопоставление полученных нами данных с показателями типично развивающихся детей и взрослых людей с ВПС.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Савова Елена Михайловна, младший научный сотрудник, врач по лечебной физкультуре, врач-педиатр, Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России.
E-mail: emsavova@bakulev.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5181-4379

Ковалев Игорь Александрович, доктор медицинских наук, профессор, советник директора, Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8195-5682

Заварина Анна Юрьевна, главный врач, Реабилитационный центр для детей с пороками сердца, Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3091-9136

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: Савова Е.М. — научное обоснование, методология, анализ данных, проведение исследования, курация данных, написание черновика рукописи, визуализация; Ковалев И.А. — проверка и редактирование рукописи, курирование проекта; Заварина А.Ю. — научное обоснование, методология, проверка и редактирование рукописи, курирование проекта.

Источники финансирования. Данное исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России: научно-исследовательская работа «Разработка индивидуальных программ реабилитации у детей после коррекции врожденных пороков сердца на раннем и отдаленном этапах реабилитационного периода» — DVHB-2023-0018.

Конфликт интересов. Савова Е.М. и Заварина А.Ю. являются авторами патента «Способ реабилитации детей с врожденными пороками сердца и моторными расстройствами», RU 2846494 C1, 05.09.2025 (заявка № 2024139140 от 24.12.2024). Ковалев И.А. декларирует 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 (Протокол № 2 от 13.04.2023).

Информированное согласие. В исследовании не раскрывается сведений, позволяющих идентифицировать личность пациентов. От всех законных представителей/пациентов старше 14 лет 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

Elena M. Savova, Junior Researcher, Physiatrist, Pediatrician, A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery.
E-mail: emsavova@bakulev.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5181-4379

Igor A. Kovalev, D.Sc. (Med.), Professor, Adviser to the Director, A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8195-5682

Anna Yu. Zavarina, Chief Physician, Rehabilitation Center for Children with Heart Diseases, A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3091-9136

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: Savova E.M. — conceptualization, methodology, formal analysis, investigation, data curation, writing — original draft, visualization; Kovalev I.A. — writing — review & editing, supervision; Zavarina A.Yu. — conceptualization, methodology, writing — review & editing, supervision.

Funding. The study was conducted within the framework of the state task of the A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery: Research and development of individualized rehabilitation programs in children after congenital heart disease correction in early and late rehabilitation phases — DVHB-2023-0018.

Disclosure. Savova E.M. and Zavarina A.Yu. are the authors of a patent "Method of rehabilitation of children with congenital heart defects and motor impairments", RU 2846494 C1, 05.09.2025. Kovalev I.A. 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 A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery of the Russian Ministry of Health (Moscow, Russia), Protocol No. 2 dated April 13, 2023.

Informed Consent for Publication. The study does not disclose information to identify the patients. Written consent was obtained from all legal representatives/patients over 14 years old 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

1. Ярыгина Т.А., Гасанова Р.М., Сыпченко Е.В. и др. Комплексное ультразвуковое обследование плодов с врожденными пороками сердца. Руководство для врачей. Москва: ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» МЗ РФ. 2024; 100 с. [Yarygina T.A., Gasanova R.M., Sypchenko E.V., et al. Comprehensive Ultrasound Examination of Fetuses with Congenital Heart Defects. A Guide for Physicians. Moscow: Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery. 2024. 100 p. (In Russ.).]
2. Соловьев Н.А., Рыбка М.М., Хинчагов Д.Я. и др. Применение ультразвукового мониторинга сердечного выброса во время операции на открытом сердце у детей. Общая реаниматология. 2024; 20(5): 37–43. https://doi.org/10.15360/1813-9779-2024-5-37-43 [Soloviev N.A., Rybka M.M., Khinchagov J.Ya., et al. Ultrasound-Based Cardiac Output Monitoring During Pediatric Open-Heart Surgery in Children. General Reanimatology. 2024; 20(5): 37–43. https://doi.org/10.15360/1813-9779-2024-5-37-43 (In Russ.).]
3. Кожушная К.А., Рогова Т.В., Заварина А.Ю. и др. Диагностические возможности в оценке отдаленных результатов хирургического лечения аномального отхождения левой коронарной артерии от легочной артерии. Педиатрия им. Г.Н. Сперанского. 2023; 102(1): 105–113. https://doi.org/10.24110/0031-403X-2023-102-1-105-113 [Kozhushnaya K.A., Rogova T.V., Zavarina A.Yu., et al. Diagnostic features in evaluating long-term results of surgical treatment of anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery syndrome. Pediatria named after G.N. Speransky. 2023; 102(1): 105–113. https://doi.org/10.24110/0031-403X-2023-102-1-105-113 (In Russ.).]
4. Джитава Т.Г., Шамсиев Г.А., Абдуллоев О.К. и др. Определяющие факторы раннего восстановления пациентов, перенесших открытые операции на сердце. Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. 2024; 66(1): 99–112. https://doi.org/10.24022/0236-2791-2024-66-1-99-112 [Dzhitava T.G., Shamsiev G.A., Abdulloev O.K., et al. Determining factors of early rehabilitation of patients after open heart surgery. Russian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. 2024; 66(1): 99–112. https://doi.org/10.24022/0236-2791-2024-66-1-99-112 (In Russ.).]
5. Orendorz-Frączkowska K., Kubacka M. The development of postural control in 6–17 old years healthy children. Part I Postural control evaluation in modified Clinical Test for The Sensory Interaction on Balance in 6–17 old year children (mctsib). Otolaryngol Pol. 2019; 74(1): 1–7. https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.2965
6. Bolduc M.E., Dionne E., Gagnon I., et al. Motor Impairment in Children With Congenital Heart Defects: A Systematic Review. Pediatrics. 2020; 146(6): 1–16. https://doi.org/10.1542/peds.2020-0083
7. Naef N., Liamlahi R., Beck I., et al. Neurodevelopmental Profiles of Children with Congenital Heart Disease at School Age. J Pediatr. 2017; 188: 75–81. https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.05.073
8. Ricci M.F., Fung A., Moddemann D., et al. Comparison of motor outcomes between preschool children with univentricular and biventricular critical heart disease not diagnosed with cerebral palsy or acquired brain injury. Cardiol Young. 2021; 31: 1788–1795. https://doi.org/10.1017/S1047951121000895
9. Holm I., Fredriksen P.M., Fosdahl M.A., et al. Impaired Motor Competence in School-aged Children With Complex Congenital Heart Disease. Arch Pediatr Adolesc Med. 2007; 161(10): 945–950. https://doi.org/10.1001/archpedi.161.10.945
10. Von Rhein M., Dimitropoulos A., Valsangiacomo Buechel E.R., et al. Risk factors for neurodevelopmental impairments in school-age children after cardiac surgery with full-flow cardiopulmonary bypass. J Thorac Cardiovasc Surg. 2012; 144(3): 577–583. https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.02.005
11. Schedler S., Kiss R., Muehlbauer T. Age and sex differences in human balance performance from 6-18 years of age: A systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2019; 14(4): 1–28. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214434
12. Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилометрия. М.: Науч.-мед. фирма «МБН». 2007; 640 с. [Skvortsov D.V. Diagnostics of motor pathology by instrumental methods: gait analysis, stabilometry. Moscow: Research and Medical Firm "MBN". 2007; 640 p. (In Russ.).]
13. Orendorz-Frączkowska K., Kubacka M. The development of postural control in 6–17 old years healthy children. Part II Postural control evaluation — Limits of Stability Test (LOS) in 6–17 old year children. Otolaryngol Pol. 2020; 74(1): 29–35. https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.8594
14. Barozzi S., Socci M., Soi D., et al. Reliability of postural control measures in children and young adolescents. Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology. 2014; 271(7): 2069–2077. https://doi.org/10.1007/s00405-014-2930-9
15. Hsu Y.S., Kuan C.C., Young Y.H. Assessing the development of balance function in children using stabilometry. Int J Pediatr Otorhinolaryngol. 2009; 73(5): 737–740. https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2009.01.016
16. Liu J-F., Lin W-H., Chen Y-K., et al. Analysis of Factors Influencing Thoracic Deformities after Median Sternotomy in Infants Who Underwent Congenital Cardiac Surgery. Journal of Cardiac Surgery. 2023; 8450105. https://doi.org/10.1155/2023/8450105
17. Kawamura I., Yamaguchi T., Yanagida H., et al. Factors contributing to severe scoliosis after open chest surgery for congenital heart disease: a case-control analysis. Spine Deform. 2025; 13(2): 441–448. https://doi.org/10.1007/s43390-024-01009-4

Original article / Оригинальная статья
DOI: https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-39-46

Modified Constraint-Induced Movement Therapy for Motor Ability in Individual with Hemiparesis: A Randomized Controlled Trial

Hanan Hosny M. Battesha[1,*], Samah Hosney Nagib[1,2], Ali Daifallah Alqaisi[1]

[1] *Physical Therapy Department, Faculty of Applied Medical Sciences, Al-Zaytoonah University of Jordan, Amman, Jordan*
[2] *Faculty of Physical Therapy, Cairo University, Giza, Egypt*

ABSTRACT

INTRODUCTION. Hemiparesis, the most prevalent deficit post-stroke, impacts over 80 % of individuals acutely and over 40 % chronically. A cerebral vascular accident (CVA), also known as a stroke, has several motor dysfunctions. For individuals with strokes, the recovery process can be up to two years. More success has been achieved in restoring function to the lower limbs than to the upper limbs through rehabilitation techniques.

AIM. This study was designed to explore the effect of Modified Constraint-induced movement therapy (mCIMT) as a treatment for neurological conditions after stroke.

MATERIALS AND METHODS. Thirty patients with left stroke from both genders, ages from 45–65 years, were experiencing low-level trunk control were included in the study. They were divided randomly into two groups: the experimental group (A) will receive mCIMT, whereas the control group (B) received conventional program of stroke. Every evaluation was done both before and after the end of treatment.

RESULTS. Significance improvement of limit of stability (p = 0.001), trunk control function (p = 0.0001), upper limb motor function (p = 0.0001) and lower limb motor function (p = 0.0001) after one month of treatment in both groups with better improvement in group A.

DISCUSSION. mCIMT is more helpful for management of individual with hemiparesis to improve motor functions.

CONCLUSION. mCIMT improves trunk control, postural stability, and upper- and lower-limb motor function, supporting its use as a targeted neurofunctional rehabilitation approach.

REGISTRATION: Clinicaltrials.gov identifier: NCT06996769, registered May 30, 2025.

KEYWORDS: cerebral vascular accident, modified constraint-induced movement therapy/mCIMT, motricity index, biodex balance system, trunk control test

For citation: Hanan Hosny M. Battesha, Samah Hosney Nagib, Ali Daifallah Alqaisi. Modified Constraint-Induced Movement Therapy for Motor Ability in Individual with Hemiparesis: A Randomized Controlled Trial. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):39–46. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-39-46

* **For correspondence:** Hanan Hosny Mohamed Battesha, E-mail: hananbatteshapt1987@gmail.com, h.hosny@zuj.edu.jo

Received: 14.09.2025
Accepted: 31.08.2026
Published: 23.10.2026

© 2026, Hanan Hosny M. Battesha, Samah Hosney Nagib, Ali Daifallah Alqaisi
This is an open article under the CC BY-NC-SA 4.0 license. Published by the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

Модифицированная двигательная терапия, индуцированная ограничением, для улучшения двигательных функций у пациентов с гемипарезом: рандомизированное контролируемое исследование

Баттеша Х.Х.М.[1,*], **Нагиб С.Х.**[1,2], **Алькаиси А.Д.**[1]

[1] *Кафедра физической терапии, Факультет прикладных медицинских наук, Университет Аль-Зайтуна, Амман, Иордания*
[2] *Факультет физической терапии, Каирский университет, Гиза, Египет*

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Гемипарез — наиболее распространенное нарушение после инсульта, затрагивает более 80 % пациентов в остром периоде и более 40 % пациентов в хроническом. Острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК), также известное как инсульт, сопровождается различными двигательными дисфункциями. У лиц, перенесших инсульт, процесс восстановления может длиться до двух лет. С помощью реабилитационных методик большего успеха удается достичь в восстановлении функций нижних конечностей по сравнению с верхними.

ЦЕЛЬ. Данное исследование было разработано для изучения эффекта модифицированной двигательной терапии, индуцированной ограничением (mCIMT), в качестве метода лечения неврологических нарушений после инсульта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В исследование было включено 30 пациентов обоего пола в возрасте от 45 до 65 лет, перенесших левосторонний инсульт и имевших низкий уровень контроля туловища. Они были случайным образом разделены на две группы: экспериментальная группа (А) получала терапию mCIMT, тогда как контрольная группа (В) получала стандартную программу реабилитации после инсульта. Все оценки показателей проводились как до, так и после окончания курса лечения.

РЕЗУЛЬТАТЫ. После одного месяца лечения в обеих группах наблюдалось статистически значимое улучшение предела устойчивости (p = 0,001), функции контроля туловища (p = 0,0001), моторной функции верхних конечностей (p = 0,0001) и моторной функции нижних конечностей (p = 0,0001). При этом в группе А улучшение было более выраженным.

ОБСУЖДЕНИЕ. Терапия mCIMT является более эффективным методом ведения пациентов с гемипарезом для улучшения двигательных функций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Терапия mCIMT улучшает контроль туловища, постуральную устойчивость и моторную функцию верхних и нижних конечностей, что подтверждает целесообразность ее применения в качестве целенаправленного метода нейрофункциональной реабилитации.

РЕГИСТРАЦИЯ: Идентификатор ClinicalTrials.gov: NCT06996769, зарегистрирован 30 мая 2025 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нарушение мозгового кровообращения, модифицированная терапия движений с ограничением/mCIMT, индекс моторики, баланс-система Biodex, тест контроля туловища

Для цитирования / For citation: Hanan Hosny M. Battesha, Samah Hosney Nagib, Ali Daifallah Alqaisi. Modified Constraint-Induced Movement Therapy for Motor Ability in Individual with Hemiparesis: A Randomized Controlled Trial. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):39–46. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-39-46

* **Для корреспонденции:** Hanan Hosny Mohamed Battesha, E-mail: hananbatteshapt1987@gmail.com, h.hosny@zuj.edu.jo

Статья получена: 14.09.2025
Статья принята к печати: 31.08.2026
Статья опубликована: 23.10.2026

INTRODUCTION

One of the leading causes of disability in the world is stroke; the annual incidence rate for all strokes varied from 22.7 to 250 per 100,000 people. Between 508 to 777 strokes per 100,000 people were the most common. A significant male-to-female ratio among stroke patients was documented in 75 % of studies that examined gender disparities. The average age at which stroke occurred fell between the sixth and seventh decades. The most common type of stroke was an ischemic stroke, which was followed by subarachnoid and intracerebral hemorrhages. The most often reported risk factor was hypertension, which was followed by diabetes. Within a month, the total case-fatality rate ranged from 12 % to 32 % [1]. Many people have unilateral upper and lower extremity motor dysfunction with impairment of trunk control that cause posture instability and abnormal gait. While the stroke death rate has declined, the incidence of stroke has risen, leading to greater disability and generally poorer voluntary movement control. The contralateral side of the brain injury has phases of recovery during which the motor and sensory functions are frequently restored in an aberrant manner [2]. The formation of an uncontrolled flexion synergy is a common course of recovery in the upper extremities following a period of flaccidity. The hemiparetic limb exhibits this pathological synergy when attempting to use the arm for functional functions. It is quite difficult for people with this uncontrollable flexion synergy to separate joint movements from one another. Controlling the extensors of the wrist and fingers is, in fact, a difficult part of upper-extremity rehabilitation [3]. Caring of stroke patients can be a distressing and exhaustive life experience. Management for stroke patients in the home depends on healthy, well prepared and trained caregivers [4]. Treatment approaches

like Virtual Reality, Electrophysiological Feedback, Robot-Assisted Therapy, Range of Motion Exercises (ROM), Electrical Stimulation (ES), Modified Constraint-Induced Therapy (mCIMT, CIMT), Motor Imagery (MI), Assistive Devices and Flexibility Training are being used more frequently in the rehabilitation of hemiplegic patients as a result of advancements in contemporary rehabilitation medicine [5]. The main goal of CIMT is to improve the quality of movement of the affected limb in everyday situations, prevent or correct learned non-use of the affected limb, encourage the recovery of motor function in the affected limb, and increase the frequency of use of the affected limb in hemiparetic individuals. This is achieved through the application of movement techniques, behavioral techniques, and restriction methods [6]. CIMT integrates behavioral and neurobiological mechanisms to improve neuroplasticity and cortical reconfiguration. In order to overcome acquired nonuse, the paralyzed extremity is repeatedly exercised while the non-paretic side is restrained. While the original CIMT was created for upper extremity (UE) training, modified CIMT (mCIMT) is used to improve the use and rehabilitation of paralyzed lower extremities (LE) and goes beyond the UE. mCIMT enables a greater variety of shaping exercise options, customisation of transfer packages, and the removal of constraint devices. mCIMT has been shown in preclinical research to enhance dendritic spine density and encourage cortical remodeling. Additionally, it can control neurotransmitter levels and encourage the growth of new blood vessels and neurons [7, 8]. A greater variety of shaping exercise options, transfer package customisation, and the removal of constraint devices are all made possible by the more adaptable protocol provided by mCIMT. In addition to increasing dendritic spine density and cortical reshaping, mCIMT can also control neurotransmitter levels and stimulate neuronal and vascular growth [9]. Postural steadiness is the ability of the postural control system to maintain balance when standing still. It is evaluated by measuring the movement of the center of pressure [10]. Patients who have had strokes may benefit from CIMT procedures as a treatment to help them balance better through force the affected leg to work harder by constraining the unaffected leg with a device like a knee brace, followed by intensive, repetitive, and task-specific training with the paretic leg [11]. There is a lack of the combined improvement for UE and LE motor function with trunk control and postural stability, despite recent evaluations highlighting the potential advantages of mCIMT, therefore, we hypothesized that mCIMT produce changes in affected extremities, trunk function and posture stability in individuals with hemiparesis.

AIM

To investigate the effect of mCIMT motor function and posture stability in individuals with hemiparesis.

MATERIALS AND METHODS

This research was approved by the research Ethics Committee of Faculty of Applied Medical Science, Al Zaytoonah University, Jordan (IRB#20/5/2024-2025) and also submitted at clinical trial (NCT06996769). It was conducted in the Faculty of Applied Medical Sciences, physical therapy department, from April 2025 to July 2025.

Participants

A neurologist referred 30 hemiparetic individuals from both genders, between the ages of 45 and 65, who had left stroke according to the brain magnetic resonance image.

The following **inclusion criteria:** Post-stroke when positive Babinski sign appear from 6 to 8 weeks, unilateral right hemiparesis and grade 1 + spasticity according to modified Ashworth scale.

Exclusion criteria were: Receptive aphasia, chronic stroke, severe spasticity or contractures, cognitive impairment that would hinder participation, and certain medical conditions like uncontrolled hypertension or significant cardiac issues. Additionally, patients with major psychiatric disorders or those who are unwilling or unable to comply with the intensive therapy protocol may also be excluded.

Randomization

All participants read and signed with electronic signature a consent form before to the study's commencement, confidentiality and anonymity were guaranteed, and all procedures complied with relevant legal requirements as well as institutional standards. Patients who met the eligibility requirements and agreed to participate were asked to select one envelope to be assigned to one of the two groups. All participants were assigned at random using closed envelopes labeled with papers that were folded so that the labeling was hidden and placed in a container. Experimental Group A (n = 15) received mCIMT while Control Group B (n = 15) received a conventional physical therapy program for stroke. Patients were unaware of their assignment group, and the allocation was carried out by a researcher who was blind to both participant recruiting and treatment (Fig. 1).

Sample size was calculated using G*POWER statistical software (version 3.1.9.2; Franz Faul, Universitat Kiel, Germany) in order to prevent type II error [12], and determined that 14 participants per group was the ideal sample size for this investigation. The allocation ratio N2/N1 = 1, $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.2$. The effect size was initially estimated for all measured variable in pilot research including four subjects, the effect size for variables were are the following: UE motor function (0.33), LE motor function (0.38), trunk control (0.43) and posture stability (0.42).

Outcome measures

Every evaluation was done both before and after the four-week treatment session:

- **Primary outcome: motricity index for function of upper and lower extremities:** MI is a clinical assessment tool used to measure limb strength in individuals with hemiparesis, typically after a stroke. It focuses on assessing specific movements in both the upper and lower extremities, assigning scores based on the observed strength and ROM. The MI is known for its ease of administration and good reliability and construct validity, meaning it consistently measures what it intends to measure and is a valid indicator of motor function [13]. The MI evaluates a set of movements for both upper and lower limbs. It assesses shoulder abduction, elbow flexion, and pinch grip. Also it assesses hip flexion, knee extension, and ankle dorsiflexion.

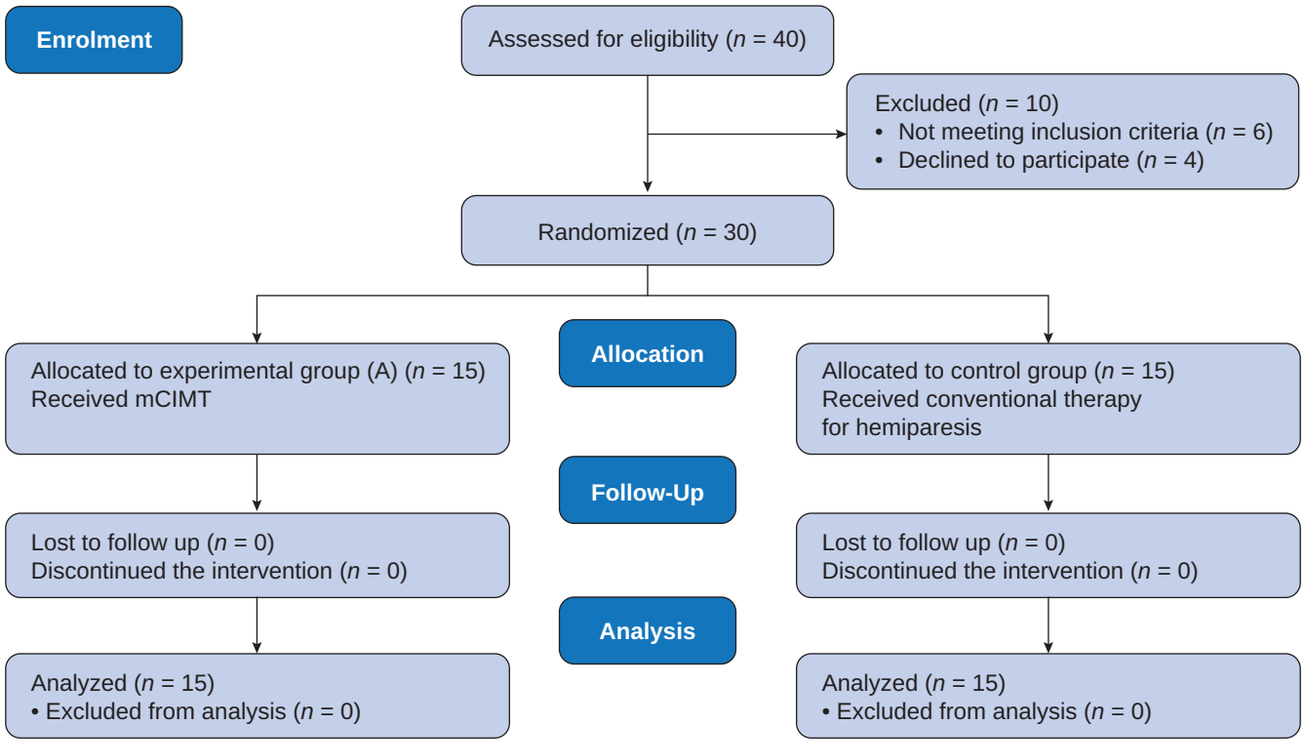


Fig. 1. Flow chart diagram

- **Secondary outcome: posture stability and trunk control:**

1. ***Biodex Balance System.*** BBS is an assessment for posture stability, it has proven to be a valid method for evaluating postural stability. After choosing level eight, which is the most stable level, the dynamic limit of stability testing mode was chosen, and each patient's data was entered into the device. Once the platform was programmed to move, the patient was told to move their feet in an attempt to center themselves on it. The cursor moved in response to the feedback from the patient's feet. The platform was maintained level beneath the patient's feet after the cursor was centered, and the patient stood comfortably erect, number of trials for each patient is three times and take the means of them [14]. Postural stability affection, increased fall risk, and abnormal limits of stability were observed in stroke patients evaluated by BBS. Additionally, a balance training program using BBS reduces postural instability and fall risk, improves stability parameter limits, and enhances quality of life [15].

2. ***Trunk control Test.*** TCT is a clinical assessment used to evaluate a patient's ability to control their trunk, particularly after a stroke. It assesses four key movements: rolling to the weak side, rolling to the strong side, sitting up from a lying position, and sitting balance. TCT equal sum of four tasks, scoring for each task is 0, 12 or 25, and the minimum score is zero while maximum score is 100. TCT is an easy, reliable and valid instrument for the measurement of trunk performance [16].

Interventions

mCIMT. Up to three hours a day, four times a week, for four weeks, of intense graded practice of the paretic upper limb, lower limb, posture stability, trunk control and gait training is intended to improve task-specific use of the affected limb. Employing behavioral techniques intended to restore lost function in patients with hemiparesis and using brace to limit the non-paretic limb to encourage the use of the more impaired limbs during treatment. These changes are usually typified by distributed training procedures that involve more training days but less time spent in training and less time spent with the non-paretic limbs constrained.

mCIMT for LE. The brace restraint of the non-paretic lower limb. The following exercises can help: ROM exercises, balance training, and weight bearing while standing with weight transfer, cycling with the injured leg, functional training on various surfaces and starting positions, walking in various directions, treadmill training, stair climbing and stair descending, ball kicking, leg press strength training, passive muscle stretching, sit-to stand transfer and stepping in all directions.

2-mCIMT for UE. The non-paretic UE limitation with brace, the following exercises can help: the paretic UE shaping training, passive muscle stretching, ROM exercises, catch ball and task-oriented practice using bimanual activities in specific tasks with paretic UE as the primary conductor.

Conventional physical therapy program. Activities included prolonged stretching and strengthening exercises, balance exercises, proprioceptive neuromuscular facilitation training, trunk control exercises and gait training for 3 hours a day four times per week for 4 weeks.

Statistical analysis

Test for normality (Shapiro — Wilk Test) were most *p*-values for the Shapiro — Wilk Test exceed 0.05, suggesting that the data follows a normal distribution. Descriptive statistics were used to summarize participant demographics and clinical characteristics. Independent *t*-tests were conducted to compare mean values of age, weight, height, body mass index (BMI), and stroke duration between the

two groups. The Chi-square test was used to compare categorical variables, including sex, hand dominance, and side of hemiparesis. For ordinal outcome variables such as spasticity grade and Medical Research Council scores, within-group comparisons were analyzed using the Wilcoxon signed-rank test, and between-group comparisons using the Mann — Whitney *U*-test. Paired *t*-tests were used to assess pre- and post-treatment changes in arm control, leg control, trunk control, and posture stability within each group. A $p < 0.05$ was considered statistically significant for all tests.

RESULTS

Descriptive Results

The demographic and clinical characteristics of participants in both experimental and control groups are presented in Table 1. Show non-significant differences were observed between the groups at baseline in terms of age, sex, BMI, stroke duration, or other clinical variables.

Comparative Results

Arm control

Both groups demonstrated a significant improvement in arm movements control following the intervention. However, the percentage of improvement was significantly greater in the experimental group compared to the control group ($p = 0.0001$). Post-treatment comparison between groups also revealed a statistically significant difference in favor of the experimental group ($p = 0.03$) (Table 2).

Leg control

Significant increases were observed in leg movements control in both groups post-intervention. The magnitude of improvement was significantly greater in the experimental group than in the control group ($p = 0.0001$). Additionally, post-treatment comparisons between groups showed statistically significant differences favoring the experimental group ($p = 0.04$) (Table 3).

Table 1. Demographic and clinical characteristics of the study and control groups

Sample characteristic		Group A (Experimental)	Group B (Control)	MD (95% CI)	*p*
		Mean ± SD	Mean ± SD		
Age, years		54.86 ± 6.11	55.06 ± 6.3	–0.2	0.93
BMI, kg/m²		27.34 ± 1.82	28.2 ± 3.06	–0.86	0.35
Duration of disease, weeks		6.6 ± 1.33	6.86 ± 1.1	–0.26	0.55
Gender, *n* (%)	**Male**	9 (60 %)	11 (73 %)	—	0.43
	Female	6 (40 %)	4 (27 %)		

Note: *BMI — body mass index, CI — confidence interval, MD — mean difference, n — number, p — level of significance, SD — standard deviation.*

Table 2. Comparison of mean values of arm control score within and between both groups

Mean values of arm motor function	Group A (Experimental)	Group B (Control)	*p*
Pre-treatment	13.11 ± 3.2	13 ± 2.8	0.78
Post-treatment	77.57 ± 3.7	40.02 ± 3.1	0.03*
MD (95% CI)	–64.46 ± 0.5	–27.02 ± 0.3	—
Percentage of improvement, %	90.85	35.4	—
p	0.0001*	0.0001*	—

Note: ** — statistically significant, CI — confidence interval, MD — mean difference, p — level of significance, SD — standard deviation.*

Table 3. Comparison of mean values of leg control score within and between both groups

Mean values of leg motor function	Group A (Experimental)	Group B (Control)	*p*
Pre-treatment	12.11 ± 2.4	12.4 ± 1.4	0.78
Post-treatment	72.57 ± 2.9	41.02 ± 1.9	0.04*
MD (95% CI)	–60.46 ± 0.5	–28.62 ± 0.5	—
Percentage of improvement, %	87.33	31.81	—
p	0.0001*	0.0001*	—

Note: ** — statistically significant, CI — confidence interval, MD — mean difference, p — level of significance, SD — standard deviation.*

Posture stability

A significant increase in posture stability was observed post-treatment in both groups. The experimental group demonstrated a significantly greater percentage of improvement than the control group (p = 0.0001). Post-treatment comparison between groups confirmed a statistically significant difference in favor of the experimental group (p = 0.01) (Table 4).

Trunk control

Movements of trunk control are significantly improved after treatment in both groups compared to baseline. The experimental group showed a significantly greater percentage of improvement than the control group (p = 0.0001). Furthermore, between-group comparisons at post-treatment revealed significantly higher gains in trunk control (p = 0.02) (Table 5).

DISCUSSION

According to the results of our study and the current literature suggest that mCIMT make more improvement in motor function of upper and lower limbs in addition to improve trunk control and posture stability. The explanation for large improvement is due to the use of different types of exercises for upper and lower limb applied with mCIMT approach.

More success has been achieved in restoring function to the lower limbs than to the upper limbs through rehabilitation techniques. Regrettably, the function of the upper limb is more crucial for self-esteem and independent living [17]. Claflin E.S. et al. [18] have presented a challenge to the widely held belief that little can be done to restore function in the paretic limb after the acute phase or during chronic conditions.

Advocates of CIMT for addressing upper limb hemiparesis post-stroke. Numerous studies conducted over the last 20 years have shown that CIMT is effective for individuals with an upper motor neuron lesion [19–24].

The results of the current study, which demonstrated a significant improvement in overall stability, trunk control, and upper and lower limb function under mCIMT, these results were consistent with previous study that indicated four weeks of mCIMT is effective in improving the motor function in stroke patients with paretic upper limbs [25].

Additionally, lower extremity movement impairments in stroke patients can be safely and effectively addressed with mCIMT, which has been shown to improve motor function, functional mobility, balance, LE strength, weight-bearing capacity, and walking ability [8]. Improvements in lower limb extremity motor recovery, postural balance, and gait speed were observed in earlier research that looked at mCIMT for the lower extremities [26].

Moreover, in terms of improving quality of life, the mCIMT protocol shown advantages in restoring the paretic upper limb's functional range and lowering muscular tone [27]. Also, mCIMT results in improved motor behavior patterns and increased functional scale scores [28].

The effectiveness and superior quality of mCIMT are confirmed by the findings of a prior investigation about the affected arm and hand's functionality. Another encouraging factor is the strong patient compliance with the usage of the contemporary restriction cuff, which encourages the reuse of the injured upper limb even more due to the total limitation of the unaffected arm. Given the advancements made, the effective implementation, and the encouraging comments from every patient treated thus far, this modified version of mCIMT can be suggested as a crucial part of contemporary neuro-rehabilitation for ischemic stroke patients [29].

Table 4. Comparison of mean values of posture stability within and between both groups

Limits of Stability	Group A (Experimental)	Group B (Control)	*p*
Pre treatment	29.84 ± 4.05	29.05 ± 2.59	0.48
Post treatment	49.16 ± 5.67	43.32 ± 3.42	0.01*
MD (95% CI)	–19.32 ± 1.62	–14.27 ± 0.83	—
Percentage of improvement, %	64.75	49.12	—
p	0.001*	0.001*	—

Note:* *— statistically significant, SD — standard deviation, p — level of significance, MD — mean difference, CI — confidence interval.*

Table 5. Comparison of mean values of trunk control within and between both groups

Mean values of trunk control	Group A (Experimental)	Group B (Control)	*p*
Pre-treatment	4.11 ± 2.77	4.4 ± 3.03	0.78
Post-treatment	69.57 ± 4.7	39.02 ± 3.8	0.02*
MD (95% CI)	–65.64 ± 1.93	–34.52 ± 0.72	—
Percentage of improvement, %	56.75	25.44	—
p	0.0001*	0.0001*	—

Note:* *— statistically significant, CI — confidence interval, MD — mean difference, p — level of significance, SD — standard deviation.*

Conclusions and recommendations

There are certain restrictions on the current investigation. First, it's important to take into account the small sample size we used, which could have an impact on the research findings' representativeness and repeatability. Second, we are unsure of the intervention's long-term impact because we only followed up for four weeks. Third, since patients were aware of their therapies, it is impossible to rule out the subjective influence of the patients.

Future studies could involve a larger sample and individual-based restraint time for follow-up assessments to determine the long-term effects of CIMT on extended activities of daily living, work and community reintegration, and stroke-related quality of life.

CONCLUSION

For the first time, we have demonstrated in this study that mCIMT results in improvements in trunk control and posture stability, which are linked to better upper and lower limb motor function in the shortest amount of time. This finding supports the necessity of a particular neuro-functional physical therapy approach.

ADDITIONAL INFORMATION

Hanan Hosny Mohamed Battesha, Associate Professor of Physical Therapy for Neuromuscular Disorders and its Surgery, Physical Therapy Department, Faculty of Applied Medical Sciences, Al-Zaytoonah University of Jordan, Amman, Jordan. E-mail: hananbatteshapt1987@gmail.com, h.hosny@zuj.edu.jo ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3242-4978

Samah Hosney Nagib, Professor of Physical Therapy, Physical Therapy Department, Faculty of Applied Medical Sciences, Al-Zaytoonah University of Jordan, Amman, Jordan; Professor of Physical Therapy, Physical Therapy for Surgery Department, Faculty of Physical Therapy, Cairo University. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7761-230X

Ali Daifallah Alqaisi, Physiotherapy Laboratory Instructor, Physical Therapy Department, Faculty of Applied Medical Sciences, Al-Zaytoonah University of Jordan, Amman, Jordan. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7167-3330

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: Hanan Hosny M. Battesha was responsible for research concept and design; Samah Hosney Nagib approved data analysis, interpretation, discussion and revision; Ali Daifallah Alqaisi collected and assembled data.

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 Ethics Committee of Faculty of Applied Medical Science, Al Zaytoonah University, Jordan (Protocol No. IRB#20/5/2024-2025, dated May 20, 2025).

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 reasonable request from the corresponding author.

References

1. El-Hajj M., Salameh P., Rachidi S., Hosseini H. The epidemiology of stroke in the Middle East. Eur Stroke J. 2016; 1(3): 180–198. https://doi.org/10.1177/2396987316654338
2. Kim Y.W. Update on Stroke Rehabilitation in Motor Impairment. Brain Neurorehabil. 2022; 15(2): e12. https://doi.org/10.12786/bn.2022.15.e12
3. Lee Yo., Cha Yu., Kim Yo., et al. Effect of repetitive wrist extension with electromyography-triggered stimulation after stroke: a preliminary randomized controlled study. Physical Therapy Rehabilitation Science. 2017; 6: 127–133. https://doi.org/10.14474/ptrs.2017.6.3.127
4. Kamel A.A., Bond E., Froelicher E.S. Stroke Patients' Caregivers: Their Experiences and Needs: A Qualitative Literature Review. J Med J. 2009; 4(43): 341–349.
5. Xiong J., Wang J.T., Lin S., Xie B.Y. Advances in hemiplegia rehabilitation: modern therapeutic interventions to enhance activities of daily living. Front Neurol. 2025; 16: 1555990. https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1555990
6. Wang D., Xiang J., He Y., et al. The Mechanism and Clinical Application of Constraint-Induced Movement Therapy in Stroke Rehabilitation. Front Behav Neurosci. 2022; 16: 828599. https://doi.org/10.3389/fnbeh.2022.828599
7. Sun C.C., Zhang Y.W., Xing X.X., et al. Modified constraint-induced movement therapy enhances cortical plasticity in a rat model of traumatic brain injury: a resting-state functional MRI study. Neural Regen Res. 2023; 18(2): 410–415. https://doi.org/10.4103/1673-5374.344832
8. Zhou L., Chu H., Cao M., Abdul Rahim N.A., et al. Modified constraint-induced movement therapy for lower extremity intervention on patients with stroke: A Scoping Review. Sports Med Health Sci. 2025; 8(3): 291–301. https://doi.org/10.1016/j.smhs.2025.06.001
9. Zhou M., Tu Y., Cui J., et al. Effect of constraint-induced movement therapy on lower extremity motor dysfunction in post-stroke patients: A systematic review and meta-analysis. Frontiers in Neurology. 2022; 13; 1028206. https://doi.org/10.3389/fneur.2022.1028206
10. Elfeky H.M., Elfahl A.M., Mohamed H.S. Whole-Body Vibration Without Visual Feedback on Postural Steadiness in Unilateral Trans-Femoral Traumatic Amputees: A Randomized Controlled Trial. Physiother Res Int. 2025; 30(2): e70031. https://doi.org/10.1002/pri.70031
11. Kim N.H., Cha Y.J. Effect of gait training with constrained-induced movement therapy (CIMT) on the balance of stroke patients. J Phys Ther Sci. 2015; 27(3): 611–613. https://doi.org/10.1589/jpts.27.611
12. Kang H. Sample size determination and power analysis using the G*Power software. J Educ Eval Health Prof. 2021; 18: 17. https://doi.org/10.3352/jeehp.2021.18.17
13. Fayazi M., Dehkordi S.N., Dadgoo M., Salehi M. Test-retest reliability of Motricity Index strength assessments for lower extremity in post stroke hemiparesis. Med J Islam Repub Iran. 2012; 26(1): 27–30.

14. Dawson N., Dzurino D., Karleskint M., Tucker J. Examining the reliability, correlation, and validity of commonly used assessment tools to measure balance. Health Sci Rep. 2018; 1(12): e98.
15. Ebeid S.A.M.H., Al Sergany M.A.E.S., El Sadany H.M., El Khouly R.M. Evaluation of the effect of balance training in hemiplegic patients. Egypt J Hosp Med. 2018; 73(10): 7821–7826.
16. Parlak Demir Y., Yıldırım S.A. Reliability and validity of Trunk Control Test in patients with neuromuscular diseases. Physiother Theory Pract. 2015; 31(1): 39–44. https://doi.org/10.3109/09593985.2014.945673
17. Abdul-Rahman R.S., El-Saeed T.M. Functional outcomes of modified constraint-induced movement therapy versus Kinesio taping in children with Erb's palsy. Physiother Quart. 2022; 30(3): 51–56. https://doi.org/10.5114/pq.2021.103555
18. Claflin E.S., Krishnan C., Khot S.P. Emerging treatments for motor rehabilitation after stroke. Neurohospitalist. 2015; 5(2): 77–88. https://doi.org/10.1177/1941874414561023
19. Kwakkel G., Veerbeek J.M., van Wegen E.E., Wolf S.L. Constraint-induced movement therapy after stroke. Lancet Neurol. 2015; 14(2): 224–234. https://doi.org/10.1016/s1474-4422(14)70160-7
20. Mark V., Taub E., Uswatte G., et al. Constraint-Induced Movement Therapy for the Lower Extremities in Multiple Sclerosis: Case Series With 4-Year Follow-Up. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 2013; 94(4): 753–760.
21. Malcolm M.P., Triggs W.J., Light K.E., et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation as an adjunct to constraint-induced therapy: an exploratory randomized controlled trial. Am J Phys Med Rehabil. 2007; 86(9): 707–715. https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31813e0de0
22. Prager E.M., Birkenmeier R.L., Lang C.E. Exploring expectations for upper-extremity motor treatment in people after stroke: a secondary analysis. Am J Occup Ther. 2011; 65(4): 437–444. https://doi.org/10.5014/ajot.2010.000430
23. Michelle L. Starkey and Martin E. Schwab. How Plastic Is the Brain after a Stroke? The Neuroscientist. 2014; 20(4): 359–371. https://doi.org/10.1177/1073858413514636
24. Xu J., Chen M., Wang X., et al. Global research hotspots and trends in constraint-induced movement therapy in rehabilitation over the past 30 years: a bibliometric and visualization study. Front. Neurol. 2024; 15: 1375855. https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1375855
25. Yadav R.K., Sharma R., Borah D., Kothari S.Y. Efficacy of Modified Constraint Induced Movement Therapy in the Treatment of Hemiparetic Upper Limb in Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. J Clin Diagn Res. 2016; 10(11): YC01–YC05. https://doi.org/10.7860/jcdr/2016/23468.8899
26. Aloraini S.M. Effects of constraint-induced movement therapy for the lower extremity among individuals post-stroke: A randomized controlled clinical trial. NeuroRehabilitation. 2022; 51(3): 421–431. https://doi.org/10.3233/nre-220139
27. Rocha L.S.O., Gama G.C.B., Rocha R.S.B., et al. Constraint Induced Movement Therapy Increases Functionality and Quality of Life after Stroke. J Stroke Cerebrovasc Dis. 2021; 30(6): 105774. https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.105774
28. Fuzaro A.C., Guerreiro C.T., Galetti F.C., et al. Modified constraint-induced movement therapy and modified forced-use therapy for stroke patients are both effective to promote balance and gait improvements. Rev Bras Fisioter. 2012; 16(2): 157–165.
29. Hartwig M., Seyfarth U., Krug N., et al. Modified Constraint-Induced Movement Therapy (mCIMT) employing a modern restriction cuff. Neuro Rehabil. 2010; 16(4): 201–203.

Оригинальная статья / Original article
DOI: https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-47-53

Профилактическое действие питьевых сульфатной и йодсодержащей минеральных вод на ультраструктуру гипоталамуса и эпифиза в условиях радиации: сравнительный анализ

Королев Ю.Н.*, Никулина Л.А., Михайлик Л.В.

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

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Для профилактики пострадиационных нарушений перспективно использовать питьевые сульфатные и йодсодержащие минеральные воды (МВ), которые обладают антиоксидантным и регенераторным действием. Эти типы МВ способны повысить резистентность клеточных структур, в том числе в органах нейроэндокринной регуляции — гипоталамусе и эпифизе — в условиях радиации.

ЦЕЛЬ. Выявить ультраструктурные изменения в нейронах паравентрикулярного ядра гипоталамуса и пинеалоцитах эпифиза при профилактическом применении питьевой сульфатной и йодсодержащей МВ в условиях радиации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Эксперимент проведен на 20 крысах-самцах (220–250 г), разделенных на 4 группы (n = 5). Животные 1-й и 2-й групп получали перорально по 3 мл/сут в течение 21 дня сульфатную (SO_4 — 2,6 г/л, минерализация — 4,0 г/л) и йодсодержащую (I — 12,8 мг/л, минерализация — 4,1 г/л) МВ. Контрольная группа получала водопроводную воду, 4-я группа — интактные животные, без воздействия. На следующий день после окончания поения опытные и контрольные крысы были однократно гамма-облучены (^{60}Co, 2 Гр, 0,66 Гр/мин). Вывод из эксперимента осуществлен через 30 суток после облучения. Методом электронной микроскопии изучали ультраструктуру нейронов паравентрикулярного ядра гипоталамуса и пинеалоцитов с морфометрией их органелл (секреторные гранулы, везикулы, митохондрии, гранулярная эндоплазматическая сеть (ГЭС), комплекс Гольджи). Достоверность данных оценивали с помощью t-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Профилактическое применение питьевой сульфатной и йодсодержащей МВ вызывает усиление внутриклеточных адаптационно-защитных реакций и тем самым предупреждает или ограничивает развитие ряда ультраструктурных нарушений в клетках паравентрикулярного ядра гипоталамуса и эпифиза в условиях радиации. Выявленные адаптационные сдвиги в основном связаны с антиоксидантным, мембраностабилизирующим и регенеративным действием питьевых МВ.

ОБСУЖДЕНИЕ. Наряду с однотипными (неспецифическими) изменениями проявлялась и относительная специфичность в развитии адаптационных реакций. При действии сульфатной МВ наиболее выраженный общий профилактический эффект был выявлен в нейронах гипоталамуса, тогда как при действии йодсодержащей МВ — в пинеалоцитах эпифиза. Эти различия были связаны как с основными (специфическими) ингредиентами МВ, так и со структурно-функциональными особенностями (свойствами) самих органов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Профилактическое действие питьевых сульфатной и йодсодержащей МВ снижает уровень дистрофических и дегенеративных нарушений и повышает устойчивость клеток гипоталамуса и эпифиза при радиационном облучении. В перспективе эти факторы могут быть использованы в качестве регуляторов для усиления резистентности организма к действию экстремальных факторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: питьевые минеральные воды, нейроны паравентрикулярных ядер гипоталамуса, пинеалоциты эпифиза, ультраструктурное исследование, профилактика

Для цитирования / For citation: Королев Ю.Н., Никулина Л.А., Михайлик Л.В. Профилактическое действие питьевых сульфатной и йодсодержащей минеральных вод на ультраструктуру гипоталамуса и эпифиза в условиях радиации: сравнительный анализ. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(5):47–53. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-47-53 [Korolev Yu.N., Nikulina L.A., Mykhailik L.V. Preventive Effect of Drinking Sulfate and Iodine-Containing Mineral Waters on the Ultrastructure of the Hypothalamus and Epiphysis under Radiation Exposure: A Comparative Analysis. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):47–53. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-47-53 (In Russ.).]

* **Для корреспонденции:** Королев Юрий Николаевич, E-mail: korolev.yur@yandex.ru, korolevyn@nmicrk.ru

Статья получена: 10.02.2026
Статья принята к печати: 31.08.2026
Статья опубликована: 23.10.2026

© 2026, Королев Ю.Н., Никулина Л.А., Михайлик Л.В.
Эта статья открытого доступа по лицензии CC BY-NC-SA 4.0. Издательство: ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

Preventive Effect of Drinking Sulfate and Iodine-Containing Mineral Waters on the Ultrastructure of the Hypothalamus and Epiphysis under Radiation Exposure: A Comparative Analysis

Yury N. Korolev*, **Liudmila A. Nikulina**, **Lyubov V. Mykhailik**

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

ABSTRACT

INTRODUCTION. Drinking mineral waters that contain sulphate and iodine, known for their antioxidant and regenerative properties, hold potential in preventing post-radiation disorders. These mineral waters can enhance the resilience of cellular structures, notably within organs involved in neuroendocrine regulation, such as the hypothalamus and the epiphysis, when exposed to radiation.

AIM. To investigate ultrastructural changes in the neurons of the paraventricular nucleus of the hypothalamus and pinealocytes of the pineal gland following the prophylactic administration of drinking sulfate and iodine-containing MW under radiation exposure.

MATERIALS AND METHODS. The experiment was performed on 20 male rats (220–250 g) divided into 4 groups (n = 5). Animals in groups 1 and 2 received 3 mL/day of sulfate (SO_4 — 2.6 g/L, mineralization — 4.0 g/L) and iodine-containing (I — 12.8 mg/L, mineralization — 4.1 g/L) mineral waters (MW) orally for 21 days. The control group received tap water, and the 4th group consisted of intact animals. The day after the end of the treatment, the experimental and control rats were exposed to a single gamma irradiation (^{60}Co, 2 Gy, dose rate 0.66 Gy/min). The animals were removed from the experiment 30 days after irradiation. Electron microscopy was used to study the ultrastructure of neurons in the paraventricular nucleus of the hypothalamus and pinealocytes, including the morphometry of their organelles (secretory granules, vesicles, mitochondria, rough endoplasmic reticulum, and Golgi complex). Statistical significance was evaluated using Student's t-test.

RESULTS. Prophylactic administration of drinking sulfate and iodine-containing MW enhances intracellular adaptive and protective responses, thereby preventing or limiting the development of various ultrastructural alterations in the cells of the paraventricular nucleus of the hypothalamus and pineal gland under radiation exposure. The observed adaptive shifts are primarily associated with the antioxidant, membrane-stabilizing, and regenerative effects of the consumed MW.

DISCUSSION. Alongside uniform (non-specific) changes, a relative specificity in the development of adaptive responses was observed. Exposure to sulfate MW resulted in the most pronounced general prophylactic effect in hypothalamic neurons, whereas iodine-containing MW showed its greatest effect in pinealocytes. These differences were attributed to both the main (specific) active ingredients of the MW and the distinct structural and functional properties of the organs themselves.

CONCLUSION. The prophylactic effect of drinking sulphate- and iodine-containing MW reduces the incidence of dystrophic and degenerative disorders and enhances the resilience of hypothalamic and pineal cells to radiation exposure. In the long term, these factors may be used as regulators to strengthen the resistance of the body to the impact of extreme environmental factors.

KEYWORDS: drinking mineral waters, neurons of the paraventricular nucleus of the hypothalamus, pinealocytes of the pineal gland, ultrastructural study, prophylaxis

For citation: Korolev Yu.N., Nikulina L.A., Mykhailik L.V. Preventive Effect of Drinking Sulfate and Iodine-Containing Mineral Waters on the Ultrastructure of the Hypothalamus and Epiphysis under Radiation Exposure: A Comparative Analysis. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):47–53. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-47-53 (In Russ.).

* **For correspondence:** Yury N. Korolev, E-mail: korolev.yur@yandex.ru, korolevyn@nmicrk.ru

Received: 10.02.2026
Accepted: 31.08.2026
Published: 23.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

Радиационное облучение усиливает перекисное окисление липидов с последующим повреждением клеточных мембран, что является одним из важнейших патогенетических механизмов в развитии пострадиационных нарушений. Для их профилактики перспективно использовать различные типы питьевых минеральных вод (МВ), в том числе сульфатные и йодсодержащие, обладающие антиоксидантным и регенеративным действием [1, 2]. Эти воды отличаются по своему ионно-солевому составу, но прежде всего по своим специфическим ингредиентам — сульфату и йоду, которые во многом определяют особенности развития адаптационных процессов.

В российской и зарубежной литературе показано, что сульфат-ион и его соединения (хондроитин сульфат, глюкозамин сульфат) через нейроглию создают необходимую среду во внеклеточном матриксе нервной ткани [3, 4], оказывают регулирующее влияние на созревание синапсов, стимулируют регенерацию и выживаемость нейронов [5, 6]. Также установлено, что эти соединения сульфата проявляют и протекторные свойства при нейродегенеративных и других заболеваниях нервной системы [3, 7]. Что касается йода, то он является необходимым субстратом для синтеза тиреоидных гормонов и регулятором функций щитовидной железы. В связи с этим йодсодержащие воды через синтез тиреоидных гормонов способны оказывать геномное и негеномное влияние на многие физиологические процессы, в том числе на работу митохондрий, синтез специфических белков, ионный транспорт, межклеточные механизмы, нейромедиаторную передачу [8–11]. Эти

гормоны активно участвуют в защите и восстановлении нервных клеток, а также играют важную роль в нейроиммуноэндокринной регуляции гомеостаза в организме [12–14].

В свете изложенных данных представляется целесообразным изучить характер развивающихся ультраструктурных сдвигов под влиянием этих МВ и их способность проявить свои протекторные свойства в органах нейроэндокринной регуляции — гипоталамусе и эпифизе в условиях действия радиационного облучения. В этой связи важно выявить адаптационные сдвиги в нейронах паравентрикулярного ядра гипоталамуса, гормоны которых регулируют развитие адаптационных реакций в организме. Эти нейроны имеют определенные структурно-функциональные различия: в крупноклеточных популяциях в основном вырабатывается вазопрессин и окситоцин, в мелкоклеточных — кортикотропин-релизинг-фактор, аргинин-вазопрессин и другие гормоны. Важно также определить изменения в ультраструктуре клеток эпифиза, вырабатывающих в основном гормон мелатонин, который обладает выраженными адаптивными возможностями, широкой регуляторной и нейропротекторной ролью [15]. По этой причине этот нейроэндокринный орган представляет особый интерес в изучении механизмов действия лечебных физических факторов, в том числе и указанных питьевых МВ.

ЦЕЛЬ

Выявить ультраструктурные изменения в нейронах паравентрикулярного ядра гипоталамуса и пинеалоцитах эпифиза при профилактическом применении питьевой сульфатной и йодсодержащей МВ в условиях радиации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперимент проведен на 20 нелинейных крысах-самцах массой 220–250 г. Исследования осуществляли в соответствии с требованиями Европейской конвенции по защите экспериментальных животных (Страсбург, 1986). Крысы были получены из питомника Научного центра биомедицинских технологий Федерального медико-биологического агентства России. До радиационного облучения методом рандомизации животные были разделены на 4 группы. Животные 1-й опытной группы ($n = 5$) получали питьевую сульфатную магниево-кальциевую МВ (концентрация сульфата — 2,6 г/л, минерализация — 4,0 г/л). Животные 2-й опытной группы ($n = 5$) получали йодсодержащую хлоридную натриевую МВ (концентрация йодид-ионов — 12,8 мг/л, минерализация — 4,1 г/л). Животные контрольной группы ($n = 5$) получали водопроводную воду; использовались также интактные животные ($n = 5$), которые никаким воздействиям не подвергались. МВ и водопроводную воду вводили крысам перорально 1 раз в день по 3 мл через иглу с оливой на конце в течение 21 дня. На следующий день после окончания курса поения животных опытных и контрольной групп однократно облучали на установке «ГУБЕ» (Институт общей генетики Российской академии наук) гамма-лучами ^{60}Co в дозе 2 Гр (мощность дозы — 0,66 Гр/мин). Животных выводили из эксперимента путем дислокации шейного отдела позвоночника через 30 дней после радиационного облучения. Для электронно-микроскопических исследований гипоталамус и эпифиз фиксировали в 4 % параформальдегиде. Из области гипоталамуса, соответствующей локализации паравентрикулярных ядер, изготавливали макросрезы для поиска субъядер. Полученные макросрезы и эпифиз постфиксировали в 1 % OsO_4, обезвоживали и заливали в смесь эпон-аралдит. Ультратонкие срезы гипоталамуса и эпифиза просматривали в электронном микроскопе JEM-100CX (Jeol, Япония). Проводили морфометрический анализ секреторных гранул и везикул, митохондрий, гранулярной эндоплазматической сети (ГЭС), секреторного комплекса Гольджи. Для оценки достоверности различий использовали *t*-критерий Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Действие радиации вызывало существенные нарушения ультраструктуры нейронов паравентрикулярного ядра гипоталамуса и пинеалоцитов эпифиза. Характерными являлись локальные расширения в межклеточных контактах, что нарушало взаимодействие клеток между собой. Эти нарушения особенно часто встречались в эпифизе, при этом они нередко имели крупные размеры. В пинеалоцитах обнаруживались признаки дистрофических процессов в виде вакуолизации и фрагментации канальцев ГЭС, просветление матрикса митохондрий и снижение их численности. В крупноклеточных нейронах также отмечались эти нарушения со стороны ГЭС, при этом значительно ослаблялась ее секреторная функция: число секреторных гранул, содержащих вазопрессин и окситоцин, уменьшалось почти в 2 раза по сравнению с контролем ($p < 0,01$). В еще большей степени снижалась секреторная функция мелкоклеточных нейронов, о чем свидетельствовало снижение численности секреторных везикул в 2,8 раза ($p < 0,01$). Кроме того, в клетках обнаруживались миелиноподобные структуры, которые обычно образовывались на месте гибели митохондрий. Следовательно, действие радиации вызывало нарушения внутриклеточной структуры и взаимосвязи между клетками в гипоталамусе и эпифизе, что негативно отражалось на их секреторной и регуляторной функциях.

Профилактическое применение питьевой сульфатной и йодсодержащей МВ способствовало развитию адаптационно-защитных реакций и снижало уровень развития пострадиационных нарушений как в нейронах паравентрикулярного ядра гипоталамуса, так и в пинеалоцитах эпифиза. Характерным являлось ослабление интенсивности в развитии нарушений межклеточных контактов, что особенно было заметно в эпифизе, при этом практически отсутствовали наиболее крупные по размерам межклеточные расширения, а более мелкие встречались значительно реже. В гипоталамусе они обнаруживались в единичных случаях. Это означает, что наружная мембрана клеток в этих органах — плазмолемма — становилась более устойчивой к действию радиации. Повышалась также устойчивость и внутриклеточных мембран, в том числе митохондрий, о чем свидетельствовало снижение содержания миелиноподобных структур.

Вместе с тем отчетливо проявлялись различия в механизмах действия этих МВ. При применении сульфатной МВ в крупноклеточных нейронах гипоталамуса,

на фоне улучшения ультраструктуры и повышения содержания свободных рибосом и полисом отмечалось увеличение численности секреторных гранул по сравнению с контролем (на 19,2 %; $p < 0,01$). Характерно, что при этом многие гранулы становились более крупными по своим размерам, а их средняя площадь возрастала (на 31,6 %; $p < 0,01$) (рис. 1). Это свидетельствует об усилении синтеза гормонов и об их накоплении (депонировании) в цитоплазме нейронов. В мелкоклеточных нейронах уровень секреторной активности гормонов также возрастал, на что указывало увеличение числа везикул (на 43,8 %). При действии йодсодержащей МВ благоприятные сдвиги в нейронах гипоталамуса проявлялись слабее: число гранул в крупноклеточных нейронах увеличивалось (на 9,9 %), однако при этом достоверно возрастала их средняя площадь (на 15,8 %; $p < 0,01$), что в совокупности повышало уровень синтеза гормонов по сравнению с контролем (рис. 1). В мелкоклеточных нейронах численность секреторных везикул практически не изменялась.

Полученные данные указывают, что эффективность профилактики в нейронах гипоталамуса была выше при действии сульфатной МВ по сравнению с йодсодержащей МВ.

В клетках эпифиза также были выявлены характерные особенности в развитии адаптационных изменений при действии МВ в условиях радиации. При этом следует отметить, что в связи с отсутствием в цитоплазме пинеалоцитов секреторных гранул (они редко встречались у интактных животных, а после радиации обычно не обнаруживались), процессы секреции в этих клетках оценивали по состоянию органелл, ответственных за выработку секреторного продукта.

Оказалось, что наибольшие адаптивные сдвиги в эпифизе проявлялись при действии йодсодержащей МВ. Особенно возрастала объемная доля секреторного комплекса Гольджи (на 35,5 %; $p < 0,05$) (рис. 2). Этот комплекс был хорошо развит и часто содержал вакуоли, а также цистерны, что указывало на его повышенную функциональную активность. ГЭС при этом проявляла небольшую тенденцию к увеличению по сравнению с контролем, однако местами эта органелла содержала увеличенное количество ассоциированных с мембранами рибосом. Здесь же обнаруживались многочисленные рибосомы и полисомы. Также насыщенные рибосомами профили ГЭС вместе со свободными рибосомами иногда располагались вблизи плазмолеммы клеток, участвуя, видимо, не только в процессах

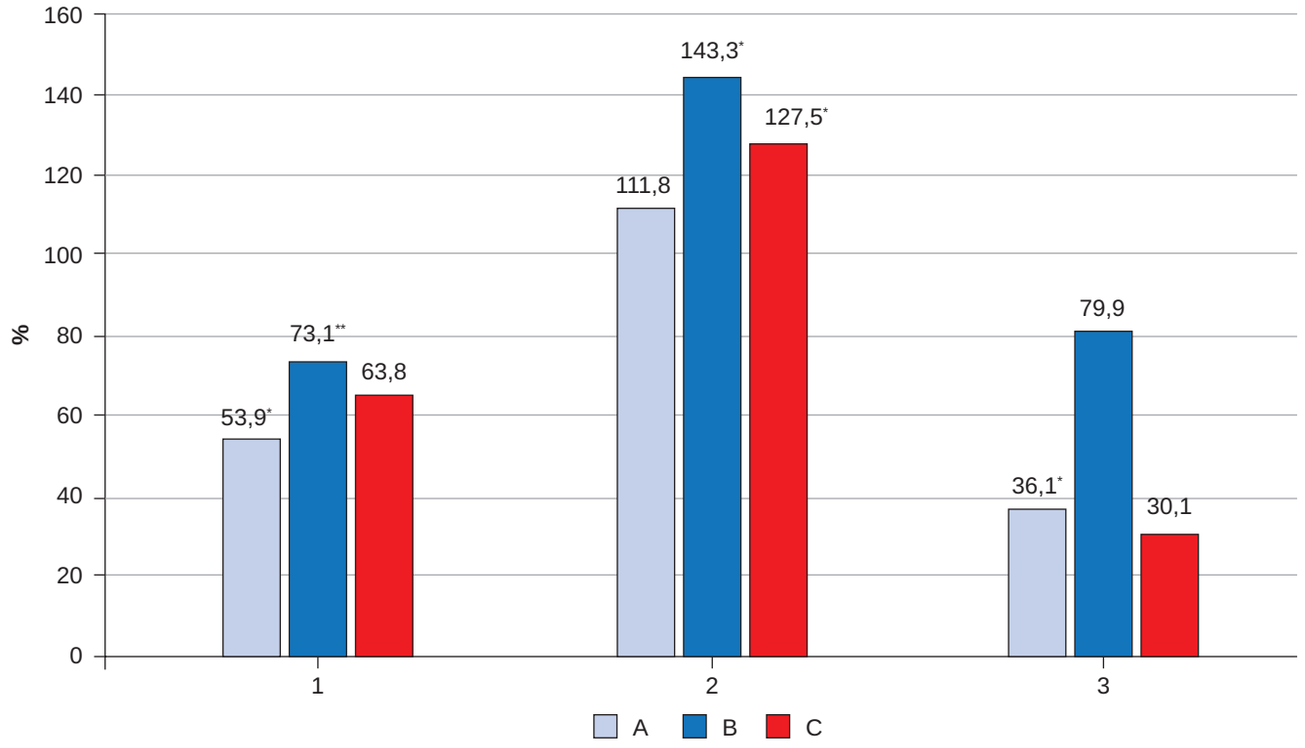


Рис. 1. Морфометрическая характеристика секреторной активности нейронов паравентрикулярного ядра гипоталамуса при профилактическом применении питьевой сульфатной и йодсодержащей минеральных вод при радиационном облучении

Fig. 1. Morphometric characteristics of the secretory activity of neurons of the paraventricular nucleus of the hypothalamus during the prophylactic use of drinking sulfate and iodine-containing mineral waters during radiation exposure

Примечание: *А — контроль, В — сульфатная минеральная вода, С — йодсодержащая минеральная вода. Крупноклеточные нейроны: 1 — число гранул, 2 — средняя площадь гранул. Мелкоклеточные нейроны: 3 — число везикул. * — $p < 0,01$ по сравнению с интактом, ** — $p < 0,01$ по сравнению с контролем.*

Note: *A — control, B — sulfate mineral water, C — iodine-containing mineral water. Large cell neurons: 1 — number of granules, 2 — average area of granules. Small cell neurons: 3 — number of vesicles. * — $p < 0.01$ compared to intact, ** — $p < 0.01$ compared to control.*

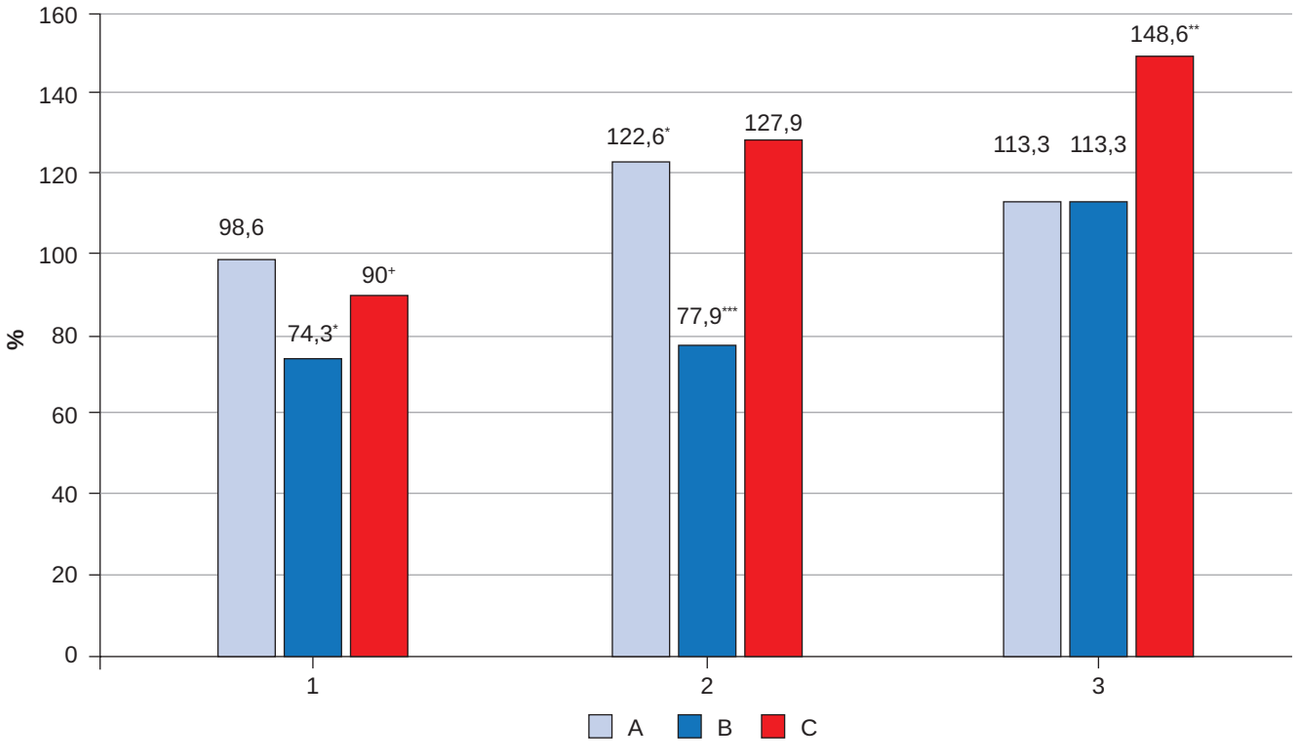


Рис. 2. Морфометрическая характеристика ультраструктур пинеалоцитов при профилактическом применении питьевой сульфатной и йодсодержащей минеральных вод при радиационном облучении

Fig. 2. Morphometric characteristics of pinealocyte ultrastructures during the prophylactic use of drinking sulfate and iodine-containing mineral waters during radiation exposure

Примечание: *А — контроль, В — сульфатная минеральная вода, С — йодсодержащая минеральная вода. 1 — митохондрии, 2 — гранулярная эндоплазматическая сеть, 3 — секреторный комплекс Гольджи.* * *— $p < 0,05$ по сравнению с интактом,* ** *— $p < 0,01$ по сравнению с контролем,* *** *— $p < 0,05$ по сравнению с контролем,* + *— $p < 0,05$ по сравнению с сульфатной МВ.*

Note: *A — control, B — sulfate mineral water, C — iodine-containing mineral water. 1 — mitochondria, 2 — granular endoplasmic reticulum, 3 — Golgi secretory complex.* * *— $p < 0.05$ compared to intact,* ** *— $p < 0.01$ compared to control,* *** *— $p < 0.05$ compared to control,* + *— $p < 0.05$ compared to sulfate MW.*

секреции, но и в компенсаторно-восстановительных процессах в зоне нарушений межклеточных контактов. Митохондрии, объемная доля которых снижалась на 8,6 % и повышалась только по сравнению с сульфатной МВ (на 20,8 %; $p < 0,05$), характеризовались при этом значительным полиморфизмом. При действии сульфатной МВ характерным являлось снижение размеров самих клеток эпифиза, что отражалось и на структуре их органелл. При этом объемная доля комплекса Гольджи оставалась на уровне контроля, тогда как объемные доли митохондрий и ГЭС уменьшались (соответственно на 24,3 %; $p < 0,05$ и на 44,4 %; $p < 0,01$) (рис. 2). Следовательно, под влиянием сульфатной МВ на фоне уменьшения размеров клеток и уровня дистрофических и дегенеративных явлений в клетках эпифиза происходило адаптивное снижение биоэнергетических и синтетических процессов, что ослабляло их функциональную активность по сравнению с йодсодержащей МВ.

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, предварительное применение сульфатной и йодсодержащей МВ с последующим радиационным облучением предупреждает или ограничивает степень развития ультраструктурных нарушений в клетках гипоталамуса и эпифиза [16]. Это проявляется в основном в менее выраженных нарушениях со стороны нейронов и пинеалоцитов, в более высокой сохранности межклеточных контактов и внутриклеточных органелл, усилении в целом секреторной активности клеток и в накоплении гормонов в цитоплазме нейронов. Можно полагать, что выявленные адаптационно-защитные реакции развивались в результате антиоксидантного, мембраностабилизирующего и регенеративного действия питьевых МВ, которые повышают ресурсы защитной антиоксидантной системы и укрепляют резистентность клеточных и внутриклеточных мембран к повреждающему действию радиации. При этом активация генетического и белоксинтезирующего аппарата клеток приводит к направленной регуляции синтеза соответствующих гормонов и других адаптивных реакций, развитие которых непосредственно связано со спецификой ионно-солевого состава МВ, главным образом с ионами сульфата и йода, а также со структурно-функциональными особенностями исследованных органов. Так, при действии сульфатной МВ наиболее выраженный профилактический эффект был получен в нейронах гипоталамуса, тогда как при действии йодсодержащей МВ — в пинеалоцитах эпифиза. Эти относительно специфические адаптационные реакции тесно связаны с избирательным накоплением основных (специфиче-

ских) ингредиентов питьевых МВ и их влиянием вначале на определенные «локальные» механизмы адаптации, при этом они всегда сочетаются с неспецифическими (стереотипными) реакциями, которые являются продуктом деятельности общих, с более широким охватом, механизмов регуляции. Предполагается, что адаптация начинает свое развитие с неспецифических общих изменений, а затем уже на фоне адекватного действия лечебных физических факторов, в том числе и исследованных питьевых МВ, происходит постепенное формирование и относительных специфических адаптивных реакций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показали, что питьевые сульфатные и йодсодержащие МВ, использованные в качестве средств первичной профилактики, снижают уровень дистрофических и дегенеративных ультраструктурных нарушений и повышают устойчивость клеток гипоталамуса и эпифиза к действию радиации. В перспективе эти факторы могут быть использованы в качестве регуляторов для усиления резистентности организма к экстремальным воздействиям с обоснованием принципов управления процессами адаптации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

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.
E-mail: korolev.yur@yandex.ru, korolevyn@nmicrk.ru;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5530-1538
Никулина Людмила Анатольевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, отдел изучения механизмов действия физических факторов, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2200-868X
Михайлик Любовь Васильевна, научный сотрудник, отдел изучения механизмов действия физических факторов, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9717-4749

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: Королев Ю.Н. — научное обоснование, написание черновика рукописи, проверка и редактирование рукописи; Никулина Л.А., Михайлик Л.В. — верификация данных, анализ данных, 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. Исследования осуществлялись в соответствии с требованиями Европейской конвенции по защите экспериментальных животных (Страсбург, 1986).
Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Yury N. Korolev, D.Sc. (Med.), Professor, Chief Scientific Officer, Department for Studying the Mechanisms of Action of Physical Factors, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
E-mail: korolev.yur@yandex.ru, korolevyn@nmicrk.ru;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5530-1538
Liudmila A. Nikulina, PhD (Biol.), Senior Researcher, Department for Studying the Mechanisms of Action of Physical Factors, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2200-868X
Lyubov V. Mykhailik, Researcher, Department of the Study of the Mechanisms of Action of Physical Factors, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9717-4749

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: Korolev Yu.N. — conceptualization, writing — original draft, writing — review & editing; Nikulina L.A., Mykhailik L.V. — validation, formal analysis, 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 research was carried out in accordance with the requirements of the European Convention for the Protection of Experimental Animals (Strasbourg, 1986).
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. Королев Ю.Н., Михайлик Л.В., Никулина Л.А. Механизмы действия питьевой сульфатной минеральной воды при первичном и лечебном применении в условиях экспериментального стресса: сравнительный анализ. Вестник восстановительной медицины. 2023; 22(4): 90–95. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-4-90-95 [Korolev Yu.N., Mikhailik L.V., Nikulina L.A. Drinking Sulphate Mineral Water Action Mechanisms at Primary Preventive and Therapeutic Application under Experimental Stress: A Comparative Analysis. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2023; 22(4): 90–95. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-4-90-95 (In Russ.).]

2. Королев Ю.Н., Никулина Л.А., Панова Л.Н. Пострадиационные восстановительные процессы в организме при внутреннем применении йодсодержащих вод. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 1995; 5: 6–9. [Korolev Yu.N., Nikulina L.A., Panova L.N. Radiation-reducing processes in the body with the internal use of iodine-containing waters. Issues of balneology, physiotherapy and therapeutic physical education. 1995; 5: 6–9 (In Russ.).]
3. Громова О.А., Торшин И.Ю., Семенов В.А. и др. О неврологических ролях хондроитина сульфата и глюкозамина сульфата: систематический анализ. Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2019; 11(3): 137–143 [Gromova O.A., Torshin I.Yu., Semenov V.A., et al. On the neurological roles of chondroitin sulfate and glucosamine sulfate: a systematic analysis. Neurology, neuropsychiatry, psychosomatics. 2019; 11(3): 137–143 (In Russ.).]
4. Pantazopoulos H., Berretta S. In Sickness and in Health: Perineuronal Nets and Synaptic Plasticity in Psychiatric Disorders. Neural Plasticity. 2016; 2016: 9847696. https://doi.org/10.1155/2016/9847696
5. Canning D.R., Brelsford N.R., Lovett W.N. Chondroitin sulfate effects on neural stem cell differentiation. In vitro Cellular and Developmental Biology Animal. 2016; 52(1): 35–44. https://doi.org/10.1007/s11626-015-9941-8
6. Karumbaiah L., Enam S.F., Brown A.C., et al. Chondroitin Sulfate Glycosaminoglycan Hydrogels Create Endogenous Niches for Neural Stem Cells. Bioconjugate Chemistry. 2015; 26(12): 2336–2349. https://doi.org/10.1021/acs.bioconjchem.5b00397
7. Zhang Q., Li J., Liu C., et al. Protective effect of low molecular weight chondroitin sulfate on amyloid beta (Abeta) — induced damage in vitro and in vivo. Neuroscience. 2015; 305: 169–182. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2015.08.002
8. Трошина Е.А. К вопросу о недостатке и избытке йода в организме человека. Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2010; 6(4): 9–16 [Troshina E.A. On the issue of iodine deficiency and excess in the human body. Clinical and experimental thyroidology. 2010; 6(4): 9–16 (In Russ.).]
9. Forini F., Nicolini G., Kusmic C., et al. Integrative analysis of differentially expressed genes and miRNAs predicts complex T3-mediated protective circuits in a rat model of cardiac ischemia reperfusion. Scientific Reports. 2018; 8(1): 1–16. https://doi.org/10.1038/s41598-018-32237-0
10. Lin H.Y., Davis F.B., Luidens M.K., et al. Molecular basis for certain neuroprotective effects of thyroid hormone. Frontiers in Molecular Neuroscience. 2011; 4: 29. https://doi.org/10.3389/fnmol.2011.00029
11. Шатыр Ю.А., Срослова Г.А., Назаров Н.О., Глушаков Р.И. Современные представления о регулировании активности тиреоидных гормонов и механизме их действия на клеточном уровне (обзор). Журнал медико-биологических исследований. 2025; 15(1): 115–125. https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z234 [Shatyr Yu.A., Sroslova G.A., Nazarov N.O., Glushakov R.I. Modern concepts of regulating the activity of thyroid hormones and the mechanism of their action at the cellular level (review). Journal of Biomedical Research. 2025; 15(1): 115–125. https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z234 (In Russ.).]
12. Филимонов Д.А., Евтушенко С.К., Федорова А.А. Молекулярные механизмы нейропротекторных эффектов тиреоидных гормонов и их метаболитов при острой ишемии головного мозга. Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2023; 17(1): 43–54. https://doi.org/10.54101/ACEN.2023.1.6 [Filimonov D.A., Yevtushenko S.K., Fedorova A.A. Molecular mechanisms of neuroprotective effects of thyroid hormones and their metabolites in acute cerebral ischemia. Annals of clinical and experimental Neurology. 2023; 17(1): 43–54. https://doi.org/10.54101/ACEN.2023.1.6 (In Russ.).]
13. Демин Д.Б. Эффекты тиреоидных гормонов в развитии нервной системы (обзор). Журнал медико-биологических исследований. 2018. 6(2): 115–127. https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2018.6.2.115 [Demin D.B. Effects of thyroid hormones in the development of the nervous system (review). Journal of Biomedical Research. 2018. 6(2): 115–127. https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2018.6.2.115 (In Russ.).]
14. Федотова Ю.О., Сапронов Р.С. Эффекты тиреоидных гормонов в центральной нервной системе. Основы нейроэндокринологии. Под ред. Шаляпиной В.Г., Шабанова П.Д. СПб.: Элби-СПб. 2005; 204–249. [Fedotova Yu.O., Sapronov R.S. Effects of thyroid hormones in the central nervous system. Fundamentals of neuroendocrinology. Edited by V.G. Chaliapina, P.D. Shabanov. St. Petersburg: Elbi-SPb. 2005; 204–249 (In Russ.).]
15. Alghamdi B.S. The neuroprotective role of melatonin in neurological disorder. Journal of Neuroscience Research. 2018; 96(7): 1136–1149. https://doi.org/10.1002/jnr.24220
16. Королев Ю.Н., Никулина Л.А. Ультраструктура гипоталамуса и эпифиза при профилактическом применении сульфатной и йодсодержащей минеральных вод в условиях радиации. Врач. 2026; 7: 36–37. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-07-IX-International-Congress-Balneotherapy [Korolev Yu.N., Nikulina L.A. Ultrastructure of the hypothalamus and epiphysis in case of preventive use of sulfate and iodine-containing mineral water under radiation conditions. 2026; 7: 36–37. Vrach. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-07-IX-International-Congress-Balneotherapy (In Russ.).]

Оригинальная статья / Original article
DOI: https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-54-60

Инновационные методы в медицинской реабилитации после операции декомпрессии поясничного отдела позвоночника: клинический случай

Пурдык Ю.В.*, Кончугова Т.В., Марченкова Л.А.

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

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Ввиду широкого распространения дегенеративно-дистрофических изменений поясничного отдела позвоночника, его травм, в том числе боевых, актуальность лечения, реабилитации поясничного спинального стеноза (ПСС) не вызывает сомнений. Восстановление пациентов после проведенного хирургического лечения ПСС с операцией декомпрессии позвоночника является длительным и требует мультимодально-персонализированного подхода с использованием физиотерапевтических методов. Для уменьшения общего числа применяемых в реабилитации методов при сохранении и упрочении восстановительных эффектов и комплаенса пациентов, перенесших такие операции, предлагается включение в комплексы медицинских реабилитационных воздействий инновационных методов с биологической обратной связью (БОС).

ЦЕЛЬ. Оценка эффективности реабилитации и комплаенса пациента после операции декомпрессии поясничного отдела позвоночника при включении инновационных методов в комплекс воздействий со снижением числа используемых традиционных методов реабилитации.

ОПИСАНИЕ СЛУЧАЯ. Исследование проведено на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России с января 2025 г. по март 2026 г. Пациентка Д., 45 лет, с правосторонней радикулопатией L5–S1 в стадии обострения, после декомпрессионной операции корешков L5–S1, поздний восстановительный период. На фоне соответствующих жалоб и данных клинико-инструментального обследования, отражающих двигательные, статокинетические, психоэмоциональные, сосудистые нарушения у пациентки, ей проводился 10-дневный курс комплексной реабилитации, включавший, помимо массажа и лечебной физической культуры, инновационные методы в виде тренировок на стабилоплатформе навыков саморегуляции, баланса при движениях с БОС в реальном времени, на интерактивной сенсорной беговой дорожке — эргометре с тренировкой правильного стереотипа походки и равновесия. Проводили низкоинтенсивную лазеротерапию инфракрасным излучением паравертебрально на поясничный отдел по стабильной методике, ритмическую магнитную стимуляцию контактно в болевой зоне. Роботизированную механотерапию проводили на 3D-тренажере с БОС с индивидуально возрастающей нагрузкой и оценкой функций позвоночника в динамике. Процедуры переносились пациенткой хорошо. Положительная динамика по основным функциональным тестам и шкалам отмечена уже после 5-го дня проводимого курса. При контрольных обследованиях через 6 и 12 месяцев ухудшений не отмечено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Более активное внедрение инновационных роботизированных методов в систему реабилитации после операций декомпрессии поясничного отдела позвоночника, даже в случае сокращения использования традиционных методик, позволяет добиться значительных реабилитационных эффектов и высокого комплаенса пациента.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: поясничный стеноз, декомпрессия поясничного отдела позвоночника, реабилитация, физиотерапия, лазеротерапия, магнитная стимуляция, роботизированная механотерапия, биологическая обратная связь (БОС), комплаенс

Для цитирования / For citation: Пурдык Ю.В., Кончугова Т.В., Марченкова Л.А. Инновационные методы в медицинской реабилитации после операции декомпрессии поясничного отдела позвоночника: клинический случай. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(5):54–60. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-54-60 [Purdyk Yu.V., Konchugova T.V., Marchenkova L.A. Innovative Methods in Medical Rehabilitation after Lumbar Spine Decompression Surgery: A Clinical Case Report. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):54–60. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-54-60 (In Russ.).]

* **Для корреспонденции:** Пурдык Юлия Вячеславовна, E-mail: purdykyv@nmicrk.ru

Статья получена: 12.08.2026
Статья принята к печати: 31.08.2026
Статья опубликована: 23.10.2026

© 2026, Пурдык Ю.В., Кончугова Т.В., Марченкова Л.А.
Эта статья открытого доступа по лицензии CC BY-NC-SA 4.0. Издательство: ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

Innovative Methods in Medical Rehabilitation after Lumbar Spine Decompression Surgery: A Clinical Case Report

Yulia V. Purdyk*, **Tatiana V. Konchugova**, **Larisa A. Marchenkova**

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

ABSTRACT

INTRODUCTION. The prevalence of degenerative-dystrophic conditions and injuries of the lumbar spine, particularly those sustained through military activities, highlights the critical necessity of effective treatment and rehabilitation strategies for lumbar spinal stenosis (LSS). The post-surgical recovery process for patients who have undergone spinal decompression to treat LSS is extensive and demands a comprehensive, individualized rehabilitation plan that integrates various physiotherapy techniques. In order to streamline rehabilitation methods while preserving their restorative benefits and ensuring patient adherence, it is suggested that the integration of innovative biofeedback (BF) techniques within medical rehabilitation programs be pursued.

AIM. To evaluate the effectiveness of rehabilitation and compliance of a patient after lumbar spinal decompression surgery when innovative methods are included in the complex of effects with a reduction in the number of traditional rehabilitation methods used.

CASE REPORT. The study was conducted at the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology between January 2025 and March 2026. Patient D., 45 years old, with right-sided radiculopathy L5–S1 in the exacerbation stage, after decompression surgery of the L5–S1 roots, late recovery period. Against the background of relevant complaints and data from a clinical and instrumental examination reflecting motor, statokinetic, psychoemotional, and vascular disorders in the patient, she underwent a 10-day course of complex rehabilitation, which included, in addition to massage and exercise therapy, innovative methods in the form of training on a stabilization platform to develop self-regulation skills and balance during movements with real-time BF, and on an interactive sensory treadmill — an ergometer — to train correct gait patterns and balance. Low-intensity laser therapy with infrared radiation was performed paravertebrally on the lumbar spine using a stable technique, and rhythmic magnetic stimulation was performed in contact with the pain zone. Robotic mechanotherapy was performed on the 3D simulator with BF with individually increasing load and assessment of spinal functions in dynamics. The patient tolerated the procedures well. Positive progress in the main functional tests and scales was observed as early as the fifth day of the treatment course. No deterioration was noted during follow-up examinations at 6 and 12 months.

CONCLUSION. The more active implementation of innovative robotic methods in the rehabilitation system after lumbar spine decompression surgeries, even if the use of traditional methods is reduced, allows for significant rehabilitation effects and high patient compliance.

KEYWORDS: lumbar stenosis, lumbar spine decompression, rehabilitation, physiotherapy, laser therapy, magnetic stimulation, robotic mechanotherapy, biofeedback (BF), compliance

For citation: Purdyk Yu.V., Konchugova T.V., Marchenkova L.A. Innovative Methods in Medical Rehabilitation after Lumbar Spine Decompression Surgery: A Clinical Case Report. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):54–60. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-54-60 (In Russ.).

* **For correspondence:** Yulia V. Purdyk, E-mail: purdykyv@nmicrk.ru

Received: 12.08.2026
Accepted: 31.08.2026
Published: 23.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

При поясничном спинальном стенозе (ПСС) наблюдается сужение просвета позвоночного канала. Развитие ПСС постепенно ведет к компрессионным нарушениям нервных и сосудистых структур позвоночника. ПСС может быть врожденным или приобретенным в результате дегенеративных изменений, травм, в том числе при участии в боевых действиях, а также перенесенных опухолей, хирургических операций, инфекционных, иммунных заболеваний, особенностей развития [1]. Наиболее типична локализация ПСС на уровне сегмента L4–L5, испытывающего максимальную механическую нагрузку, особенно на фоне профессиональных факторов риска в виде выраженной, долгой статической нагрузки, вибрации.

Чаще подвержены ПСС лица старше 50–60 лет. Симптомами ПСС являются боль, перемежающаяся хромота, мышечная слабость, онемение, парестезии нижних конечностей, координационные, вестибулярные и постуральные расстройства. Все это ведет к ограничению подвижности, повседневной активности, нарушениям функции ходьбы и самообслуживания.

Актуальность поиска лечебно-профилактических, а также реабилитационных средств и методов при ПСС и после его хирургического лечения не вызывает сомнений ввиду широкой распространенности таких предикторов ПСС, как дегенеративно-дистрофические и онкологические заболевания позвоночника, аутоиммунные нарушения и травмы.

Консервативная терапия направлена на устранение или снижение выраженности симптомов ПСС: применяют нестероидные противовоспалительные средства, миорелаксанты, препараты против нейропатической боли, для улучшения микроциркуляции, трофики нервных тканей, трансдермальные локальные средства, проводят фасеточные, эпидуральные, паравертебральные лекарственные блокады глюкокортикоидами, мест-

ными анестетиками [2]. Однако эффекты этих мероприятий обычно недолговременны.

Физические лечебные воздействия в виде комплексов специальной лечебной гимнастики (ЛФК) с изотоническими и изометрическими упражнениями, упражнений на постуральный контроль, мягкую растяжку, укрепление мышц тела (сгибателей, разгибателей позвоночника) и нижних конечностей, использование физиотерапии в виде процедур электро-, магнито- и лазеротерапии, ультразвуковой терапии, акупунктуры, бальнеотерапии со щадящим вытяжением позвоночника помогают снимать воспаление, отек тканей, боль, снижая степень компрессии на нервные структуры [3].

Однако эффективность таких физиотерапевтических воздействий во многом зависит от регулярности и системности занятий, мотивации и степени комплаенса пациента, и не всегда стойкий эффект может быть достигнут в случае поздних периодов реабилитации после хирургического лечения [4, 5].

Радикальные хирургические методы лечения ПСС, наряду с изменением качества жизни и функционирования пациента в отдаленный период, однако, влекут за собой риски развития осложнений и предполагают длительный период реабилитации. Меньший риск осложнений и ускорение реабилитации подразумевают проведение малоинвазивных эндоскопических методов декомпрессии позвоночных корешков, таких как TESSYS, iLESSYS [6, 7]. Возможными постоперационными рисками являются ликворея, повреждение сосудов и нервных структур, ограничение двигательных функций и выраженный болевой синдром, нарушение параметров баланса [8].

В связи с изложенным принципы реабилитации после операций при дегенеративных заболеваниях позвоночника, включая ПСС, должны выражать мультимодальный и одновременно персонализированный подход с учетом степени ограничений или утраты функций позвоночника у конкретного пациента. Полноценное восстановление может быть достигнуто лишь при активной реабилитации с применением инновационных методик, значимых для профилактики осложнений, улучшения физического функционирования пациентов и их качества жизни [9, 10].

Болевой синдром после проведенных при ПСС хирургических операций может быть следствием неустраненной компрессии нервных структур, результатом некупированного в этих зонах воспаления, рубцово-спаечного процесса, нестабильности позвоночного сегмента, которые встречаются даже через год и более после хирургического вмешательства. Формирующийся при этом синдром нередко называют синдромом «неудачной операции на позвоночнике». Он включает в себя проявления нейропатической боли, нарушения подвижности в поясничном отделе, наличие парестезий, координационных и постуральных нарушений, выражающиеся патологической походкой, неустойчивостью в позе стоя и при ходьбе, эпизодами потери равновесия при поворотах телом, симптомами вторичного неврологического дефицита [11, 12].

Перечисленные хронические проявления резко затрудняют социальную адаптацию пациентов: им приходится снижать свою двигательную активность, ограничивать и бытовую, и трудовую деятельность. Может сформироваться страх движения как такового (кинезиофобия). Это уменьшает приверженность реабилитации, может приводить к развитию тревожно-депрессивных нарушений. Это, в свою очередь, уменьшает эффективность реабилитации, необходимое пациенту восстановление критически замедляется [13].

В качестве традиционных реабилитационных методов в комплексах лечебного воздействия используют ЛФК, кинезио- и гидрокинезотерапию, координационные (постуральные) тренировки баланса и поддержания позы в виде статических и динамических упражнений, стабилизации позвоночника, дыхательных и психологических техник [14, 15], терагерцовую терапию [16].

В последние годы во всем мире активно развивается инновационная реабилитология, включающая использование сложных биомеханических систем с биологической обратной связью (БОС), применение виртуальной реальности и роботизированных комплексов [2]. Это позволяет осуществлять объективный контроль за эффективностью реабилитации за счет индивидуализированного выбора оптимальной нагрузки, работы с глубокими мышечными группами, опорными для функций позвоночника, устранения постуральных расстройств. Присутствие в процессе реабилитации игры, интерактива повышает интерес и мотивацию пациента, а программное обеспечение роботизированных тренажеров позволяет персонально подобрать нагрузки, автоматически адаптируя их к возможностям пациента. Инновационные программные комплексы в реальном времени осуществляют мониторинг с объективной оценкой степени восстановления функций, количественно сравнивая фиксируемые в памяти тренажеров такие параметры, как гибкость позвоночника, сила и объем движений, функции баланса. Визуальная БОС улучшает активацию моторного научения, ускоряя восстановление двигательных паттернов и координации после хирургического вмешательства [17, 18].

Формирующийся у пациентов после хирургической операции декомпрессии при ПСС комплекс нарушений многогранен и заключается в сочетании болевого и нейрогенных синдромов с нарушениями функций опорно-двигательного аппарата на фоне постоперационного повреждения тканей, при дополнительном наличии негативного психосоциального компонента. Многогранность расстройств определяет необходимость мультимодально-индивидуализированного подхода, когда ряд методов объединяют в единую программу реабилитации, включающую как проведение физиотерапевтических процедур, ЛФК, механотерапии и постуральных тренировок, так и оказание психологической поддержки с обучением пациента навыкам саморегуляции и формирования правильного двигательного стереотипа.

Однако увеличение числа используемых в комплексе реабилитационных методов перегружает пациентов, усложняя процесс реабилитации, отрицательно сказываясь на мотивации, комплаенсе. Целесообразным представляется подход с минимальным и достаточным числом используемых методов, где каждый используемый метод по возможности сочетал бы в себе механизмы воздействия сразу на ряд аспектов постопера-

ционного процесса восстановления. К таким методам, по нашему мнению, стоит отнести компьютеризированную механотерапию, мануальные методики, лечебную гимнастику и ряд физиопроцедур в едином мультимодальном комплексе. В совокупности создаваемые ими эффекты представляют собой вторичную профилактику дегенерации, вертеброгенного болевого синдрома и двигательных нарушений.

ЦЕЛЬ

Оценка эффективности комплекса инновационных методов медицинской реабилитации и комплаенса пациента после операции декомпрессии поясничного отдела позвоночника на фоне сокращения числа применяемых методов реабилитации при сохранении и улучшении достигаемых результатов.

ОПИСАНИЕ СЛУЧАЯ

Исследование проведено на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России с января 2025 г. по март 2026 г. Пациентка Д., 45 лет. Диагноз: правосторонняя радикулопатия L5–S1 в стадии обострения. Состояние после декомпрессионной операции корешков L5–S1, 5 месяцев назад, поздний восстановительный период.

При поступлении на курс реабилитации отмечает наличие постоянных болей в области поясницы, которые иррадиируют в копчик и правую нижнюю конечность по ее заднелатеральной поверхности. Боли усиливаются в сидячем положении. Отмечается онемение по задней поверхности бедра и в промежностной зоне. Пять месяцев назад пациентка перенесла операцию: была проведена интраламинарная дискэктомия L5–S1, удалена парамедианная грыжа диска (справа), проведена декомпрессия корешков и дурального мешка. Реабилитационный курс, проведенный амбулаторно по месту жительства пациентки и включающий ряд традиционных при таких операциях физиотерапевтических воздействий, не принес достаточных положительных результатов. После выхода месяц назад на работу, связанную с длительным нахождением в статичном положении стоя (менеджер магазина), жалобы пациентки усугубились.

При клиническом осмотре обращали на себя внимание: симптом Ласега справа при угле подъема ноги 42°, коленный и ахиллов рефлексы справа ослаблены, пошатывание в позе Ромберга. Паравертебрально отмечается выраженная болезненность в поясничном отделе при пальпации, D > S (5 и 4 балла по визуальной аналоговой шкале боли соответственно). Имеется гипертонус поясничных мышц, ограничение наклонов туловища, гипотонус мышц передней стенки живота, бедер и голеней, D > S, уплощен грудной кифоз и поясничный лордоз. Сила мышц сгибателей правого бедра — 3,0 балла, задней группы бедренных мышц — 3,0 балла, отводящих мышц — 3,5 балла, приводящих мышц бедра — 3,5 балла. Сила мышц задней поверхности голени — 3,5 балла. При ходьбе скорость резко снижена, наблюдается прихрамывание пациентки на правую ногу.

По данным магнитно-резонансной томографии, имеются снижение высоты межпозвонкового диска сегментов L5–S1, признаки выраженного остеохондроза.

Имеется асимметрия пульсового кровенаполнения в физиологически доступных пределах по результатам дуплексного сканирования нижних конечностей, наблюдаются спазм сосудов голени, затруднение венозного оттока, D > S.

При проведении стабилометрии среднеквадратическое отклонение общего центра давления во фронтальной плоскости составило: при открытых глазах — 3,3 мм, при закрытых — 4,5 мм; среднеквадратическое отклонение общего центра давления в сагиттальной плоскости при открытых глазах — 3,2 мм, при закрытых — 4,1 мм. Длина статокинезиограммы при открытых глазах — 472,3 мм, при закрытых — 755,8 мм. Площадь статокинезиограммы при открытых глазах — 605,5 мм^2, при закрытых — 1502,1 мм^2.

Наблюдалось также снижение показателей следующих функциональных тестов: на оценку силы мышц спины и живота, оценку устойчивости мышц спины и живота к статической и динамической нагрузке, оценку функции баланса (тест Фукуды, тест «Стойка на одной ноге»), оценку скорости передвижения (10-метровый тест ходьбы, тест «Встань и иди»).

Имелись ограничения движений в поясничном отделе позвоночника по всем осям движения (на 15–18 %, больше ограничения — справа). У пациентки отмечается умеренно выраженная тревожность, подтвержденная показателями шкалы Спилбергера — Ханина; при этом субъективно и в ходе беседы выявляется общий депрессивный фон, снижены показатели качества жизни по всем шкалам SF-36, причем психоэмоциональное здоровье страдает в большей степени, чем физическое.

Пациентке был проведен 10-дневный комплекс реабилитационных мероприятий, включающих следующие процедуры:

- тренировка навыков саморегуляции и функции баланса пациентки на стабилоплатформе при движениях в заданных плоскостях с БОС;
- тренировка правильного стереотипа походки и равновесия на интерактивной сенсорной беговой дорожке;
- ЛФК и классический лечебный массаж поясничного отдела позвоночника;
- низкоинтенсивная лазеротерапия инфракрасным излучением (НИЛИ);
- ритмическая магнитная стимуляция;
- роботизированная механотерапия.

Занятия на стабилоплатформе продолжительностью по 20 минут представляли собой тренировку навыков саморегуляции и функции баланса пациента при движениях в заданных плоскостях с БОС. Стабилоплатформа Tymo (Tyromotion GmbH, Австрия) предоставляет возможность движения в разных плоскостях с оценкой состояния баланса пациента в реальном времени (БОС) [19]. Информация с датчиков платформы помогает точно оценивать степень нарушения баланса, координации движений и постановки стопы в статическом или динамическом режиме. По результатам оценки платформа выдает индивидуальную программу нагрузок, их последовательность, направленность движений. Изменения положения платформы позволяют тренирующе воздействовать на различные участки мышц, улучшая двигательную функцию. Занятия посредством БОС во-

влекают пациента в процесс с помощью интерактивных мотивационных игр, приносят удовольствие. Все данные пациента сохраняются в динамике в соответствующей базе платформы в режиме онлайн.

Также в комплекс воздействий входили 25-минутные занятия на интерактивной сенсорной беговой дорожке — эргометре C-Mill (Motek Medical B.V., Нидерланды).

Кроме того, проводили занятия ЛФК и процедуры классического лечебного массажа поясничного отдела позвоночника с учетом тонуса скелетных мышц, подлежащих воздействию.

Проводились процедуры НИЛИ с длиной волны 0,89 мкм, паравертебрально на поясничный отдел позвоночника по стабильной методике, 50 Гц, 50 Вт, по 8–10 минут (фотобиомодуляция тканей) от аппарата «Азор 2К-02» (Азор, Россия), и ритмическая магнитная стимуляция на поясничный отдел позвоночника контактно в болевой зоне, частота — 1 Гц, 100 стимулов в трейне, пауза — 5 с, общее количество стимулов — 1500, с учетом предварительно определяемого индивидуального порога вызванного моторного ответа с сохранением безболевых ощущений пациента.

Роботизированную механотерапию проводили на 3D-тренажере с БОС Pegasus Physiomed (Physiomed, Германия) [20] для тренировки баланса, координации, сенсомоторной функции позвоночника, целенаправленно воздействуя на мышцы грудного и поясничного отделов в трех плоскостях с индивидуально возрастающей нагрузкой. Тренажер обеспечил точную оценку гибкости и мышечной силы пациентки с выявлением ее нейромышечных дефицитов, с учетом которых далее строили программу индивидуальной тренировки, реализуя общую стабилизацию спины, контролируя активацию глубокой, аутохтонной мускулатуры спины, мышц живота и груди, синергически воздействуя на анализатор равновесия, сенсомоторные системы поясничного, грудного, шейного отделов позвоночника, фиксируя динамику результатов. Воспроизводили пассивные движения под контролем БОС: сгибание-разгибание, скручивание, ротацию, латерофлексию в поясничном отделе с одновременным вращением верхней части тела в индивидуально рассчитанных программой плоскостях и направлениях.

Процедуры переносились пациенткой хорошо. Уже после 5-го дня от начала курса воздействий отмечена положительная динамика в виде уменьшения болевого синдрома (на 2 балла по визуальной аналоговой шкале боли), увеличения объема движений в поясничном отделе (на 5–7 %).

К окончанию 10-дневного курса отмечено увеличение объема движений в поясничном отделе по сравнению с начальным уровнем на 15–30 % по разным осям, увеличение силы мышц спины, живота, бедра и голени до нормальной, кратное уменьшение площади статокинезиограммы и значений среднеквадратического отклонения общего центра давления, нормализация походки.

По данным шкалы Спилбергера — Ханина, тревожность купирована, SF-36 — улучшение по всем шкалам опросника.

При контрольных обследованиях через 6 и 12 месяцев после проведенного курса у пациентки не отмечалось ухудшения функций и обострений болевого синдрома.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный клинический случай свидетельствует о достижении быстрого положительного эффекта при осуществлении предлагаемого комплекса реабилитационных воздействий, позволяющего купировать выраженность постоперационных нарушений со стороны поясничного отдела у данной пациентки как в физическом, так и в психоэмоциональном плане. Инновационные технологии служат поддержанию высокого комплаенса и, как следствие, приводят к стойкому сохранению положительных реабилитационных результатов.

Таким образом, по нашему мнению, более активное внедрение в систему реабилитации пациентов после операций декомпрессии поясничного отдела позвоночника инновационных физиотерапевтических и роботизированных, игровых методов воздействия позволяет реализовать сразу несколько важных аспектов, имеющих стратегическое социально-медицинское значение:

- сократить расходы на применение традиционных методик в комплексах реабилитационных воздействий;
- добиться быстрых и значительных реабилитационных эффектов и адекватной социализации пациентов;
- улучшить комплаенс, переносимость пациентами реабилитации даже в сложных случаях операций на поясничном отделе.

По материалам исследования группы пациентов, находившихся на реабилитации с использованием перечисленных инновационных методов, авторами подана российская патентная заявка на изобретение № 2026120570 от 01.07.2026 «Способ медицинской реабилитации после операции декомпрессии поясничного отдела позвоночника».

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Пурдык Юлия Вячеславовна, и.о. заведующего отделением, врач физической и реабилитационной медицины, врач-невролог, отделение медицинской реабилитации взрослых для пациентов с соматическими заболеваниями, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
E-mail: purdykyv@nmicrk.ru;
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-0686-6342

Кончугова Татьяна Венедиктовна, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, отдел физиотерапии и рефлексотерапии, заведующий кафедрой восстановительной медицины, физической терапии и медицинской реабилитации, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0991-8988

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

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: Пурдык Ю.В. — написание черновика рукописи, обеспечение материалов для исследования, анализ данных; Кончугова Т.В., Марченкова Л.А. — проверка и редактирование рукописи, курирование проекта.
Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.
Конфликт интересов. Кончугова Т.В. — заместитель главного редактора журнала «Вестник восстановительной медицины». Марченкова Л.А. — председатель редакционного совета журнала «Вестник восстановительной медицины». Пурдык Ю.В. декларирует 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, а также Хельсинкской декларации в редакции 2013 г. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России (Протокол № 7 от 29.08.2024).
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

Yulia V. Purdyk, Acting Head of the Department, Physician of Physical and Rehabilitation Medicine, Neurologist, Department of Medical Rehabilitation of Adults for Patients with Somatic Diseases, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
E-mail: purdykyv@nmicrk.ru;
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-0686-6342
Tatiana V. Konchugova, D.Sc. (Med.), Professor, Chief Researcher, Department of Physiotherapy and Reflexology, Head of the Department of Rehabilitation Medicine, Physical Therapy and Medical Rehabilitation, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0991-8988
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 of 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

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: Purdyk Yu.V. — writing — original draft; resources, formal analysis; Marchenkova L.A., Konchugova T.V. — writing — review & editing, supervision.
Funding. This study was not supported by any external funding sources.
Disclosure. Konchugova T.V. — Deputy Editor-in-Chief of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal. Marchenkova L.A. — Chair of the Editorial Council of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal. Purdyk Yu.V. declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.
Ethics Approval. The authors state that all the procedures used in this article comply with the ethical standards of the institutions that conducted the study, as well as the Helsinki Declaration, as amended in 2013. The study was approved by the local ethics committee of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology (Moscow, Russia) (Protocol No. 7 dated August 29, 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 reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

1. Никитин А.С., Асратян С.А., Камчатнов П.Р. Стеноз поясничного отдела позвоночного канала. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2015; 115(7): 130–140. https://doi.org/10.17116/jnevro201511571130-140 [Nikitin A.S., Asratyan S.A., Kamchatnov P.R. Stenosis of the vertebral canal in the lower spine. S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2015; 115(7): 130–140. https://doi.org/10.17116/jnevro201511571130-140 (In Russ.).]
2. Giggins O.M., Persson U.M., Caulfield B. Biofeedback in rehabilitation. J NeuroEngineering Rehabil. 2013; 10: 60. https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-60
3. Сичинава Н.В., Стяжкина Е.М., Гуркина М.В. и др. Физическая реабилитация больных с дорсопатиями после декомпрессионных операций на пояснично-крестцовом отделе позвоночника. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2013; 90(6): 18–22. [Sichinava N.V., Styazhkina E.M., Gurkina M.V., et al. Physical rehabilitation of the patients presenting with dorsopathies following decompression surgery at the lumbosacral spinal level. Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy. 2013; 90(6): 18–22 (In Russ.).]

4. Толстая С.И., Ноздрин В.М., Цоцонава Ж.М. и др. Реабилитация больных после микродискэктомии на поясничном отделе позвоночника. Прикаспийский вестник медицины и фармации. 2025; 6(4): 21–30. https://doi.org/10.17021/2712-8164-2025-4-21-30 [Tolstaya S.I., Nozdrin V.M., Tsotsonava Zh.M., et al. Rehabilitation of patients after microdiscectomy on the lumbar spine. Caspian Journal of Medicine and Pharmacy. 2025; 6(4): 21–30. https://doi.org/10.17021/2712-8164-2025-4-21-30 (In Russ.).]
5. Ефимов Д.В., Горнов С.В., Люлин С.В. и др. Оценка эффективности медицинской реабилитации пациентов после декомпрессивных операций на поясничном отделе позвоночника при дегенеративных процессах. Материалы научно-практической конференции, посвященной 95-летию филиала клинический санаторий «Марфинский» ФГБУ «Санаторно-курортный комплекс «Подмосковье» МО РФ. М.: Проспект. 2025: 97–100. [Efimov D.V., Gornov S.V., Lyulin S.V., et al. Evaluation of the effectiveness of medical rehabilitation of patients after decompressive operations on the lumbar spine in degenerative processes. In: Proceedings of the Scientific and Practical Conference Dedicated to the 95th Anniversary of the Branch Clinical Sanatorium "Marfinsky" of the Federal State Budgetary Institution "Sanatorium-Resort Complex "Podmoskovye" of the Ministry of Defense of the Russian Federation. M.: Prospekt Publishing House. 2025: 97–100 (In Russ.).]
6. Яриков А.В., Шпагин М.В., Мереджи А.М. и др. Спинальный поясничный стеноз (анализ литературы и собственные результаты). Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. 2021; 8: 594–613. https://doi.org/10.33920/med-01-2108-03 [Yarikov A.V., Shpagin M.V., Meredzhi A.M., et al. Spinal lumbar stenosis (analysis of the literature and own results). Bulletin of neurology, psychiatry and neurosurgery. 2021; 8: 594–613. https://doi.org/10.33920/med-01-2108-03 (In Russ.).]
7. Druszcz A., Miś M., Paprocka-Borowicz M., et al. Comparative Analysis of Early and Long-Term Outcomes of Patients with Degenerative Lumbar Spine Disease Using the DIAM Stabilizer and Standard Rehabilitation Program: A Preliminary Prospective Randomized Controlled Trial with 1-Year Follow-Up. Healthcare. 2023: 11(22): 2956. https://doi.org/10.3390/healthcare11222956
8. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Пестряков Ю.Я. и др. Дегенерация и дегенеративное заболевание смежного сегмента после дорсальных декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств на поясничном отделе позвоночника: обзор литературы. Российский нейрохирургический журнал имени профессора А.Л. Поленова. 2020; 12(3): 37–46 [Byvaltsev V.A., Kalinin A.A., Pestryakov Yu.Y., et al. Adjacent segment degeneration and disease after dorsal decompression stabilizing interventions at the lumbar spine: a review of the literature. Russian Neurosurgical Journal named after Professor A.L. Polenov. 2020; 12(3): 37–46 (In Russ.).]
9. Kurz E., Schenk Ph., Brakopp F., et al. Muscle activity and rehabilitation in spinal stenosis (MARSS) after conservative therapy and surgical decompression with or without fusion: Protocol for a partially randomized patient preference trial on rehabilitation timing. Contemporary Clinical Trials Communications. 2024; 38: 101273. https://doi.org/10.1016/j.conctc.2024.101273
10. Кончугова Т.В., Пурдык Ю.В. Актуальные вопросы реабилитации пациентов после декомпрессии поясничного отдела позвоночника при поясничном спинальном стенозе дегенеративной этиологии. Врач. 2026; 8: 74. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-08-XII-International-Congress-Balneotherapy [Konchugova T.V., Purdyk Yu.V. Current issues of rehabilitation of patients after spinal decompression in the lumbar spine with lumbar spinal stenosis of degenerative etiology. Vrach. 2026; 8: 74. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-08-XII-International-Congress-Balneotherapy (In Russ.).]
11. McIlroy S., Jadhakhan F., Bell D., et al. Prediction of walking ability following posterior decompression for lumbar spinal stenosis. European Spine Journal. 2021; (30)11: 3307–3318. https://doi.org/10.1007/s00586-021-06938-6
12. Lee B.H., Moon S.-H., Suk K.-S., et al. Lumbar Spinal Stenosis: Pathophysiology and Treatment Principle: A Narrative Review. Asian Spine Journal. 2020; 14(5): 682–693. https://doi.org/10.31616/asj.2020.0472
13. Sakaguchi T., Gunjotikar Sh., Tanaka M., et al. Evaluation and Rehabilitation after Adult Lumbar Spine Surgery. J Clin Med. 2024; 13(10): 2915. https://doi.org/10.3390/jcm13102915
14. Chang C.-W., Lee S.-T., Chen C.-Y., et al. Functional recovery of early rehabilitation in the elderly patients after lumbar decompression surgery: a short-term follow up. Physiotherapy. 2015; 101(1): e212. https://doi.org/10.1016/j.physio.2015.03.379
15. Özden F. The Effect of Exercise Interventions After Lumbar Decompression Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. World Neurosurgery. 2022; 167: e904–e921. https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.08.103
16. Comer P., Williamson E., McIlroy S., et al. Exercise treatments for lumbar spinal stenosis: A systematic review and intervention component analysis of randomised controlled trials. Clinical Rehabilitation. 2024; 38(3): 361–374. https://doi.org/10.1177/02692155231201048
17. Головина Т.В. Технология лечения грыжи межпозвонкового диска с применением аппаратов DRX9000 и DRX9500. Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2017; 4(2–14): 155–158. https://doi.org/10.12737/article_5a1f9a4a9cd8a1.83186105 [Golovina T.V. Technology of hernia treatment of intervertebral disc using apparatus DRX9000 and DRX9500. Journal of New Medical Technologies. Electronic Edition. 2017; 4(2–14): 155–158. https://doi.org/10.12737/article_5a1f9a4a9cd8a1.83186105 (In Russ.).]
18. Котельникова А.В., Погонченкова И.В., Даминов В.Д. и др. Виртуальная реальность в коррекции болевого синдрома у пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями крупных суставов и позвоночника. Вестник восстановительной медицины. 2020; 96(2): 41–48. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2020-96-2-41-48 [Kotelnikova A.V., Pogonchenkova I.V., Daminov V.D., et al. Virtual reality in the correction of pain syndrome in patients with degenerative-dystrophic joints and spine diseases. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2020; 96(2): 41–48. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2020-96-2-41-48 (In Russ.).]
19. Жаворонков Р.А., Яковлев М.Ю. Влияние занятий на баланс-платформе с биологической обратной связью на параметры походки по данным видеоанализа у пациентов после пластики передней крестообразной связки. Врач. 2026; 7: 17. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-07-IX-International-Congress-Balneotherapy [Zhavoronkov R.A., Yakovlev M.Yu. The effect of balance platform training with biofeedback on gait parameters based on motion analysis in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. Vrach. 2026; 7: 17. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-07-IX-International-Congress-Balneotherapy (In Russ.).]
20. Кузнецов К.Д., Марченкова Л.А. Влияние комплексной реабилитации с применением роботизированной механотерапии и высокоинтенсивной магнитной стимуляции на биомеханику ходьбы у пациентов с вторичной саркопенией после перенесенного инсульта. Врач. 2026; 6: 88–93. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-06-17 [Kuznetsov K.D., Marchenkova L.A. Effect of complex rehabilitation using robotic mechanotherapy and high-intensity magnetic stimulation on the biomechanics of walking in patients with secondary sarcopenia after a stroke. Vrach. 2026; 6: 88–93. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-06-17 (In Russ.).]

Оригинальная статья / Original article
DOI: https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-61-69

Регуляция функциональной активности фибробластов нанокристаллами целлюлозы: результаты экспериментального исследования *in vitro*

Марков П.А.[1,*], Ерёмин П.С.[1], Торлопов М.А.[2], Михайлов В.И.[2]

[1] Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия
[2] Институт химии Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Посттравматический фиброз является сложным патофизиологическим процессом. Одной из причин возникновения и прогрессирования заболевания является нарушение функциональной активности фибробластов. Поиск биоматериалов, способных модулировать этот клеточный переход в сторону продуктивной регенерации, является одной из приоритетных задач восстановительной медицины и биоинженерии.

ЦЕЛЬ. Оценить биосовместимость нанокристаллов целлюлозы (НКЦ) в отношении фибробластов человека *in vitro* и изучить их модулирующее действие на TGF-β1-индуцированную трансформацию фибробластов в миофибробластный фенотип с оценкой экспрессии α-гладкомышечного актина, коллагена I типа и фибронектина.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. С использованием световой и люминесцентной микроскопии, методов иммуноцитохимии, иммуноферментного анализа (ИФА) и проточной цитометрии оценивали морфологию фибробластов, количество апоптотических клеток, фазы клеточного цикла, экспрессию α-актина гладких мышц (α-SMA), коллагена (COL1a1) и фибронектина (Fn).

РЕЗУЛЬТАТЫ. Выявлено, что культивирование фибробластов в средах с концентрацией НКЦ от 5 до 2,5 мг/мл приводит к гибели клеток; снижение концентрации НКЦ до 1,25 мг/мл и менее не оказывает цитотоксического действия на фибробласты человека. Установлено, что совместное культивирование фибробластов с НКЦ в концентрации 0,5 мг/мл не вызывает изменений в соотношении живых, апоптотических и мертвых клеток и в распределении клеток в фазах клеточного цикла. Внесение в культуральную среду трансформирующего ростового фактора β-1 (TGF-β1) вызывает увеличение количества α-SMA с 67 ± 7 нг/мл до 166 ± 9 нг/мл, COL1a1 — с 3,4 ± 0,5 нг/мл до 7 ± 1 нг/мл и Fn — с 156 ± 15 нг/мл до 384 ± 27 нг/мл. Выявлено, что НКЦ подавляют функциональный клеточный ответ фибробластов человека на стимуляцию TGF-β1.

ОБСУЖДЕНИЕ. Присутствие в культуральной среде полисахаридных нанокристаллов ингибирует дифференцировку фибробластов в миофибробластный фенотип, на что указывает низкое содержание α-SMA и белков внеклеточного матрикса — COL1a1 и Fn.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Представленные в работе результаты расширяют понимание механизмов и способов регуляции функциональной активности клеток, в том числе с целью профилактики посттравматических или послеоперационных фиброзных контрактур, и могут стать основой для разработки новых поколений биоматериалов для восстановительной медицины.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нанокристаллы целлюлозы, посттравматический фиброз, регенерация, восстановительная медицина, коллаген, фибронектин, α-SMA

Для цитирования / For citation: Марков П.А., Ерёмин П.С., Торлопов М.А., Михайлов В.И. Регуляция функциональной активности фибробластов нанокристаллами целлюлозы: результаты экспериментального исследования in vitro. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(5):61–69. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-61-69 [Markov P.A., Eremin P.S., Torlopov M.A., Mikhaylov V.I. Regulation of Fibroblast Functionality Through Cellulose Nanocrystals: Findings from an in vitro Experimental Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):61–69. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-61-69 (In Russ.).]

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

Статья получена: 17.08.2026
Статья принята к печати: 31.08.2026
Статья опубликована: 23.10.2026

© 2026, Марков П.А., Ерёмин П.С., Торлопов М.А., Михайлов В.И.
Эта статья открытого доступа по лицензии CC BY-NC-SA 4.0. Издательство: ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

Regulation of Fibroblast Functionality Through Cellulose Nanocrystals: Findings from an *in vitro* Experimental Study

Pavel A. Markov[1,*], Petr S. Eremin[1], Mikhail A. Torlopov[2], Vasily I. Mikhaylov[2]

[1] *National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia*
[2] *Institute of Chemistry of Federal Research Centre "Komi Science Centre of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences", Syktyvkar, Russia*

ABSTRACT

INTRODUCTION. Post-traumatic fibrosis is a complex pathophysiological process. One of the causes of the onset and progression of the disease is the dysregulation of fibroblast functional activity. The search for biomaterials capable of modulating this cellular transition toward productive regeneration is one of the priority tasks of rehabilitation medicine and bioengineering.

AIM. To evaluate the biocompatibility of cellulose nanocrystals with human fibroblasts *in vitro* and to study their modulatory effect on TGF-β1-induced fibroblast-to-myofibroblast transformation by assessing the expression of α-smooth muscle actin, type I collagen, and fibronectin.

MATERIALS AND METHODS. The morphology of fibroblasts, the number of apoptotic cells, cell cycle phases, and the expression of smooth muscle alpha-actin (α-SMA), collagen (COL1a1) and fibronectin (Fn) were assessed using light and fluorescence microscopy, immunocytochemistry, enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) and flow cytometry.

RESULTS. Culturing fibroblasts in media with cellulose nanocrystals (CNC) at concentrations between 5 and 2.5 mg/ml results in cell death. However, reducing the CNC concentration to 1.25 mg/ml or below does not have a cytotoxic effect on human fibroblasts. Furthermore, co-culturing fibroblasts with CNC at a concentration of 0.5 mg/ml does not alter the ratio of live, apoptotic, and dead cells, nor does it affect the distribution of cells across different cell cycle phases. When transforming growth factor beta-1 (TGF-β1) is added to the culture medium, it increases the levels of α-SMA from 67 ± 7 ng/mL to 166 ± 9 ng/mL, COL1a1 from 3.4 ± 0.5 ng/mL to 7 ± 1 ng/mL, and Fn from 156 ± 15 ng/mL to 384 ± 27 ng/mL. It was found that CNCs suppress the functional cellular response of human fibroblasts to TGF-β1 stimulation.

DISCUSSION. The presence of polysaccharide nanocrystals in the culture medium inhibits fibroblast differentiation toward the smooth muscle phenotype, as indicated by low levels of α-SMA and extracellular matrix proteins COL1a1 and fibronectin.

CONCLUSION. The results presented in this work expand the understanding of the mechanisms and approaches for regulating cell functional activity, including for the prevention of post-traumatic or postoperative fibrotic contractures, and may serve as a basis for the development of new generations of biomaterials for rehabilitation medicine.

KEYWORDS: cellulose nanocrystals, post-traumatic fibrosis, regeneration, rehabilitation medicine, collagen, fibronectin, α-SMA

For citation: Markov P.A., Eremin P.S., Torlopov M.A., Mikhaylov V.I. Regulation of Fibroblast Functionality Through Cellulose Nanocrystals: Findings from an in vitro Experimental Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):61–69. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-61-69 (In Russ.).

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

Received: 17.08.2026
Accepted: 31.08.2026
Published: 23.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

Посттравматический фиброз является сложным патофизиологическим процессом, результатом которого является образование обильного фибринового матрикса, который, как каркас, пронизывает не только зону раны, но и окружающие здоровые ткани (мышцы, фасциальные пространства). В результате развиваются хроническое местное воспаление, контрактура и дисфункция мышц, а также нарушаются лимфо- и кровоток [1, 2].

Одной из причин возникновения и прогрессирования заболевания является нарушение функциональной активности фибробластов. Фибробласты представляют собой веретенообразные клетки, секретирующие белки внеклеточного матрикса, включая коллаген I и III типов, а также протеогликаны и эластин. Фибробласты играют решающую роль в поддержании структурной целостности большинства тканей, включая кожные покровы. Кроме того, фибробласты необходимы для восстановления тканей после повреждения, а также участвуют в формировании грануляционной ткани и ремоделировании внеклеточного матрикса. При этом фибробласты грануляционной ткани характеризуются миофибробластическим фенотипом, отличительной чертой которого является экспрессия α-актина гладких мышц (α-SMA), и повышенной генерацией белков внеклеточного матрикса [3]. Чрезмерно активная и неконтролируемая трансформация фибробластов в миофибробласты под действием трансформирующего фактора роста β-1 (TGF-β1), с гиперпродукцией коллагена I типа (COL1a1) и фибронектина (Fn), лежит в основе как физиологического заживления, так и формирования рубцовых контрактур, спаек и дисфункциональных ремоделирований, которые существенно ограничивают эффективность реабилитации [1, 4].

Таким образом, фибробласты могут выступать клетками-мишенями в профилактике и лечении посттравматических или послеоперационных фиброзных контрактур в мягких тканях. Современные варианты лечения

гипертрофических рубцов, включая хирургию, местные средства и физиотерапию, показали ограниченный успех и позволяют добиться лишь минимальных улучшений [5]. В связи с этим поиск биоматериалов, способных модулировать этот клеточный переход в сторону продуктивной регенерации, является одной из приоритетных задач экспериментальной медицины и биоинженерии. Разработка новых стратегий немедикаментозного лечения и профилактики возникновения фиброзных заболеваний согласуется с новой парадигмой современной медицины — регенеративной реабилитацией [6].

Нанокристаллы целлюлозы (НКЦ) — биосовместимые, биодеградируемые и доступные полисахаридные наночастицы — активно исследуются как компоненты скаффолдов, гидрогелей и покрытий для тканевой инженерии [7–9]. Ранее нами было показано, что интеграция НКЦ в состав альгинатного гидрогеля придает ему не только новые физико-химические и механические свойства, но и новые биологические свойства, а именно стимулирует колонизацию гидрогеля фибробластами [10]. Однако влияние НКЦ на функциональный ответ фибробластов, особенно на TGF-β1-индуцированную дифференцировку и продукцию белков внеклеточного матрикса, остается практически неизученным, что препятствует обоснованному применению НКЦ в реабилитационно-ориентированных регенеративных технологиях.

ЦЕЛЬ

Оценить биосовместимость НКЦ в отношении фибробластов человека *in vitro* и изучить их модулирующее действие на TGF-β1-индуцированную трансформацию фибробластов в миофибробластный фенотип с оценкой экспрессии α-гладкомышечного актина, коллагена I типа и фибронектина.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России с января по март 2026 г. В работе использовали НКЦ, предоставленные Институтом химии Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (Сыктывкар, Россия). Наночастицы стержневидных полисахаридов получены с помощью разработанного метода кислотно-катализируемого сольволиза целлюлозы. Типичное изображение НКЦ представлено на рисунке 1 [11].

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

Навески НКЦ обрабатывали 30 % раствором этанола и высушивали в стерильных условиях при 37 °C. Затем готовили маточные растворы, растворяя навеску в 5 мл DMEM-F12. Раствор НКЦ вносили в 25 см^3 культуральный флакон с предварительно адгезированными фибробластами, с плотностью посева > 75 % монослоя, культивирование клеток проводили в стандартных условиях (37 °C, 5 % CO_2), в полной питательной среде DMEM-F12 (Gibco, США) с добавлением 10 % эмбриональной телячьей сыворотки (Gibco, США). Конечная концентрация НКЦ в культуральной среде при инкубации с фибробластами человека составляла от 5 мг/мл до 0,075 мг/мл.

Морфометрические характеристики клеток оценивали методом световой и люминесцентной микроскопии (Leica Microsystems, Германия). Для визуализации клеток использовали ацетоксиметиловый эфир кальцеина (Calcein AM Cell Viability Assay Kit, Servicebio, Китай) и синий флюоресцентный краситель DAPI (4′,6-диамидино-2-фенилиндол, Lumiprobe, Россия).

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

Анализ клеточного цикла проводили методом проточной цитофлуориметрии с использованием коммерческого набора Kit CellCycle (BD Pharmingen, США). Распределение клеток оценивали по трем основным фазам: G0/G1 (фаза покоя и предсинтетического роста), S (синтетическая фаза) и G2/M (постсинтетическая фаза и митоз).

Для индукции процессов дифференцировки фибробластов применяли TGF-β1. Конечная концентрация TGF-β1 в культуральной среде составляла 10 нг/мл. В качестве отрицательного контроля в культуральные среды вносили эквивалентное количество DPBS. Инкубировали 96 часов в стандартных условиях (37 °C, 5 % CO_2). Общее количество повторов для каждого образца — 5 шт. Оценку завершенности дифференцировки фибробластов проводили с использованием люминесцентной микроскопии с двойным окрашиванием фибробластов антителами к α-SMA, меченными красным флюоресцентным красителем — пропидиума йодидом (PI-At-α-SMA, Cloud-Clone Corp., Китай) и DAPI, а также по количеству α-SMA в лизате клеток, используя для этого метод иммуноферментного анализа (ИФА). Количество α-SMA, COL1a1 и Fn оценивали с использованием коммерческих ИФА-наборов для определения α-SMA (Cloud-Clone Corp.), COL1a1 (Cloud-Clone Corp.) и Fn (Cloud-Clone Corp.). Исследование проводили согласно протоколу производителя, а именно: вносили 100 мкл

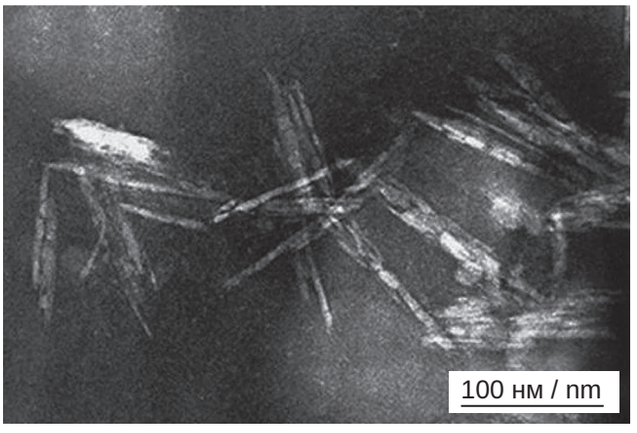


Рис. 1. Типичное изображение стержневидных нанокристаллов целлюлозы [11]
Fig. 1. Representative image of rod-shaped cellulose nanocrystals [11]

стандарта или образца в каждую лунку планшета из набора, инкубировали 1 час при 37 °C. Аспирировали и вносили 100 мкл подготовленного реагента для обнаружения А. Инкубировали 1 час при 37 °C; промывали буферным раствором из набора производителя. Вносили 90 мкл субстрата, инкубировали 20 минут при 37 °C, затем вносили 50 мкл стоп-раствора и оценивали оптическую плотность раствора при 450 нм на планшетном фотометре iMark (Bio-Rad).

За сутки до внесения исследуемых растворов и индуктора дифференцировки клетки депривировали в среде DMEM-F12, не содержащей FBS. Конечная концентрация исследуемых веществ в культуральной среде при инкубации с фибробластами человека — 0,5 мг/мл, концентрация TGF-β1 — 10 нг/мл. В качестве отрицательного контроля в культуральные среды вносили эквивалентное количество DPBS. Инкубировали 96 часов в стандартных условиях (37 °C, 5 % CO_2). Общее количество повторов для каждого образца — 5 шт.

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

На первом этапе исследования оценивали биосовместимость нанокристаллов, а именно их влияние на морфологию, пролиферативную и метаболическую активность фибробластов человека в условиях *in vitro*.

Через 48 часов культивирования интактные клетки приобретают веретеновидную форму, характерную для фибробластов, клетки распластаны, размеры клеток в популяции сопоставимы между собой (рис. 2А). Клетки равномерно распределены по видимому полю и не имеют признаков старения (гипертрофированных клеток) или апоптоза (округлых сморщенных структур). Фибробласты обладают развитой перинуклеарной областью, яркое свечение которой в результате гидролиза эстеразами ацетоксиметилового эфира кальцеина (Кальцеин АМ) указывает на жизнеспособность клеток и целостность клеточной мембраны (рис. 2В). Полученные результаты демонстрируют, что фибробласты находятся в жизнеспособном состоянии и обладают морфологическими признаками, характерными для этого фенотипа клеток.

Сокультивирование фибробластов с полисахаридными нанокристаллами проводили в концентрациях от 5 мг/мл до 0,075 мг/мл. Выявлено, что культивирование фибробластов в средах с концентрацией НКЦ от 5 мг/мл до 2,5 мг/мл приводит к гибели клеток (рис. 3А, табл. 1). Выявлено, что культивирование фибробластов с НКЦ в концентрации 1,25 мг/мл и менее не вызывает гибель клеток, плотность клеточной популяции и морфология клеток сопоставимы с контролем (рис. 3В, 3С, табл. 1).

Таким образом, выявлены оптимальные концентрации НКЦ в культуральной среде, не оказывающие ингибирующего действия на жизнеспособность фибробластов человека. В дальнейших исследованиях использовали концентрацию полисахаридных нанокристаллов — 0,5 мг/мл. Следующий этап исследований был направлен на детальный анализ клеточного ответа на воздействие полисахаридных нанокристаллов. В частности, оценивали долю апоптотических клеток в популяции и распределение фибробластов по фазам клеточного цикла (G0/G1, S, G2/M).

В контроле через 48 часов культивирования в стандартных условиях количество живых, апоптотических и мертвых клеток в популяции фибробластов составляет 93 ± 2 %, 3 ± 1 % и 6 ± 1 % соответственно (рис. 4А). Установлено, что совместное культивирование фибробластов с НКЦ не вызывает изменений в соотношении живых, апоптотических и мертвых клеток (рис. 4А).

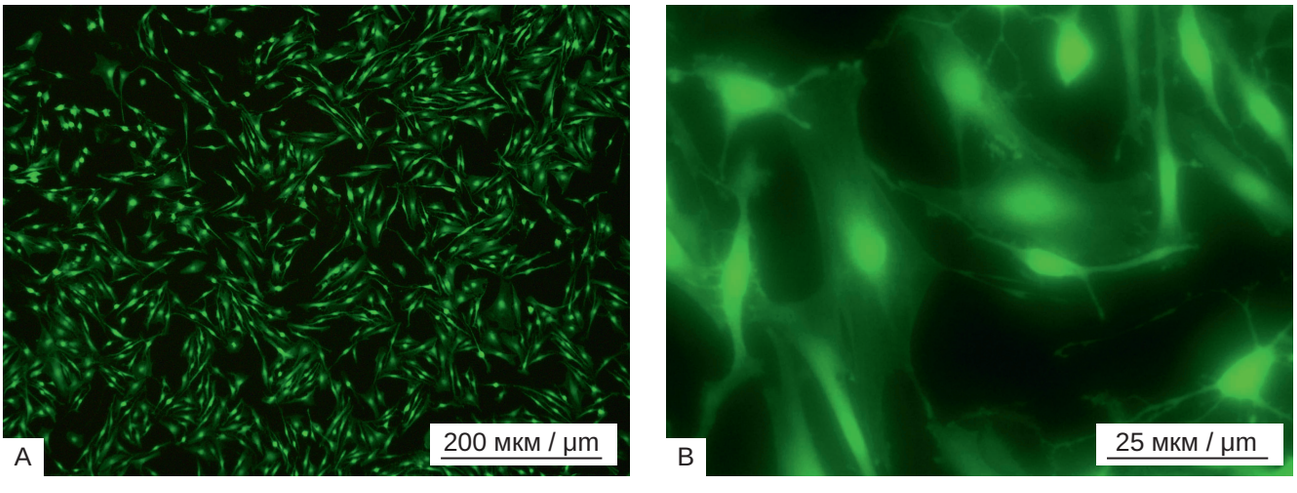


Рис. 2. Типичное изображение популяции фибробластов человека через 48 часов культивирования в стандартных условиях

Fig. 2. Representative images of the human fibroblast population after 48 hours of cultivation under standard conditions

Примечание: *А — люминесцентная микроскопия, окрашивание Кальцеин АМ, увеличение 50×, длина шкалы 200 мкм; В — люминесцентная микроскопия, окрашивание Кальцеин АМ, увеличение 300×, длина шкалы 25 мкм.*

Note: *A — luminescence microscopy, Calcein AM staining, magnification 50×, scale bar 200 μm; B — luminescence microscopy, Calcein AM staining, magnification 300×, scale bar 25 μm.*

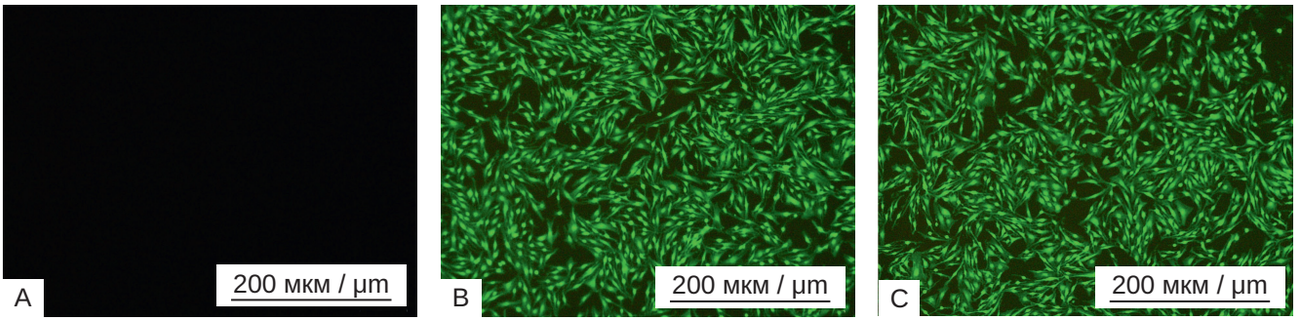


Рис. 3. Типичное изображение популяции фибробластов человека через 48 часов культивирования в средах, содержащих нанокристаллы целлюлозы в концентрации 5 мг/мл (A), 1,25 мг/мл (B) и 0,6 мг/мл (C)
Fig. 3. Representative images of the human fibroblast population after 48 hours of cultivation in media containing cellulose nanocrystals at concentrations of 5 mg/mL (A), 1.25 mg/mL (B), and 0.6 mg/mL (C)

Примечание: *Люминесцентная микроскопия, окрашивание Кальцеин АМ, увеличение 50×, длина шкалы 200 мкм.*
Note: *Luminescence microscopy, Calcein AM staining, magnification 50×, scale bar 200 μm.*

Таблица 1. Количество и длина фибробластов через 48 часов сокультивирования с нанокристаллами целлюлозы
Table 1. Number and length of fibroblasts after 48 hours of co-cultivation with cellulose nanocrystals

Концентрация нанокристаллов целлюлозы, мг/мл / Cellulose nanocrystals concentration, mg/mL	Количество фибробластов, шт./0,04 мм² / Number of fibroblasts, cells/0.04 mm²	Длина клеток, мкм / Cell length, μm
5	0	—
2,50	0	—
1,25	71 ± 7	67 ± 11
0,62	69 ± 5	74 ± 15
0,30	75 ± 9	77 ± 15
0,15	70 ± 10	81 ± 18
0,07	81 ± 10	87 ± 19
0	70 ± 7	76 ± 12

Примечание: *Данные представлены в виде среднего арифметического значения ± стандартное отклонение, n = 7.*
Note: *Data are presented as mean ± standard deviation, n = 7.*

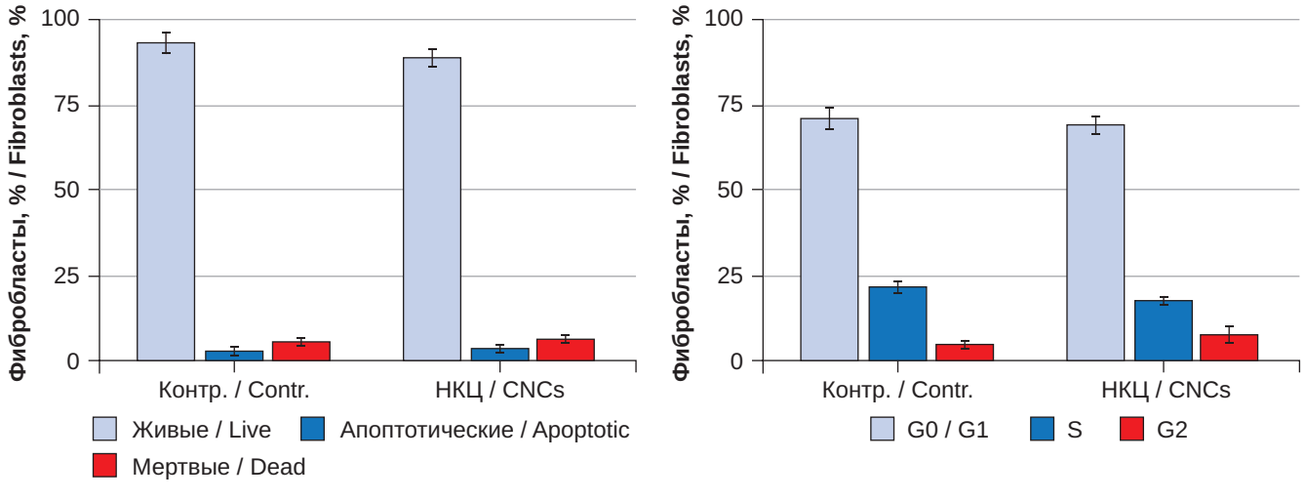


Рис. 4. Количество живых, апоптотических и мертвых фибробластов человека (A) и распределение фибробластов в фазах клеточного цикла (B) через 48 часов инкубации с нанокристаллами целлюлозы
Fig. 4. Number of live, apoptotic, and dead human fibroblasts (A) and cell cycle phase distribution of fibroblasts (B) after 48 hours of incubation with cellulose nanocrystals

Примечание: *Данные представлены в виде среднего арифметического значения ± стандартное отклонение, n = 7.*
Note: *Data are presented as mean ± standard deviation, n = 7.*

При инкубации в стандартной питательной среде 72 ± 3 % клеток популяции фибробластов находятся в фазе покоя и клеточного роста (G0/G1), 22 ± 3 % — в синтетической (S) фазе, 5 ± 1 % — в фазе деления (G2/M) (рис. 4B). Внесение в культуральную среду НКЦ не влияет на распределение клеток по фазам клеточного цикла: в опытных группах доля клеток составляет 70 ± 1 % (G0/G1), 20 ± 3 % (S) и 7 ± 1 % (G2) соответственно (рис. 4B).

На заключительном этапе исследования оценивали действие НКЦ на функциональную активность фибробластов человека, а именно на дифференцировку фибробластов в миофибробласты и генерацию клетками белков внеклеточного матрикса — коллагена I типа и фибронектина.

Для индукции процессов дифференцировки фибробластов применяли TGF-β1. Завершенность процесса дифференцировки фибробластов в миофибробласты оценивали по экспрессии α-SMA, COL1a1 и Fn, используя для этого методы иммуноцитохимии и ИФА.

Добавление TGF-β1 в культуральную среду индуцирует образование α-SMA фибробластами, что регистрировали по флуоресценции клеток, обработанных конъюгированными с флуоресцентной меткой антителами (PI-At-α-SMA). При этом клетки приобретают более плоскую и распластанную форму с широкими лопастевидными отростками; также отмечается формирование межклеточных контактов в виде фибриллярных мостиков (рис. 5A). Сопоставление расположения клеток, окрашенных PI-At-α-SMA (рис. 5A) и визуализированных с помощью DAPI (рис. 5B), показало, что большинство фибробластов экспрессируют α-SMA. Данные морфологические изменения (формирование α-SMA-позитивных стресс-фибрилл, гипертрофия клеток и изменение их формы) свидетельствуют о трансформации фибробластов в миофибробласты под действием TGF-β1.

Визуальная оценка морфологических признаков дифференцировки фибробластов с использованием люминесцентной микроскопии показала, что НКЦ инги-

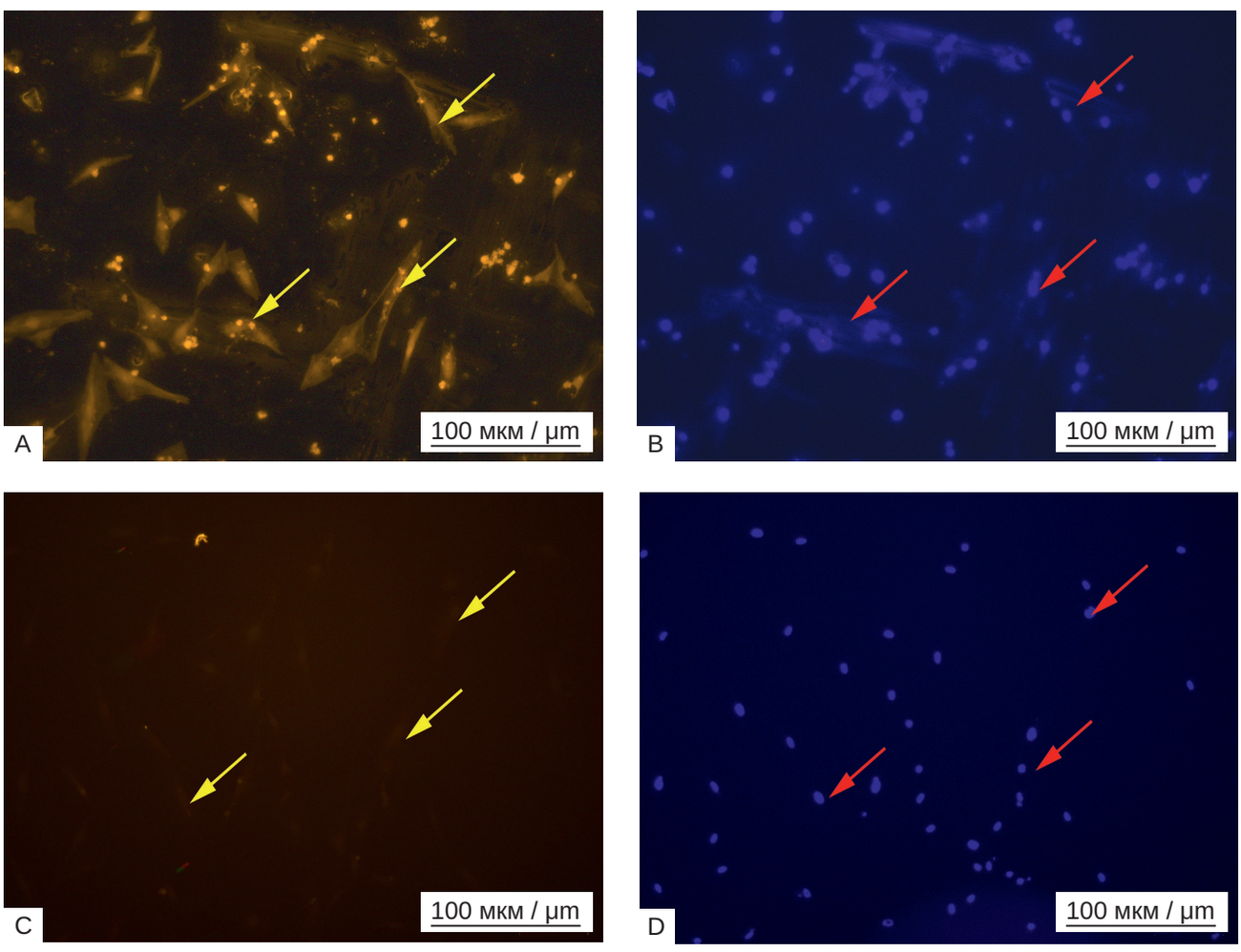


Рис. 5. Фибробласты человека через 96 часов инкубации в средах, содержащих TGF-β1 (A, B), TGF-β1 и нанокристаллы целлюлозы (C, D)

Fig. 5. Human fibroblasts after 96 hours of incubation in media containing TGF-β1 (A, B) and TGF-β1 with cellulose nanocrystals (C, D)

Примечание: *Люминесцентная микроскопия, окрашивание PE-At-α-SMA (A, C) и DAPI (B, D). Желтыми стрелками указаны фибробласты человека, меченные PE-At-α-SMA, красными стрелками — меченные DAPI; увеличение 100×, размер шкалы 100 мкм.*

Note: *Luminescence microscopy, staining with PE-At-α-SMA (A, C) and DAPI (B, D). Yellow arrows indicate human fibroblasts labeled with PE-At-α-SMA, red arrows indicate DAPI-stained cells; magnification 100×, scale bar 100 μm.*

бируют TGF-β1-стимулированную трансформацию фибробластов в миофибробластный фенотип. Практически полное отсутствие флуоресценции после обработки фибробластов PI-At-α-SMA указывает на подавление синтеза α-SMA в клетках (рис. 5C). Обработка клеточной культуры DAPI с последующим ультрафиолетовым возбуждением (350 нм) показывает наличие фибробластов на поверхности культурального пластика (рис. 5D).

Результаты визуальной оценки дифференцировки фибробластов согласуются с результатами оценки количества α-SMA, полученными методом ИФА. В контроле, без стимуляции TGF-β1, концентрация α-SMA в лизатах клеток составляет 67 ± 7 нг/мл (рис. 6A). Внесение в культуральную среду TGF-β1 вызывает увеличение уровня α-SMA до 166 ± 9 нг/мл (рис. 6A). Выявлено, что при сокультивировании фибробластов с НКЦ концентрация α-SMA после стимуляции TGF-β1 не увеличивается и составляет 90 ± 16 нг/мл, что сопоставимо со значениями α-SMA в контрольной среде, не содержащей TGF-β1 (рис. 6A).

Внесение в культуральную среду с фибробластами TGF-β1 вызывает увеличение концентрации COL1a1 с 3,4 ± 0,5 нг/мл до 7 ± 1 нг/мл (рис. 6B). Сокультивирование фибробластов с НКЦ при тех же условиях ингибирует увеличение концентрации COL1a1, его концентрация в средах составляет 1,7 ± 0,2 нг/мл, что на 40–50 % ниже по сравнению с интактными клетками, не обработанными TGF-β1 (рис. 6B).

Под действием TGF-β1 концентрация Fn увеличивается более чем в два раза: с 156 ± 15 нг/мл до 384 ± 27 нг/мл (рис. 6B). Сокультивирование фибробластов с НКЦ предотвращает увеличение концентрации Fn, которая к концу периода наблюдения составляет 89 ± 7 нг/мл, что на 40 % ниже контрольного уровня в средах с интактными клетками (рис. 6C).

Таким образом, результаты люминесцентной микроскопии и ИФА показывают, что НКЦ ингибируют функциональный клеточный ответ фибробластов человека на стимуляцию TGF-β1. Присутствие в культуральной среде полисахаридных нанокристаллов подавляет дифференцировку фибробластов в миофибробластный фенотип, на что указывает низкая экспрессия α-SMA и белков внеклеточного матрикса — COL1a1 и Fn.

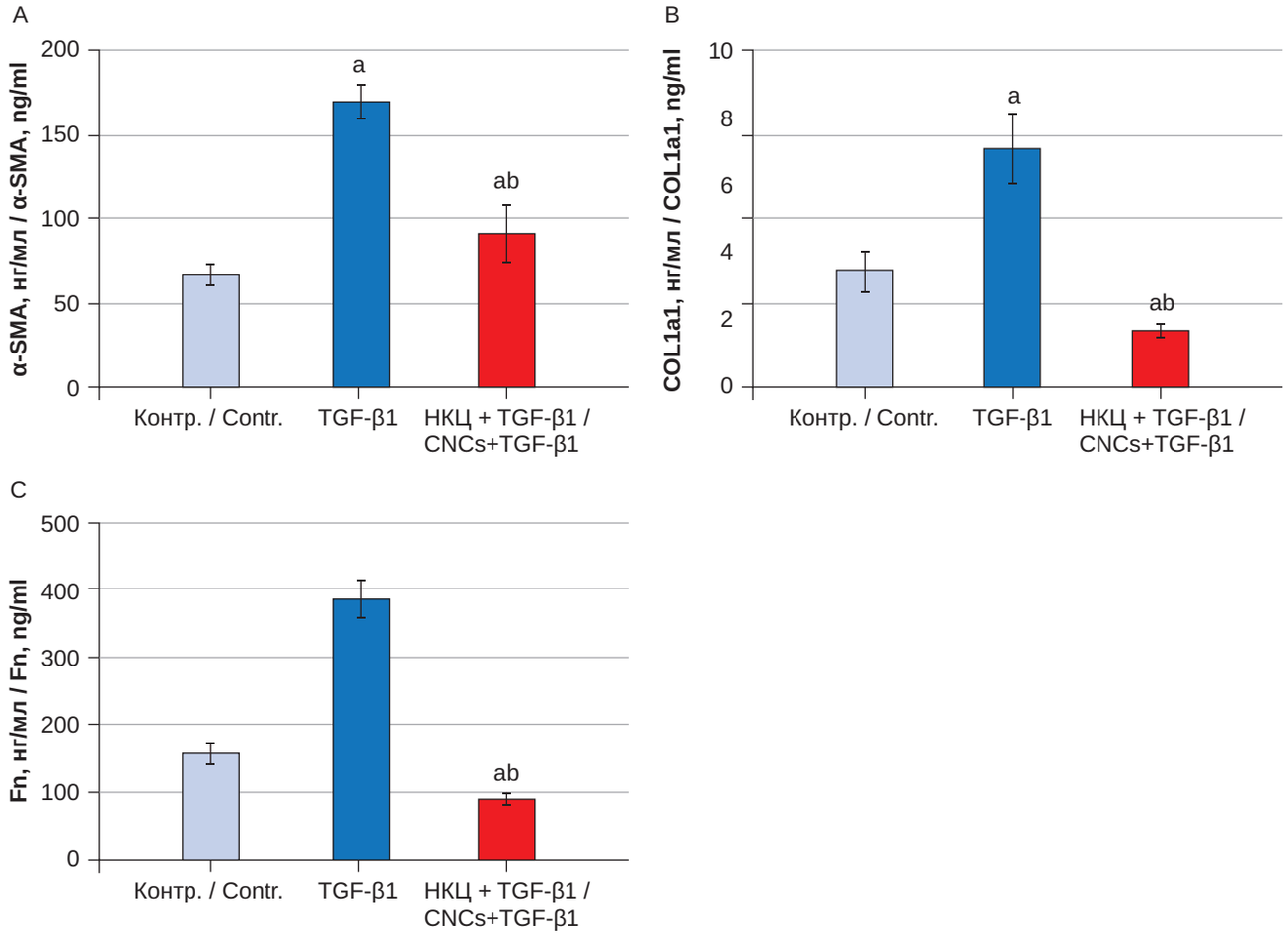


Рис. 6. Концентрация α-SMA (A), COL1a1 (B) и Fn (C) в кондиционированных средах через 96 часов инкубации с нанокристаллами целлюлозы

Fig. 6. Concentration of α-SMA (A), COL1a1 (B), and Fn (C) in conditioned media after 96 h of incubation with cellulose nanocrystals

Примечание: *Данные представлены в виде среднего арифметического значения ± стандартное отклонение, n = 7; a — различия статистически значимы по сравнению с контролем (p < 0,05); b — различия статистически значимы по сравнению с группой TGF-β1 (p < 0,05).*

Note: *Data are presented as mean ± standard deviation, n = 7; a — differences are statistically significant compared with the control (p < 0.05); b — differences are statistically significant compared with the TGF-β1 group (p < 0.05).*

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании проведена комплексная оценка влияния НКЦ, полученных методом кислотно-катализируемого сольволиза, на жизнеспособность, пролиферативную активность и функциональный ответ фибробластов человека *in vitro*. Выявлена концентрация НКЦ в культуральной среде, оптимальная для сохранения жизнеспособности фибробластов человека. Полученные данные согласуются с результатами других авторов, демонстрирующими низкую цитотоксичность НКЦ в отношении фибробластов [12–14]. Вместе с тем выявлена четкая концентрационная зависимость: при увеличении концентрации НКЦ до 2,5 мг/мл и выше наблюдается гибель клеток. Полученные результаты указывают на необходимость строгого контроля дозировки при разработке материалов на основе НКЦ для биомедицинского применения.

Наиболее значимым результатом работы является обнаружение способности НКЦ ингибировать TGF-β1-стимулированную трансформацию фибробластов в миофибробласты и продукцию белков внеклеточного матрикса — COL1a1 и Fn. Завершенность процесса дифференцировки фибробластов в миофибробласты оценивают по экспрессии COL1a1, Fn и α-SMA [15–17]. Присутствие НКЦ не только предотвращало это увеличение, но и приводило к снижению концентрации COL1a1 и Fn ниже контрольных значений, что указывает на возможное подавление базальной секреции этих белков.

Механизмы действия НКЦ на функциональную активность фибробластов пока не известны. Можно предположить несколько объяснений наблюдаемого эффекта. Во-первых, наночастицы целлюлозы способны физически взаимодействовать с клеточной поверхностью и рецепторами, ингибируя передачу сигналов TGF-β/Smad, изменяя фосфорилирование рецепторов и внутриклеточных посредников. Ранее такой механизм действия был описан в отношении нановолокон [18] и углеродных нанотрубок [19]. Не исключено, что НКЦ способны оказывать прямой хелатирующий эффект за счет сродства с рецептором к TGF-β1 [20].

Представленные в работе результаты расширяют понимание механизмов и способов регуляции функциональной активности клеток, в том числе с целью контроля над процессами регенерации ткани и лечения посттравматических или послеоперационных фиброзных контрактур. Способность НКЦ подавлять этот процесс открывает возможности для создания новых антифибротических материалов, которые могут быть использованы в составе раневых покрытий, имплантатов и скаффолдов для тканевой инженерии.

Ограничения исследования

Следует отметить некоторые ограничения настоящей работы. Исследование проведено *in vitro* на культуре фибробластов, что не позволяет в полной мере экстраполировать результаты на сложные тканевые и организменные системы. Кроме того, изучена только одна концентрация НКЦ (0,5 мг/мл) при оценке дифференцировки, тогда как другие концентрации могут оказывать иные эффекты. Также остается открытым вопрос о молекулярных механизмах ингибирующего действия НКЦ, что требует дальнейших исследований с использованием методов молекулярной биологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на указанные ограничения, полученные результаты имеют четкую практическую направленность. НКЦ, обладая высокой биосовместимостью и способностью ингибировать фиброзоподобную дифференцировку фибробластов, могут стать основой для разработки новых поколений биоматериалов для восстановительной медицины.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Марков Павел Александрович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела 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

Ерёмин Петр Серафимович, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории клеточных технологий отдела биомедицинских технологий, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8832-8470

Торлопов Михаил Анатольевич, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Институт химии Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук».
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0991-906X

Михайлов Василий Игоревич, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Институт химии Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук».
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1544-6593

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: Марков П.А. — научное обоснование, написание текста статьи; Ерёмин П.С. — получение и анализ фактических данных, статистическая обработка данных; проверка и редактирование рукописи; Торлопов М.А. — получение и анализ фактических данных, статистическая обработка данных; проверка и редактирование рукописи; Михайлов В.И. — получение и анализ фактических данных, статистическая обработка данных; 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

Pavel A. Markov, Ph.D. (Biol.), Leading Researcher, Department of Biomedical Technologies, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
E-mail: markovpa@nmicrk.ru, p.a.markov@mail.ru;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4803-4803

Petr S. Eremin, Ph.D. (Biol.), 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

Mikhail A. Torlopov, Ph.D. (Chem.), Senior Researcher, Institute of Chemistry of Federal Research Centre "Komi Science Centre of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences".
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0991-906X

Vasily I. Mikhaylov, Ph.D. (Chem.), Senior Researcher, Institute of Chemistry of Federal Research Centre "Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences".
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1544-6593

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: Markov P.A. — conceptualization; writing — original draft; Eremin P.S. — investigation; writing — review & editing; Torlopov M.A. — investigation; writing — review & editing; Mikhaylov V.I. — investigation; 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

1. Fertala J., Wang M.L., Rivlin M., et al. Extracellular Targets to Reduce Excessive Scarring in Response to Tissue Injury. Biomolecules. 2023; 13(5): 758. https://doi.org/10.3390/biom13050758
2. Disser N.P., Yu J.S., Yao V.J.H., Rodeo S.A. Pharmacological Therapies for Connective Tissue Fibrosis in Orthopaedics. Am J Sports Med. 2023; 51(10): 2766–2773. https://doi.org/10.1177/03635465221116358
3. Yoshida G.J. Regulation of heterogeneous cancer-associated fibroblasts: the molecular pathology of activated signaling pathways. J Exp Clin Cancer Res. 2020; 39(1): 112. https://doi.org/10.1186/s13046-020-01611-0
4. Younesi F.S., Miller A.E., Barker T.H., et al. Fibroblast and myofibroblast activation in normal tissue repair and fibrosis. Nat Rev Mol Cell Biol. 2024; 25(8): 617–638. https://doi.org/10.1038/s41580-024-00716-0
5. Higginbotham S., Workman V.L., Giblin A.V., et al. Inhibition and reversal of a TGF-β1 induced myofibroblast phenotype by adipose tissue-derived paracrine factors. Stem Cell Res Ther. 2024; 15(1): 166. https://doi.org/10.1186/s13287-024-03776-3
6. Rose L.F., Wolf E.J., Brindle T., et al. The convergence of regenerative medicine and rehabilitation: federal perspectives. npj Regen Med. 2018; 3: 19. https://doi.org/10.1038/s41536-018-0056-1
7. Rader C., Fritz P.W., Ashirov T., et al. One-Component Nanocomposites Made from Diblock Copolymer Grafted Cellulose Nanocrystals. Biomacromolecules. 2024; 25(3): 1637–1648. https://doi.org/10.1021/acs.biomac.3c01196
8. Malekpour K., Hazrati A., Khosrojerdi A., et al. An overview to nanocellulose clinical application: Biocompatibility and opportunities in disease treatment. Regen Ther. 2023; 24: 630–641. https://doi.org/10.1016/j.reth.2023.10.006
9. Abdelhamid H.N., Mathew A.P. Cellulose-Based Nanomaterials Advance Biomedicine: A Review. Int J Mol Sci. 2022; 23(10): 5405. https://doi.org/10.3390/ijms23105405
10. Torlopov M.A., Martakov I.S., Mikhaylov V.I., et al. "Revitalizing" Alginate Films: Control of Texture, Hemo- and Cellular Compatibility via Addition of Cellulose Nanocrystals. Polysaccharides. 2025; 6: 43. https://doi.org/10.3390/polysaccharides6020043
11. Torlopov M.A., Martakov I.S., Mikhaylov V.I., et al. A Fenton-like System (Cu(II)/H2O2) for the Preparation of Cellulose Nanocrystals with a Slightly Modified Surface. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2019; 58(44): 20282–20290. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b03226
12. Koshy J.T., Reshmy R., Sangeetha D., et al. Tissue engineered implants derived from sustainable nanocellulose and polyethylene glycol (PEG) loaded with polyphenols: An *in vivo* study on albino rats for wound dressing. Int J Biol Macromol. 2025; 315(Pt 1): 144415. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.144415
13. Shazali N.A.H., Zaidi N.E., Ariffin H., et al. Characterization and Cellular Internalization of Spherical Cellulose Nanocrystals (CNC) into Normal and Cancerous Fibroblasts. Materials. 2019; 12: 3251. https://doi.org/10.3390/ma12193251
14. Okwuwa C.C., Olunusi S.O., Abutu D., et al. Nanocellulose for Sustainable Tissue Engineering: Modification Strategies, Structural Insights, and Innovations for Biomedical Applications. Biopolymers. 2026; 117(2): e70086. https://doi.org/10.1002/bip.70086
15. Mu M., Zuo S., Wu R.M., et al. Ferulic acid attenuates liver fibrosis and hepatic stellate cell activation via inhibition of TGF-β/Smad signaling pathway. Drug Des Devel Ther. 2018; 12: 4107–4115. https://doi.org/10.2147/DDDT.S186726
16. Ding H., Chen J., Qin J., et al. TGF-β-induced α-SMA expression is mediated by C/EBPβ acetylation in human alveolar epithelial cells. Mol Med. 2021; 27(1): 22. https://doi.org/10.1186/s10020-021-00283-6
17. Ji Y., Dou Y.N., Zhao Q.W., et al. Paeoniflorin suppresses TGF-β mediated epithelial-mesenchymal transition in pulmonary fibrosis through a Smad-dependent pathway. Acta Pharmacol Sin. 2016; 37(6): 794–804. https://doi.org/10.1038/aps.2016.36
18. Fu X., Xu M., Jia C., et al. Differential regulation of skin fibroblasts for their TGF-β1-dependent wound healing activities by biomimetic nanofibers. J Mater Chem B. 2016; 4(31): 5246–5255. https://doi.org/10.1039/c6tb00882h
19. Wang P., Wang Y., Nie X., et al. Multiwall carbon nanotubes directly promote fibroblast-myofibroblast and epithelial-mesenchymal transitions through the activation of the TGF-β/Smad signaling pathway. Small. 2015; 11(4): 446–455. https://doi.org/10.1002/smll.201303588
20. Mavlankar G.R., Baikar P.P., Rangadal D.N., et al. Esterification of nanocellulose with ferulic acid: A sustainable approach towards robust antibacterial material. Carbohydr Res. 2026; 559: 109737. https://doi.org/10.1016/j.carres.2025.109737

Оригинальная статья / Original article
DOI: https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-70-82

Ожирение и саркопеническое ожирение в пожилом возрасте: особенности гериатрического статуса и кардиореспираторной выносливости (проспективное контролируемое исследование)

Арефьева М.С.*, Колесникова Е.А., Ерусланова К.А., Остапенко В.С., Рунихина Н.К., Ткачева О.Н.

Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет), Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Саркопеническое ожирение (СО) в пожилом возрасте — недостаточно изученный фенотип, ассоциированный с высоким риском снижения физического функционирования и качества жизни. Отсутствие четких критериев и недостаточная осведомленность о гериатрических проявлениях затрудняют диагностику СО, требуя изучения распространенности и клинико-функциональных особенностей у пожилых для разработки персонализированных подходов ведения.

ЦЕЛЬ. Определить различия клинических, функциональных (с оценкой кардиореспираторной выносливости по данным кардиореспираторного нагрузочного тестирования (КРНТ)), метаболических и социально-бытовых характеристик между пациентами ≥ 60 лет с ожирением и без него, а также в группе ожирения сопоставить подгруппы с СО и ожирением без саркопении для определения фенотипических маркеров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследование проведено на базе Российского геронтологического научно-клинического центра с 2024 по 2026 г. Проанализированы данные 109 пациентов (72,2 ± 6,88 года; 75,2 % женщин; 24,8 % мужчин; 46,8 % с ожирением; 42,2 % со старческой астенией). Всем выполнены комплексная гериатрическая оценка, биоимпедансометрия и КРНТ. Сформированы группы пациентов: с ожирением (n = 51; 72 ± 6,26 года; 80,4 % женщин), без ожирения (n = 58; 72,3 ± 7,44 года; 70,7 % женщин). Среди пациентов с ожирением выделены пациенты с СО (n = 13; 75,7 ± 8,21 года; 100 % женщин) и ожирением без саркопении (n = 38; 71,1 ± 6,59 года; 74,4 % женщин).

РЕЗУЛЬТАТЫ. В группе ожирения по сравнению с пациентами без ожирения зарегистрировано снижение кардиореспираторной выносливости (пиковое потребление кислорода 14,29 ± 5,13 мл/кг/мин против 17,78 ± 5,17 мл/кг/мин; $p < 0,001$), силового индекса ($p < 0,01$) и мобильности ($p < 0,05$), ухудшение метаболического профиля (гипертриглицеридемия, гипергликемия, гиперурикемия, снижение липопротеинов высокой плотности) ($p < 0,05$) и увеличение объема левого предсердия ($p < 0,01$). Доля СО среди пациентов с ожирением составила 25,5 %.

ОБСУЖДЕНИЕ. При сопоставлении групп «СО» и «ожирение без саркопении» выявлены достоверные различия ($p < 0,05$) по всем анализируемым параметрам, включающим функциональные тесты, кардиореспираторную выносливость, когнитивный статус, лабораторные маркеры, индекс коморбидности Чарлсон, а также социальный статус и качество жизни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Ожирение в пожилом возрасте ассоциировано со снижением кардиореспираторной выносливости, функциональной активности и ухудшением метаболического профиля. СО — наиболее уязвимый фенотип с более низкими кардиореспираторными резервами и мышечной силой, тяжелым гериатрическим статусом по сравнению с ожирением без саркопении, выявляемый практически у каждого четвертого пациента с ожирением, что требует активного выявления СО и комплексного мультидисциплинарного ведения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кардиореспираторный нагрузочный тест, старческая астения, комплексная гериатрическая оценка, саркопеническое ожирение, ожирение, саркопения

Для цитирования / For citation: Арефьева М.С., Колесникова Е.А., Ерусланова К.А., Остапенко В.С., Рунихина Н.К., Ткачева О.Н. Ожирение и саркопеническое ожирение в пожилом возрасте: особенности гериатрического статуса и кардиореспираторной выносливости (проспективное контролируемое исследование). Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(5):70–82. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-70-82 [Arefeva M.S., Kolesnikova E.A., Eruslanova K.A., Ostapenko V.S., Runikhina N.K., Tkacheva O.N. Obesity and Sarcopenic Obesity in Older Adults: Specifics of Geriatric Status and Cardiorespiratory Fitness (A Prospective Controlled Study). Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):70–82. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-70-82 (In Russ.).]

* **Для корреспонденции:** Арефьева Мария Сергеевна, E-mail: arefieva_ms@rgnkc.ru

Статья получена: 14.08.2026
Статья принята к печати: 30.09.2026
Статья опубликована: 23.10.2026

© 2026, Арефьева М.С., Колесникова Е.А., Ерусланова К.А., Остапенко В.С., Рунихина Н.К., Ткачева О.Н.
Эта статья открытого доступа по лицензии CC BY-NC-SA 4.0. Издательство: ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

Obesity and Sarcopenic Obesity in Older Adults: Specifics of Geriatric Status and Cardiorespiratory Fitness (A Prospective Controlled Study)

Mariia S. Arefeva*, Elena A. Kolesnikova, Ksenia A. Eruslanova, Valentina S. Ostapenko, Nadezda K. Runikhina, Olga N. Tkacheva

Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. The absence of well-defined diagnostic criteria and a general lack of awareness regarding the symptoms of sarcopenic obesity (SO) in older adults hinder prompt diagnosis. This underscores the need for research into its prevalence and clinical-functional traits to devise tailored management strategies.

AIM. To identify differences in clinical and functional characteristics (including an assessment of cardiorespiratory fitness based on cardiorespiratory exercise testing), metabolic and socio-demographic characteristics between patients aged ≥ 60 years with and without obesity; and, within the obese group, to compare subgroups with SO and obesity without sarcopenia to define phenotypic markers.

MATERIALS AND METHODS. The study was conducted at the Russian Clinical and Research Center of Gerontology from 2024 to 2026. Data from 109 patients (72.2 ± 6.88 years; 75.2 % female; 24.8 % male; 46.8 % obesity; 42.2 % frailty) were analyzed. All underwent comprehensive geriatric assessment, bioelectrical impedance analysis, cardiopulmonary exercise testing. The formed groups included: patients with obesity (n = 51; 72.0 ± 6.26 years; 80.4 % female) and without obesity (n = 58; 72.3 ± 7.44 years; 70.7 % female). Among obesity patients, SO (n = 13; 75.7 ± 8.21 years; 100 % female) and Non-SO (n = 38; 71.1 ± 6.59 years; 74.4 % female) were identified.

RESULTS. In obesity group, compared to non-obese patients, we observed lower cardiorespiratory fitness (peak oxygen consumption 14.29 ± 5.13 mL/kg/min vs 17.78 ± 5.17 mL/kg/min; $p < 0.001$), decreased strength index ($p < 0.01$) and mobility ($p < 0.05$), metabolic deterioration (hypertriglyceridemia, hyperglycemia, hyperuricemia, low high-density lipoprotein cholesterol) ($p < 0.05$), increased left atrial volume ($p < 0.01$). The proportion of SO among patients with obesity was 25.5 %.

DISCUSSION. In comparison the SO and non-SO groups revealed significant differences ($p < 0.05$) across all analyzed parameters, including functional tests, cardiorespiratory fitness, cognitive and social status, lab markers, Charlson Comorbidity Index, and quality of life.

CONCLUSION. Obesity in elderly is associated with reduced cardiorespiratory fitness, functional performance, metabolic profile deterioration. Sarcopenic obesity represents the most vulnerable phenotype with lower cardiorespiratory reserves and muscle strength, more severe geriatric status compared to non-SO; it is found in almost one in four patients with obesity, which necessitates active screening for SO and comprehensive, multidisciplinary management.

KEYWORDS: cardiopulmonary exercise testing, frailty, comprehensive geriatric assessment, sarcopenic obesity, obesity, sarcopenia

For citation: Arefeva M.S., Kolesnikova E.A., Eruslanova K.A., Ostapenko V.S., Runikhina N.K., Tkacheva O.N. Obesity and Sarcopenic Obesity in Older Adults: Specifics of Geriatric Status and Cardiorespiratory Fitness (A Prospective Controlled Study). Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):70–82. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-70-82 (In Russ.).

* **For correspondence:** Mariia S. Arefeva, E-mail: arefieva_ms@rgnkc.ru

Received: 14.08.2026
Accepted: 30.09.2026
Published: 23.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

Ожирение в пожилом возрасте представляет собой значимую медико-социальную проблему в связи с неуклонным ростом распространенности данной патологии и ее ассоциацией с неблагоприятными исходами, включая сердечно-сосудистые заболевания, сахарный диабет (СД) 2-го типа, снижение функциональной активности и преждевременную смертность [1]. В течение длительного времени ожирение рассматривалось преимущественно как метаболическая проблема, ассоциированная с дислипидемией, инсулинорезистентностью и системным воспалением. Однако клиническая практика показывает, что пациенты с одинаковым индексом массы тела (ИМТ) могут иметь кардинально разный функциональный статус. Ключевой дефицит при ожирении заключается не столько в абсолютном снижении мышечной силы, сколько в недостаточности функционального мышечного резерва — способности скелетной мускулатуры обеспечивать локомоторные, постуральные и метаболические потребности увеличенной массы тела, что особенно актуально в гериатрической практике [2].

С возрастом происходят закономерные изменения состава тела, характеризующиеся увеличением жировой массы, особенно висцеральной, и прогрессирующей потерей мышечной массы и силы — саркопенией [3]. Сочетание этих двух процессов, обозначаемое как саркопеническое ожирение, рассматривается как более неблагоприятное состояние по сравнению с изолированными саркопенией или ожирением и ассоциировано с высокой частотой инвалидизации, сердечно-сосудистой патологии и летальности [4]. Согласно данным эпидемиологических исследований, распространенность СО среди пожилых лиц варьирует в диапазоне 20–30 % [5].

В основе СО лежит патофизиологический порочный круг: избыток жировой ткани индуцирует окислительный стресс, системное воспаление и инсулинорези-

стентность, негативно влияя на трофику и функцию скелетных мышц, тогда как саркопения снижает энергетические затраты, способствуя дальнейшему накоплению жировой ткани. Гиподинамия, являющаяся одновременно причиной и следствием обоих состояний, замыкает этот порочный круг, а сопутствующее снижение кардиореспираторной выносливости и наслоение гериатрических синдромов потенцируют его прогрессирование [6].

Центральную роль в патогенезе СО играет висцеральная жировая ткань как иммуноактивный эндокринный орган: гипертрофия адипоцитов индуцирует гипоксию и оксидативный стресс, а погибающие клетки высвобождают моноцитарный хемоаттрактантный белок-1 (MCP-1/CCL2) (коррелирующий с низкой плотностью мышц) и лептин, стимулирующие макрофагальную инфильтрацию и ингибирующие синтез мышечного белка [7].

Одновременно снижается уровень противовоспалительного и инсулиносенсибилизирующего адипонектина, что усугубляет инсулинорезистентность. В присутствии свободных жирных кислот и провоспалительных медиаторов моноциты поляризуются в фенотип М1, секретируют фактор некроза опухоли альфа (ФНО-α), интерлейкины (ИЛ-6, ИЛ-1β) и моноцитарный хемоаттрактантный белок-1 (MCP-1), а также индуцируют синтазу оксида азота (iNOS), способствуя лизису миоцитов, и блокируют дифференцировку сателлитных клеток, ограничивая миогенез [8, 9].

Хроническое воспаление при СО выходит за рамки классического инфламэйджинга и характеризуется феноменом «тренированного иммунитета» [9]. Длительное воздействие провоспалительных сигналов (свободные жирные кислоты, липополисахариды, цитокины) индуцирует эпигенетическое и метаболическое перепрограммирование гемопоэтических стволовых клеток костного мозга и циркулирующих клеток врожденного иммунитета. Ключевые проявления включают метаболический сдвиг с окислительного фосфорилирования на аэробный гликолиз и усиление ацетилирования гистонов в промоторах провоспалительных генов, что облегчает их транскрипционную активацию даже в базальных условиях. Формирование «воспалительной памяти» рассматривается как механизм, потенциально обусловливающий персистенцию воспаления и снижение ответа на терапию.

Помимо системного воспаления, критическое значение имеет изменение локальной иммунной ниши скелетных мышц: смещение баланса в сторону макрофагов М1 со снижением количества регуляторных Т-клеток, что нарушает регенерацию и активацию сателлитных клеток. Активация фиброадипогенных предшественников с их дифференцировкой в адипоциты и фибробласты усугубляет жировую инфильтрацию и фиброз. Одновременно снижается уровень ирисина и повышается уровень миостатина, а также нарушается баланс лиганд-рецепторной системы RANKL/OPG, который стимулирует остеокластогенез и потерю костной массы, что увеличивает риск падений и переломов [10].

Одну из ключевых ролей в формировании и прогрессировании СО играет эктопическое жироотложение: межмышечная жировая ткань секретирует провоспалительные адипокины и ассоциирована с инсулинорезистентностью и атеросклерозом, а внутримышечные липиды коррелируют с низкой окислительной способностью мышц, что обосновывает концепцию метаболического риска при нормальном весе, независимо от ИМТ [11]. Снижение мышечной массы уменьшает энергозатраты, способствуя накоплению жира, и ухудшает секрецию «полезных» миокинов (ирисина), замыкая порочный круг гиподинамией.

Долгое время СО оставалось без четких диагностических критериев, что затрудняло его идентификацию в клинической практике. Внедрение критериев ESPEN/EASO 2022 позволило стандартизировать диагностику и верифицировать СО у пожилых пациентов [4].

Кардиореспираторная выносливость, количественно оцениваемая по показателю пикового потребления кислорода (VO_2пик), определяемому в ходе кардиореспираторного нагрузочного теста (КРНТ), является интегральным маркером функционального состояния организма, отражающим способность сердечно-сосудистой, дыхательной и мышечной систем обеспечивать энергетические потребности при физической нагрузке [12].

У пациентов с ожирением, особенно с СО, функциональные резервы могут снижаться непропорционально быстро вследствие сочетания метаболических нарушений, механической нагрузки избыточной массой тела и качественных изменений мышечной ткани [13]. Несмотря на имеющиеся данные о негативном влиянии ожирения на функциональный статус, работ, посвященных комплексной оценке гериатрического статуса и кардиореспираторной выносливости у пациентов с СО, крайне недостаточно. Отсутствие четких клинических критериев и недостаточная осведомленность о гериатрических проявлениях СО затрудняют его своевременную диагностику, особенно на ранних стадиях, когда вмешательство могло бы быть наиболее эффективным.

ЦЕЛЬ

Определить различия клинических, функциональных (с оценкой кардиореспираторной выносливости, по данным КРНТ), метаболических и социально-бытовых характеристик между пациентами 60 лет и старше в трех группах (с СО, ожирением без саркопении и без ожирения), а также провести сравнение общей когорты пациентов с ожирением и без него для выделения специфических фенотипических особенностей, значимых для выбора оптимальной тактики ведения данной группы пациентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Контролируемое исследование, включающее этап поперечного анализа с последующим проспективным наблюдением в течение 6 месяцев с оценкой эффективности персонализированных программ ведения, проведено на базе Российского геронтологического научно-клинического центра с 2024 по 2026 г.

Участники исследования

В исследование были включены 109 мультиморбидных пациентов (средний возраст — 72,2 ± 6,88 года; 75,2 % женщин; 46,8 % с ожирением; 42,2 % со старческой астенией).

Критерии включения: мужчины и женщины в возрасте 60 лет и старше; подписанное информированное согласие.

Критерии исключения: острые или обострение хронических заболеваний в течение последних 2 недель; активные злокачественные онкологические заболевания; наличие когнитивных нарушений, сенсорных дефицитов, заболеваний опорно-двигательного аппарата и периферических артерий, которые могут повлиять на возможность выполнения процедур исследования; наличие абсолютных противопоказаний к проведению КРНТ; любое другое состояние, которое, по мнению исследователя, может препятствовать участию пациента в исследовании. Пациентов, исключенных из исследования, не было. В итоговый анализ включены все 109 пациентов.

Пациенты с сахарным диабетом 2-го типа (СД2) не исключались из исследования; наличие СД2 учитывалось при статистическом анализе.

Всем пациентам измерялись рост (см) и вес (кг) с расчетом ИМТ (кг/м^2).

На первом этапе (скрининг) отбирались пациенты с ИМТ ≥ 30 кг/м^2 при наличии клинических признаков саркопении (слабость, утомляемость, падения, ограничение подвижности) и/или факторов риска (возраст ≥ 70 лет, хронические заболевания, иммобилизация, повторные госпитализации). Степень ожирения определялась в соответствии с классификацией Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ): 1-я степень — ИМТ 30,0–34,9 кг/м^2; 2-я степень — ИМТ 35,0–39,9 кг/м^2; 3-я степень — ИМТ ≥ 40,0 кг/м^2. На втором этапе (диагностика) подтверждались снижение скелетно-мышечной функции (динамометрия кисти < 27 кг у мужчин и < 16 кг у женщин и/или тест «5 вставаний со стула» > 15 с) и изменения состава тела, по данным биоимпедансометрии: избыточная жировая масса (≥ 30 % у мужчин и ≥ 40 % у женщин) и относительное снижение скелетной мышечной массы, скорректированной на вес (< 2 стандартных отклонений от референсных значений молодой популяции того же пола). Диагноз СО устанавливался при одновременном наличии всех указанных критериев в соответствии с консенсусом ESPEN/EASO 2022.

Все 109 пациентов были исходно стратифицированы по наличию ожирения: с ожирением (n = 51; средний возраст — 72 ± 6,26 года; 80,4 % женщин) и без ожирения (n = 58; средний возраст — 72,3 ± 7,44 года; 70,7 % женщин). Внутри группы пациентов с ожирением по результатам диагностического этапа выделены подгруппы: с СО (n = 13; средний возраст — 75,7 ± 8,2 года; 100 % женщин) и с ожирением без саркопении (n = 38; средний возраст — 71,1 ± 6,6 года; 74,4 % женщин).

В соответствии с алгоритмом диагностики старческой астении всем участникам были проведены скрининг по опроснику «Возраст не помеха» и оценка результатов краткой батареи тестов физического функционирования (КБТФФ), по результатам которых пациенты были распределены на три группы: старческая астения, преастения и «крепкие» пациенты.

Процедуры исследования

Исследование выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики и принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования одобрен этическим комитетом Российского геронтологического научно-клинического центра (Москва, Россия) (Протокол № 86 от 28.10.2024). До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие.

Всем пациентам проводилась антропометрия: измерение роста (см) с помощью стандартного ростомера и веса (кг) на медицинских весах с последующим расчетом ИМТ (кг/м^2) по формуле: вес (кг) / рост (м)^2. Всем пациентам были выполнены комплексная гериатрическая оценка, биоимпедансометрия (анализатор АВС-01 «Медасс», ООО НТЦ «Медасс», Россия) и КРНТ (CORTEX MetaMax 3B, CORTEX Biophysik GmbH, Германия; беговая дорожка custo cardio 400, custo med GmbH, Германия; интегрированная система вакуумной фиксации электродов).

Комплексная гериатрическая оценка включала опросник «Возраст не помеха», КБТФФ, шкалы Бартел и Лоутон, Монреальскую шкалу оценки когнитивных функций (MoCA), краткую шкалу оценки питания (MNA), индекс коморбидности Чарлсон и взвешенный индекс коморбидности, количество принимаемых препаратов, скорость ходьбы (м/с), тест «Встань и иди» (с), 2- и 6-минутный тесты ходьбы (м), динамометрию кисти (кг), силовой индекс, рассчитанный как отношение динамометрии к массе тела (%), опросник SF-36 (балл). Анализируемые лабораторные показатели включали гемоглобин (г/л), глюкозу (ммоль/л), триглицериды (ммоль/л), липопротеины высокой плотности (ммоль/л), мочевую кислоту (мкмоль/л) и витамин B12 (пг/мл). По данным биоимпедансометрии оценивались скелетно-мышечная масса (кг), индекс скелетно-мышечной массы (кг/м^2), тощая масса (кг), индекс тощей массы (кг/м^2), жировая масса (кг), индекс жировой массы (кг/м^2), фазовый угол (°) и удельный основной обмен (ккал/сут). По данным эхокардиографии оценивался объем левого предсердия (мл). В ходе КРНТ на первом и втором вентиляторных порогах, а также на пике нагрузки регистрировались VO_2 (мл/кг/мин), частота дыхательных движений (дых. движ./мин), частота сердечных сокращений (уд/мин) и метаболический эквивалент (MET). Нежелательных явлений во время выполнения КРНТ зарегистрировано не было.

На следующем этапе была разработана персонализированная программа ведения пациента с рекомендациями по физической активности, питанию, коррекции гериатрических синдромов, оптимизации медикаментозной терапии. Программа реализовывалась в стационарных условиях в течение 3–5 дней с выдачей рекомендаций для ее продолжения на амбулаторном этапе в течение 6 месяцев. В статье представлены результаты Визита 1.

Статистический анализ

Статистическая обработка выполнена в jamovi (v. 2.4.12) и R (v. 4.5.3). Нормальность распределения проверена методом Шапиро — Уилка. В случае нормального распределения данные представлены как среднее ± стандартное отклонение, для сравнения групп использовали t-критерий Стьюдента (Welch), при отсутствии нормального распределения — как Me [Q1; Q3], для сравнения групп применяли U-критерий Манна — Уитни. Категориальные переменные сравнивали с помощью критерия Фишера или χ^2 Пирсона. Статисти-

чески значимыми считались различия при двустороннем значении $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Базовые характеристики исследуемых групп представлены в таблице 1.

На первом этапе пациенты стратифицированы на группы с ожирением (ИМТ ≥ 30 кг/м^2; $n = 51$) и без ожирения (ИМТ < 30 кг/м^2; $n = 58$). Среди пациентов с ожирением распределение по степеням было следующим: 1-я степень — 31 (60,8 %, средний возраст 72,7 ± 6,49 года, 71 % женщин), 2-я — 14 (27,5 %, средний возраст 71,4 ± 6,25 года, 92,9 % женщин), 3-я — 6 (11,8 %, средний возраст 69,8 ± 5,34 года, 100 % женщин).

При сопоставлении лабораторных параметров в группе ожирения со значениями в группе без ожирения отмечены более высокие концентрации триглицеридов (1,77 [1,63; 2,42] ммоль/л против 1,25 [0,97; 1,15] ммоль/л; $p = 0,013$), глюкозы (6,2 [5,33; 7,32] ммоль/л против 5,5 [5,08; 6,06] ммоль/л; $p = 0,013$) и мочевой кислоты (397 ± 184 мкмоль/л против 322 ± 90,2 мкмоль/л; $p = 0,017$), а также достоверно более низкий уровень липопротеинов высокой плотности (1,1 ± 0,26 ммоль/л против 1,22 ± 0,29 ммоль/л; $p = 0,04$). Кроме того, по данным эхокардиографии, у обследованных с ожирением отмечено увеличение объема левого предсердия (63,02 ± 19,18 мл против 52,40 ± 15,81 мл; $p = 0,013$), что может свидетельствовать о ранних гемодинамических изменениях, ассоциированных с метаболическим синдромом.

Проведен сравнительный анализ показателей состава тела между группами пациентов с ожирением и без него. Медиана скелетно-мышечной массы была выше в группе пациентов с ожирением по сравнению с группой без ожирения (19,0 [17,6; 20,9] кг против 16,1 [14,9; 19,2] кг; $p = 0,02$), как и индекс скелетно-мышечной массы (7,42 [6,96; 8,26] кг/м^2 против 6,62 [6,04; 7,2] кг/м^2; $p < 0,01$). Наряду с этим медиана тощей массы у пациентов с ожирением достигла 49,9 [46,7; 53,0] кг, что достоверно превышало соответствующий показатель у лиц без ожирения — 41,0 [39,4; 46,7] кг ($p < 0,01$). Индекс тощей массы также оказался значимо выше во второй группе (19,7 ± 2,49 кг/м^2 против 17,4 ± 1,88 кг/м^2; $p < 0,01$). Жировая масса и индекс жировой массы были значимо выше в группе пациентов с ожирением по сравнению с пациентами без ожирения (39,5 ± 9,58 кг против 20,6 ± 6,35 кг; $p < 0,01$; 15,5 ± 3,79 кг/м^2 против 8,09 ± 2,29 кг/м^2; $p < 0,01$ соответственно).

У пациентов с ожирением все исследованные параметры состава тела достоверно превышали значения лиц без ожирения, однако степень различий варьировала в зависимости от компонента. Наиболее выраженные расхождения отмечены по жировой массе и ее индексу (практически двукратное превышение), тогда как различия по скелетно-мышечной и тощей массе, оставаясь статистически значимыми, составляли около 18–20 %.

У пациентов с ожирением зарегистрировано ухудшение всех параметров мобильности в сравнении с пациентами без ожирения: скорости ходьбы (0,79 ± 0,19 м/с против 0,69 ± 0,15 м/с; $p = 0,02$), результата КБТФФ (8 [6; 9] баллов против 9 [7; 10] баллов; $p = 0,02$) и времени выполнения теста «5 подъемов со стула» (14,6 ± 4,54 с против 12,8 ± 2,11 с; $p = 0,016$).

Таблица 1. Базовые характеристики исследуемых групп
Table 1. Baseline characteristics of the study groups

Параметр / Parameter	Все пациенты / All patients (*n* = 109)	С ожирением / With obesity (*n* = 51)	Без ожирения / Without obesity (*n* = 58)	Саркопеническое ожирение / Sarcopenic obesity (*n* = 13)	Ожирение без саркопении / Non-sarcopenic obesity (*n* = 38)
Возраст, лет / Age, years (M ± SD)	72,3 ± 6,95	72,0 ± 6,26	72,3 ± 7,44	75,7 ± 8,21	71,1 ± 6,59
Женщины, *n* (%) / Women, *n* (%)	82 (75,2 %)	41 (80,4 %)	41 (70,7 %)	13 (100 %)	28 (73,7 %)
Мужчины, *n* (%) / Men, *n* (%)	27 (24,8 %)	10 (19,6 %)	17 (29,3 %)	0 (0 %)	10 (26,3 %)
Рост, см / Height, cm (M ± SD)	162,3 ± 8,5	160,5 ± 6,9	163 ± 10,5	157 ± 4,84	163 ± 9,90
Вес, кг / Weight, kg (M ± SD)	81,5 [69,0; 91,5]	90,0 [84,0; 97,0]	70,7 [63; 80]	92 [86; 97,5]	88 [84; 97]
ИМТ, кг/м^2 / BMI, kg/m^2 (M ± SD)	29,7 [26,8; 33,5]	34,1 [31,8; 36,9]	26,8 [24,7; 28,5]	35,9 ± 5,56	29,3 ± 5,01
Сахарный диабет 2-го типа, *n* (%) / Type 2 diabetes mellitus, *n* (%)	28 (25,7 %)	19 (37,3 %)	9 (15,5 %)	7 (53,8 %)	16 (42,1 %)

Примечание: *ИМТ — индекс массы тела.*
Note: *BMI — body mass index.*

Пациенты с ожирением продемонстрировали достоверно более низкую толерантность к физической нагрузке по сравнению с группой без ожирения: пиковое потребление кислорода (VO_2пик) составило 14,29 ± 5,13 мл/кг/мин против 17,78 ± 5,17 мл/кг/мин ($p < 0,001$). Выявлена линейная зависимость между степенью снижения кардиореспираторной выносливости и тяжестью ожирения: минимальные функциональные резервы отмечены у пациентов с 3-й степенью ожирения. При межгрупповом сравнении пациентов с различными степенями ожирения показатель VO_2 на первом вентиляторном пороге был значимо выше при 1-й степени по сравнению со 2-й степенью (10,28 ± 2,64 мл/кг/мин против 8,14 ± 1,70 мл/кг/мин; $p = 0,017$). Дистанция 6-минутной ходьбы при 3-й степени ожирения меньше, чем при 2-й степени (211,17 ± 49,42 м против 288,71 ± 86,96 м; $p = 0,049$).

Среди всех пациентов с ИМТ > 30 кг/м^2 критериям ESPEN/EASO 2022 соответствовали 13 человек (25,5 %). Распределение по степеням ожирения среди лиц с СО было следующим: 1-я степень — 7 случаев, 2-я степень — 4 случая, 3-я степень — 2 случая. Группы СО и ожирения без саркопении статистически значимо различались по частоте СД2: 30,4 % в группе СО против 8,7 % в группе ожирения без саркопении (точный тест Фишера $p = 0,016$).

Пациенты с СО были представлены исключительно женщинами. Анализ социально-демографических характеристик показал преобладание вдов ($n = 9$; 69,2 %), лиц, проживающих одиноко ($n = 7$; 53,8 %) и имеющих низкий уровень дохода ($n = 7$, 53,8 %). Гериатрический статус характеризовался высокой распространенностью страха падений ($n = 12$; 92,3 %) и падений в анамнезе ($n = 7$; 53,8 %), субъективных когнитивных нарушений ($n = 11$; 84,6 %), хронической боли ($n = 11$; 84,6 %), нарушений минеральной плотности костной ткани ($n = 9$; 69,2 %), постуральной неустойчивости ($n = 9$; 69,2 %) и недержания мочи ($n = 8$; 61,5 %). Недостаточная физическая активность (< 30 мин/день) отмечена у 53,8 % ($n = 7$), суммарная недельная активность ниже рекомендуемого уровня (< 150 мин/нед.) у 69,2 % ($n = 9$) пациенток. Затруднения при ходьбе по неровным поверхностям отмечали все участницы ($n = 13$; 100 %).

В общей группе ожирения (ИМТ ≥ 30 кг/м^2) относительно лиц без ожирения зафиксировано изолированное снижение относительной силы кисти, рассчитанной с учетом массы тела (силовой индекс — 22,5 [19,1; 28,7] % против 29,7 [25,1; 35,3] %; $p < 0,001$), при сохранности абсолютных значений силы кисти (динамометрия — 22,2 ± 8,36 кг против 21,6 ± 6,53 кг; $p = 0,679$). При выделении подгруппы с СО характер нарушений меняется: у данных пациентов регистрируется достоверное снижение как относительной (силовой индекс — 18,87 ± 4,69 % против 30,26 ± 10,00 %; $p < 0,001$), так и абсолютной силы (динамометрия — 16,82 ± 5,06 кг против 23,36 ± 7,91 кг; $p = 0,006$) по сравнению с группой ожирения без саркопении.

Для верификации фенотипических особенностей СО выполнено сопоставление клинико-функциональных параметров между группами с СО и ожирением без саркопении (табл. 2). При межгрупповом сравнении зафиксированы достоверные различия по всем анализируемым переменным ($p < 0,05$), за исключением результатов по краткой шкале оценки питания, где различия находились на уровне статистической тенденции ($p = 0,059$). В группе с СО риск развития мальнутриции по шкале MNA был выявлен у 30,8 % пациентов ($n = 4$).

Таблица 2. Исходные клинико-функциональные показатели пациентов с ожирением без саркопении в сравнении с показателями пациентов с саркопеническим ожирением
Table 2. Baseline clinical and functional parameters of patients with non-sarcopenic obesity compared with those of patients with sarcopenic obesity

Параметр / Parameter	Ожирение без саркопении / Non-sarcopenic obesity	Саркопеническое ожирение / Sarcopenic obesity	*p*
Возраст, лет / Age, years (M ± SD)	71,10 ± 6,59	75,70 ± 8,21	0,067
Опросник «Возраст не помеха», балл / «Vozrast ne pomekha» Questionnaire, score (M ± SD)	2,50 ± 1,65	4,39 ± 1,19	< 0,001
Индекс коморбидности Чарлсон, балл / Charlson Comorbidity index, score (M ± SD)	5,77 ± 2,12	8,77 ± 3,14	< 0,001
Взвешенный функциональный индекс коморбидности, балл / Weighted Functional Comorbidity Index, score (M ± SD)	5,95 ± 3,86	9,00 ± 3,67	0,01
Количество принимаемых препаратов, шт. / Number of medications, pc. (M ± SD)	3,97 ± 2,75	6,00 ± 2,45	0,012
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/L (M ± SD)	136,00 ± 12,82	127,46 ± 9,80	0,013
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/L, Me [Q1; Q3]	5,49 [5,13; 6,46]	6,45 [5,68; 9,54]	0,006
Витамин B_{12}, пг/мл / Vitamin B_{12}, pg/mL, Me [Q1; Q3]	575 [479; 718]	328 [231; 538]	0,04
Шкала Бартел, балл / Barthel index, score, Me [Q1; Q3]	100 [100; 100]	95 [95; 100]	< 0,001
Шкала Лоутон, балл / Lawton Scale, score, Me [Q1; Q3]	8 [8; 8]	8 [7; 8]	0,002
MoCA, балл / MoCA, score (M ± SD)	26,71 ± 2,74	23,15 ± 3,74	< 0,001

Окончание таблицы 2 / Table 2 End

Параметр / Parameter	Ожирение без саркопении / Non-sarcopenic obesity	Саркопеническое ожирение / Sarcopenic obesity	*p*
MNA, балл / MNA, score (M ± SD)	26,19 ± 2,66	24,42 ± 3,12	0,059
Удельный основной обмен, ккал/сут / Basal metabolic rate, kcal/day (M ± SD)	763 ± 146	749 ± 51,0	< 0,001
Фазовый угол, ° / Phase angle, °, Me [Q1; Q3]	6,03 [5,33; 6,55]	5,23 [5; 5,68]	0,011
SF-36 Физическая функция, балл / SF-36 Physical Function, score (M ± SD)	66,1 ± 22,0	48,1 ± 20,8	0,012
SF-36 Интенсивность боли, балл / SF-36 Pain intensity, score, Me [Q1; Q3]	62 [41; 100]	41 [32; 41]	0,002
SF-36 Общий физический компонент, балл / SF-36 Physical Component Summary, score (M ± SD)	41,1 ± 8,49	35,1 ± 7,85	0,007
Скорость ходьбы, м/с / Gait speed, m/s (M ± SD)	0,78 ± 0,17	0,56 ± 0,11	< 0,001
Тест «Встань и иди», с / Timed Up and Go test, s (M ± SD)	11,33 ± 2,65	14,31 ± 3,15	0,002
2-минутный тест ходьбы, м / 2-Minute Walk Test, m (M ± SD)	91,72 ± 20,58	68,08 ± 16,24	< 0,001
6-минутный тест ходьбы, м / 6-Minute Walk Test, m (M ± SD)	318,17 ± 107,84	251,85 ± 93,58	0,033
КБТФФ, балл / SPPB, score (M ± SD)	8,77 ± 1,99	5,39 ± 2,02	< 0,001
КБТФФ (4 м/с), с / SPPB (4-m gait speed), s (M ± SD)	5,62 ± 1,53	7,72 ± 1,48	< 0,001
КБТФФ (5 подъемов со стула), с / SPPB (5-repetition chair stand), s, Me [Q1; Q3]	12,5 [11,4; 14]	16,8 [15,7; 18]	< 0,001
Динамометрия, кг / Handgrip strength, kg (M ± SD)	23,36 ± 7,91	16,82 ± 5,06	0,006
Силовой индекс, % / Strength index, % (M ± SD)	30,26 ± 10,00	18,87 ± 4,69	< 0,001
VO_2ВП1, мл/кг/мин / VO_2 at VT1, mL/kg/min (M ± SD)	10,99 ± 3,30	8,69 ± 1,84	0,01
ЧДД ВП1, дыхательных движений/мин / RR VT1, breaths/min (M ± SD)	22,7 ± 4,76	25,9 ± 6,42	0,036
MET ВП1 / MET at VT1 (M ± SD)	3,43 ± 0,86	2,73 ± 0,70	0,016
VO_2ВП2, мл/кг/мин / VO_2 at VT2, mL/kg/min (M ± SD)	16,9 ± 4,87	13,4 ± 3,81	0,009
ЧСС ВП2, уд/мин / HR at VT2, bpm (M ± SD)	127 ± 19,2	105 ± 19,9	0,017
MET ВП2 / MET at VT2 (M ± SD)	5,18 ± 1,46	4,17 ± 1,31	0,018
VO_2пик, мл/кг/мин / VO_2 peak, mL/kg/min (M ± SD)	14,9 ± 5,70	12,3 ± 3,64	0,002
ЧССпик, уд/мин / Peak HR, bpm (M ± SD)	117 ± 22,9	103 ± 18,6	0,01
METпик / Peak MET (M ± SD)	4,70 ± 1,58	3,98 ± 1,15	0,003

Примечание: *Данные представлены как M ± SD для переменных с нормальным распределением, как Me [Q1; Q3] для переменных с распределением, отличным от нормального. Для количественных переменных использован t-критерий Стьюдента (Welch) или U-критерий Манна — Уитни в зависимости от характера распределения; для категориальных — критерий χ^2 Пирсона или точный критерий Фишера. Различия считали статистически значимыми при p < 0,05. ВП1 — вентиляторный порог 1, ВП2 — вентиляторный порог 2, КБТФФ — краткая батарея тестов физического функционирования, ЧДД — частота дыхательных движений, ЧСС — частота сердечных сокращений, MET — метаболический эквивалент, MNA — краткая шкала оценки питания, MoCA — Монреальская шкала оценки когнитивных функций, SF-36 — опросник качества жизни, VO_2 — потребление кислорода.*

Note: *Data are presented as mean ± SD for normally distributed variables, and as median [Q1; Q3] for non-normally distributed variables. For quantitative variables, Welch's t-test or the Mann — Whitney U test was used depending on the distribution; for categorical variables, Pearson's chi-square (χ^2) test or Fisher's exact test was used. Differences were considered statistically significant at p < 0.05. VT1 — ventilatory threshold 1, VT2 — ventilatory threshold 2, SPPB — short physical performance battery, RR — respiratory rate, HR — heart rate, MET — metabolic equivalent of task, MNA — mini nutritional assessment, MoCA — Montreal cognitive assessment, SF-36 — short form-36 health survey, VO_2 — oxygen consumption.*

Учитывая межгрупповые различия по частоте СД2, с целью исключения его потенциального вклада выполнен анализ с поправкой на наличие СД2. После поправки различия между группами СО и ожирения без саркопении сохраняли статистическую значимость для большинства анализируемых параметров: скорости ходьбы ($p = 0,0002$), теста «Встань и иди» ($p = 0,003$), 2-минутного теста ходьбы ($p = 0,0015$), КБТФФ и его компонентов ($p < 0,0001$), кистевой динамометрии ($p = 0,012$), силового индекса ($p = 0,0007$), Монреальской шкалы оценки когнитивных функций ($p = 0,0005$), шкал Бартел ($p = 0,012$) и Лоутон ($p = 0,037$), фазового угла ($p = 0,045$), а также VO_2пик ($p = 0,026$), VO_2 на втором вентиляторном пороге ($p = 0,021$), ЧСС на пике нагрузки ($p = 0,035$) и на втором вентиляторном пороге ($p = 0,009$), метаболического эквивалента на пике нагрузки ($p = 0,025$) и на втором вентиляторном пороге ($p = 0,026$). Полученные результаты свидетельствуют о самостоятельном вкладе саркопении в формирование кардиореспираторного и функционального дефицита, независимо от наличия СД2.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование позволило выявить патофизиологические и клинические особенности СО, а также ряд закономерностей, характеризующих влияние СО на функциональный статус пациентов гериатрического профиля. Полученные данные свидетельствуют о том, что ожирение у пожилых лиц является значимым фактором снижения кардиореспираторной выносливости, при этом его негативные эффекты не нивелируются компенсаторным увеличением абсолютной мышечной массы, что согласуется с наблюдениями других авторов [2].

На первом этапе анализа установлено, что наличие ожирения (ИМТ ≥ 30 кг/м^2) ассоциировано с достоверным снижением толерантности к физической нагрузке по сравнению с группой пациентов без ожирения. Показатели пикового потребления кислорода (VO_2пик) в группе ожирения были значимо ниже, что отражает уменьшение аэробных возможностей организма. Аналогичные закономерности ранее были описаны в исследованиях, посвященных влиянию состава тела на кардиореспираторную выносливость [14], где авторы продемонстрировали, что с увеличением ИМТ абсолютные показатели VO_2 растут (за счет большей массы тела), но VO_2/кг снижается, достигая минимальных значений при тяжелом ожирении. С патофизиологической точки зрения это объясняется тем, что увеличение избыточной жировой массы требует пропорционально большего сердечного выброса и потребления кислорода, тогда как сопутствующее снижение мышечной массы (особенно при СО) уменьшает основной «двигатель» утилизации кислорода; дополнительный вклад в снижение эффективности утилизации кислорода вносят митохондриальная дисфункция и снижение эффективности окислительного фосфорилирования.

Примечательно, что в нашей работе выявлена линейная зависимость степени ожирения по ВОЗ от выраженности кардиореспираторных нарушений: наиболее низкие функциональные резервы зафиксированы у пациентов с 3-й степенью ожирения, что подтверждается как данными КРНТ, так и результатами теста 6-минутной ходьбы.

Данные изменения согласуются с концепцией о том, что избыточная жировая масса создает дополнительную метаболическую и механическую нагрузку на кардиореспираторную систему, лимитируя ее адаптационный потенциал даже в условиях субмаксимальных усилий [15]. Избыточное жироотложение в грудной клетке и брюшной полости при этом снижает податливость дыхательной системы, функциональную остаточную емкость и резервный объем выдоха, что приводит к уменьшению форсированной жизненной емкости легких и дыхательного резерва, а также к снижению сократительной способности дыхательных мышц.

Параллельно с ухудшением аэробных показателей у пациентов с ожирением зарегистрировано статистически значимое снижение параметров мобильности и физической выносливости, включая результаты теста «Встань и иди», скорость ходьбы и 2-минутный тест ходьбы. Эти изменения, наряду с метаболическими нарушениями (гипертриглицеридемия, гиперурикемия, снижение уровня липопротеинов высокой плотности) и начальными признаками ремоделирования сердца (увеличение объема левого предсердия), формируют неблагоприятный функциональный фон, предрасполагающий к развитию гериатрических синдромов, что согласуется с данными литературы [9, 16].

Полученные данные перекликаются с результатами Cui N. et al., показавшими, что у пожилых пациентов с метаболическим синдромом, в структуру которого входит ожирение, отмечается замедленное восстановление частоты сердечных сокращений после нагрузки (признак вегетативной дисфункции) и значительное снижение кардиореспираторной выносливости, по данным КРНТ [17]. В своей работе Fico B.G. et al. также указывают, что ожирение в пожилом возрасте усугубляет воспалительные, сердечно-сосудистые и нейробиологические нарушения, снижая эффективность адаптации к физической нагрузке [18].

Ключевым наблюдением, требующим концептуального осмысления, является выявленный феномен диссоциации между абсолютными и относительными показателями мышечной функции в группе ожирения. У пациентов с ИМТ ≥ 30 кг/м^2 абсолютные значения тощей и скелетно-мышечной массы парадоксально превышали таковые в группе с нормальным весом, что, вероятно, обусловлено адаптационным увеличением мышечного компонента для поддержания увеличенной массы тела преимущественно за счет постуральных мышц нижних конечностей и туловища. Однако это количественное увеличение мышечной ткани сопровождается качественными изменениями: накоплением эктопического жира (миостеатоз), фиброзом и хроническим воспалением, что в итоге приводит к снижению ее удельной сократительной способности [9].

В нашем исследовании, несмотря на количественное увеличение мышечной ткани, ее качественные характеристики и функциональная эффективность оказываются сниженными: абсолютная сила кисти не различалась между группами, тогда как относительная сила (силовой индекс) в группе ожирения была достоверно ниже. Это объясняется непропорциональным увеличением

жировой массы и вероятным наличием миостеатоза со снижением удельной сократительной способности мышечных волокон.

Важно отметить, что накопление межмышечной жировой ткани, активно изучаемое в последние годы, играет ключевую роль в развитии функциональных нарушений при ожирении.

Систематический обзор Aryana I.G.P.S. et al. показал, что межмышечная жировая ткань является не просто пассивным депо, а метаболически активной тканью, секретирующей провоспалительные цитокины, способствующей инсулинорезистентности и ухудшающей физическое функционирование, особенно у пожилых пациентов [11]. В клиническом контексте это означает, что стандартная оценка абсолютной динамометрии у пациентов с ожирением может создавать ложное впечатление о сохранности мышечной функции, маскируя истинную функциональную недостаточность, которая объективно проявляется в снижении относительной силы и пиковых кардиореспираторных показателей (VO_2пик) [19].

Верификация СО, согласно критериям ESPEN/EASO 2022 [4], позволила выделить подгруппу пациентов (25,5 % от общей когорты с ожирением), характеризующуюся качественно иным профилем нарушений. Частота выявленного СО сопоставима с данными эпидемиологических исследований, где распространенность СО среди пожилых оценивается в диапазоне 20–30 % [5].

В нашем исследовании СО было выявлено исключительно у женщин, что согласуется с данными Damanti S. et al., указывающими на более высокую распространенность СО среди женщин в постменопаузе вследствие эстрогендефицитных изменений метаболизма и состава тела, причем у них отмечались более высокий индекс старческой астении и худшие функциональные показатели [6].

В отличие от пациентов с ожирением без саркопении, где снижалась преимущественно относительная сила, у пациенток с СО зафиксировано достоверное снижение как относительной, так и абсолютной силы кисти. Это свидетельствует о глубоком качественном изменении мышечного аппарата, выходящем за рамки простой диспропорции массы и требующем активного терапевтического вмешательства. В исследовании Billingsley H.E. et al. также было показано, что у пациентов с хронической сердечной недостаточностью и СО снижение индекса скелетной мышечной массы является независимым предиктором снижения кардиореспираторной выносливости, что согласуется с нашими данными о значительном снижении VO_2пик в группе СО [13].

Принципиально важным является то, что СО в нашем исследовании демонстрирует худший гериатрический профиль по сравнению с группой ожирения без саркопении. Анализ социально-демографических характеристик выявил преобладание вдов, лиц, проживающих одиноко и имеющих низкий доход.

Гериатрический статус пациенток с СО характеризовался высокой распространенностью страха падений, падений в анамнезе, субъективных когнитивных нарушений, хронического болевого синдрома, постуральной неустойчивости и недержания мочи.

Эти данные хорошо согласуются с концепцией системного порочного круга «жир – мышцы – кости» и феноменом тренированного иммунитета, поддерживающим хроническое воспаление, что в совокупности приводит к более тяжелым психосоциальным и функциональным дефицитам по сравнению с изолированным ожирением или изолированной саркопенией [20].

В исследовании FRAGILE-HF было показано, что СО у пожилых пациентов с сердечной недостаточностью ассоциировано с более высокой смертностью и худшей физической функцией по сравнению с ожирением без саркопении, что подчеркивает прогностическую значимость данного фенотипа [21]. Аналогичные данные были получены в исследовании FRASNET, где СО и предсаркопения с ожирением были сильными предикторами старческой астении [6]. Наличие данных мультиморбидных состояний, наряду с более высоким индексом коморбидности Чарлсон и полипрагмазией, указывает на то, что СО является не изолированным метаболическим расстройством, а интегральным гериатрическим синдромом, в патогенезе которого значимую роль играют психосоциальные, нейросенсорные и функциональные факторы. Этот вывод полностью созвучен с заключениями экспертного консенсуса ESPEN/EASO, подчеркивающими необходимость многофакторной оценки таких пациентов [4].

Одним из наиболее значимых результатов нашей работы является количественная оценка снижения кардиореспираторных резервов у пациентов с СО по сравнению с группой ожирения без саркопении. В подгруппе СО зафиксированы статистически значимо более низкие показатели VO_2/кг на всех ключевых точках КРНТ. В исследовании SOMMA также было показано, что VO_2пик значительно ниже у лиц с ожирением и низкой мобильностью [22]. Низкие значения VO_2пик в группе СО (12,3 ± 3,64 мл/кг/мин) приближаются к критическому порогу, который, по данным литературы, ассоциирован с высоким риском инвалидизации и неблагоприятных исходов у пожилых [23]. Это отражает истощение функциональных резервов, когда выполнение повседневной деятельности осуществляется на уровне, приближенном к предельным физиологическим возможностям. У пациентов с СО такой режим функционирования обусловливает высокий риск энергетической декомпенсации и истощения, так называемый функциональный резервный дефицит. С клинической точки зрения низкие значения VO_2пик у пациента с ожирением следует рассматривать как диагностический маркер «скрытой» мышечной недостаточности, верифицируемой с помощью объективных маркеров в ходе КРНТ, особенно в случаях, когда абсолютные показатели динамометрии сохраняются в пределах референсных значений.

Стратегия ведения пациентов с СО должна носить комплексный мультидисциплинарный характер и выходить за рамки стандартных подходов. Так, у пациентов с СО гипокалорийная диета с дефицитом энергетической ценности рациона не только неэффективна, но и потенциально опасна за счет прогрессирования саркопении с усугублением функционального дефицита и снижением эффективности реабилитационных мероприятий, повышения риска возникновения белково-энергетической недостаточности и неблагоприятных исходов, включая падения, переломы и госпитализа-

цию. Приоритетом нутритивной поддержки становится не столько снижение калорийности, сколько качественная коррекция состава рациона с акцентом на адекватное потребление белка.

Аэробные тренировочные программы, учитывая низкий кардиореспираторный резерв, должны строиться с акцентом на безопасность и физиологическую адекватность, обязательным компонентом реабилитации являются силовые тренировки, направленные на стимуляцию митохондриального биогенеза и снижение миостеатоза [24]. Это особенно важно в свете понимания роли миокинового влияния и нарушенной эндокринной функции мышц при СО: физическая нагрузка является ключевым стимулом для восстановления секреции «полезных» миокинов, таких как ирисин, и подавления продукции миостатина.

Помимо физической реабилитации, ключевыми направлениями вмешательства должны стать оптимизация нутритивного статуса с потреблением необходимого количества белка, коррекция полипрагмазии, лечение хронического болевого синдрома, профилактика падений и переломов, а также социальная поддержка, особенно для одиноких пациентов [25]. Важно отметить, что у пациентов с СО также выражены гериатрические синдромы, включая постуральную неустойчивость, страх падений, когнитивные нарушения и недержание мочи, что требует интеграции всех этих аспектов в план ведения данной категории пациентов.

Ограничения исследования

Настоящее исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, это сравнительно небольшой размер выборки, особенно в подгруппе СО (n = 13), что могло повлиять на статистическую мощность и возможность выявления более тонких различий. Во-вторых, исследование проведено в одном центре, что ограничивает репрезентативность результатов. В-третьих, это факт того, что все случаи СО в нашем исследовании были выявлены исключительно у женщин, что не может отражать особенности СО у мужчин, хотя выявление СО исключительно у женщин в нашем исследовании может отражать реальные половые различия в распространенности СО в старших возрастных группах. Требуются дальнейшие продольные исследования для оценки прогностической значимости выявленного фенотипа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что ожирение у лиц пожилого и старческого возраста ассоциируется с достоверным снижением кардиореспираторной выносливости и мобильности, при этом выявлен линейный градиент ухудшения функциональных показателей по мере нарастания степени ожирения, сопровождающийся прогрессирующим нарушением метаболического профиля. При этом наиболее выраженные функциональные дефициты наблюдаются при СО.

Фенотип саркопении при ожирении в настоящее время рассматривается не как изолированное метаболическое нарушение, а как интегральный гериатрический синдром, патогенетическую основу которого составляют дисрегуляция иммуновоспалительных путей, нарушение миокинового баланса и качественная дегенерация мышечной ткани (миостеатоз, фиброз, митохондриальная дисфункция) [2, 6].

Ключевым результатом работы является верификация феномена диссоциации между количественными и качественными характеристиками мышечной функции у пациентов с ожирением. При сохранных или даже повышенных абсолютных показателях мышечной массы в группе с ИМТ ≥ 30 кг/м^2 зафиксировано достоверное снижение относительной силы кисти по сравнению с пациентами без ожирения, что свидетельствует о снижении удельной сократительной способности мышц. В подгруппе СО данная диссоциация трансформируется в генерализованное снижение как относительной, так и абсолютной силы, что объективно подтверждает глубокие качественные изменения нейромышечного аппарата.

Впервые в группе гериатрических пациентов количественно охарактеризованы различия кардиореспираторных резервов между группами СО и ожирения без саркопении. В группе СО VO_2пик составил 12,3 ± 3,64 мл/кг/мин, что соответствует диапазону, который, согласно данным литературы, ассоциирован с высоким риском инвалидизации и неблагоприятных сердечно-сосудистых событий у пожилых пациентов [23]. Полученные данные обосновывают целесообразность включения КРНТ в алгоритм комплексной оценки пожилых пациентов с ожирением. Это позволит объективизировать скрытую мышечную недостаточность при ограниченной диагностической возможности динамометрии и получить интегральную прогностически значимую характеристику физического функционирования.

Выявленные социально-демографические особенности пациенток с СО (преобладание вдов, лиц, одиноко проживающих, и лиц с низким доходом), а также высокая распространенность страха падений и постуральной неустойчивости, когнитивных нарушений и хронического болевого синдрома указывают на значимый психосоциальный компонент СО и диктуют необходимость расширения терапевтической стратегии за пределы стандартных рекомендаций по снижению массы тела (с включением коррекции гериатрических синдромов, социальной поддержки и психотерапевтического сопровождения).

Обобщая полученные данные, можно выделить следующие положения. Во-первых, СО является распространенным синдромом, выявленным у 25,5 % пожилых пациентов с ожирением. Во-вторых, СО характеризуется достоверно более тяжелым гериатрическим профилем, худшими функциональными и кардиореспираторными показателями по сравнению с ожирением без саркопении, что свидетельствует о клинической значимости СО в гериатрической популяции. В-третьих, применение КРНТ при СО обладает практической значимостью для оптимизации стратегии комплексного ведения данной категории пациентов. Предусматривается внедрение персонализированных комбинированных тренировочных программ (аэробной и силовой направленности), индуцирующих митохондриальный биогенез и редуцирующих миостеатоз, в сочетании с повышением белковой обеспеченности рациона, коррекцией гериатрических синдромов и психосоциальным сопровождением.

Перспективным направлением дальнейших исследований является оценка долгосрочной прогностиче-

ской значимости показателей КРНТ в гериатрической популяции в отношении риска развития неблагоприятных исходов, включающих снижение физического функционирования, падения, формирование зависимости от посторонней помощи, инвалидизацию и повышение смертности.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Арефьева Мария Сергеевна, младший научный сотрудник, лаборатория общей гериатрии, гериатр, врач функциональной диагностики, 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

Ерусланова Ксения Алексеевна, кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией сердечно-сосудистого старения, кардиолог, 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

Остапенко Валентина Сергеевна, кандидат медицинских наук, заведующий гериатрическим отделением, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1222-3351

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

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 следующим 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; Остапенко В.С. — методология, проверка и редактирование рукописи; Ткачева О.Н. — научное обоснование, методология, проверка и редактирование рукописи.

Источники финансирования. Исследование выполнено в рамках Государственного задания «Комплексные программы реабилитации пациентов в возрасте 60 лет и старше с мультиморбидной патологией и синдромом старческой астении». Рег. № НИОКТР 124020900021-1.

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 2024 г. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Российского геронтологического научно-клинического центра (Москва, Россия) (Протокол № 86 от 28.10.2024).

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

Mariia S. Arefeva, Junior Researcher, Geriatrics Laboratory, Geriatrician, Functional Diagnostics Doctor, Pirogov Russian National Research Medical University.
E-mail: arefieva_ms@rgnkc.ru;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5869-0233

Elena A. Kolesnikova, Ph.D. (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

Ksenia A. Eruslanova, Ph.D. (Med.), Head of Laboratory of Cardiovascular Aging, Cardiologist, Russian Clinical and Research Center of Gerontology, Pirogov Russian National Research Medical University.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0048-268X

Valentina S. Ostapenko, Ph.D. (Med.), Head of Geriatric Department, Russian Clinical and Research Center of Gerontology, Pirogov Russian National Research Medical University.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1222-3351

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
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, writing — review & editing; Eruslanova K.A. — supervision, writing — review & editing; Ostapenko V.S. — methodology, writing — review & editing; Tkacheva O.N. — conceptualization, methodology, writing — review & editing.

Funding. This work was supported by the State Assignment "Comprehensive Rehabilitation Programs for Patients Aged 60 Years and Older with Multimorbidity and Frailty" (Registration No. 124020900021-1).

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 2024 Declaration of Helsinki. The study was approved by the Local Ethics Committee of the Russian Gerontology Research and Clinical Centre (Moscow, Russia) (Protocol No. 86 dated October 28, 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 reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

1. American Diabetes Association Professional Practice Committee for Obesity. Screening, diagnosis, evaluation, and staging of obesity in adults: Standards of Care in Overweight and Obesity-2026. BMJ Open Diabetes Res Care. 2026; 13(Suppl 1): e006247. https://doi.org/10.1136/bmjdrc-2026-006247
2. Maffiuletti N.A., Ratel S., Sartorio A., et al. The impact of obesity on *in vivo* human skeletal muscle function. Curr Obes Rep. 2013; 2(3): 251–260. https://doi.org/10.1007/s13679-013-0066-7
3. Dent E., Morley J.E., Cruz-Jentoft A.J., et al. International Clinical Practice Guidelines for Sarcopenia (ICFSR): screening, diagnosis and management. J Nutr Health Aging. 2018; 22(10): 1148–1161. https://doi.org/10.1007/s12603-018-1139-9
4. Donini L.M., Busetto L., Bischoff S.C., et al. Definition and diagnostic criteria for sarcopenic obesity: ESPEN and EASO consensus statement. Obes Facts. 2022; 15(3): 321–335. https://doi.org/10.1159/000521241
5. Batsis J.A., Barre L.K., Mackenzie T.A., et al. Variation in the prevalence of sarcopenia and sarcopenic obesity in older adults associated with different research definitions: dual-energy X-ray absorptiometry data from the National Health and Nutrition Examination Survey 1999–2004. J Am Geriatr Soc. 2013; 61(6): 974–980. https://doi.org/10.1111/jgs.12260
6. Damanti S., Citterio L., Zagato L., et al. Sarcopenic obesity and pre-sarcopenia contribute to frailty in community-dwelling Italian older people: data from the FRASNET study. BMC Geriatr. 2024; 24(1): 638. https://doi.org/10.1186/s12877-024-05216-6
7. Kanda H., Tateya S., Tamori Y., et al. MCP-1 contributes to macrophage infiltration into adipose tissue, insulin resistance, and hepatic steatosis in obesity. J Clin Invest. 2006; 116: 1494–1505. https://doi.org/10.1172/JCI26498
8. Chen Y.F., Lee C.W., Wu H.H., et al. Immunometabolism of macrophages regulates skeletal muscle regeneration. Front Cell Dev Biol. 2022; 10: 948819. https://doi.org/10.3389/fcell.2022.948819
9. Jiang H., Zhang Y., Luo Z., et al. Immunometabolic mechanisms of osteosarcopenic obesity: chronic inflammation, trained immunity, and systemic immune dysregulation. Front Immunol. 2026; 17: 1808488. https://doi.org/10.3389/fimmu.2026.1808488
10. Ono T., Hayashi M., Sasaki F., et al. RANKL biology: bone metabolism, the immune system, and beyond. Inflamm Regen. 2020; 40: 2. https://doi.org/10.1186/s41232-019-0111-3
11. Aryana I.G.P.S., Paulus I.B., Kalra S., et al. The important role of intermuscular adipose tissue on metabolic changes interconnecting obesity, ageing and exercise: a systematic review. touchREV Endocrinol. 2023; 19(1): 54–59. https://doi.org/10.17925/EE.2023.19.1.54
12. Арефьева М.С., Колесникова Е.А., Рунихина Н.К. и др. 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., et al. 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.).]
13. Billingsley H.E., Del Buono M.G., Canada J.M., et al. Sarcopenic obesity is associated with reduced cardiorespiratory fitness compared with nonsarcopenic obesity in patients with heart failure with reduced ejection fraction. Circ Heart Fail. 2022; 15(10): e009518. https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.122.009518
14. Deng S., Mei S., Zhou Q., et al. Characteristics of cardiopulmonary exercise capacity in adults with different degrees of obesity. Front Physiol. 2025; 15: 1466153. https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1466153
15. Villareal D.T., Apovian C.M., Kushner R.F., et al. Obesity in older adults: technical review and position statement of the American Society for Nutrition and NAASO, The Obesity Society. Am J Clin Nutr. 2005; 82(5): 923–934. https://doi.org/10.1093/ajcn/82.5.923
16. Sharma A., Lytle K.A., Jensen M.D. Relationship between aerobic fitness and adipose tissue insulin resistance. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2026; 330(1): E81–E87. https://doi.org/10.1152/ajpendo.00327.2025
17. Cui N., Li Q., Cheng J., et al. Association Between Metabolic Syndrome and Cardiac Autonomic Nervous Function and Cardiorespiratory Fitness in Older Adults: A Retrospective Observational Study with Propensity Score Overlap Weighting. Clin Interv Aging. 2025; 20: 93–105. https://doi.org/10.2147/CIA.S489409

18. Fico B.G., Maharaj A., Pena G.S., et al. The Effects of Obesity on the Inflammatory, Cardiovascular, and Neurobiological Responses to Exercise in Older Adults. Biology (Basel). 2023; 12(6): 865. https://doi.org/10.3390/biology12060865
19. Cruz-Jentoft A.J., Bahat G., Bauer J., et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. Age Ageing. 2019; 48(1): 16–31. https://doi.org/10.1093/ageing/afy169
20. Baumgartner R.N., Wayne S.J., Waters D.L., et al. Sarcopenic obesity predicts instrumental activities of daily living disability in the elderly. Obes Res. 2004; 12(12): 1995–2004. https://doi.org/10.1038/oby.2004.250
21. Saito H., Matsue Y., Kamiya K., et al. Sarcopenic obesity is associated with impaired physical function and mortality in older patients with heart failure: insight from FRAGILE-HF. BMC Geriatr. 2022; 22(1): 556. https://doi.org/10.1186/s12877-022-03168-3
22. 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
23. Myers J., Prakash M., Froelicher V., et al. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. N Engl J Med. 2002; 346(11): 793–801. https://doi.org/10.1056/NEJMoa011858
24. Colleluori G., Villareal D.T. Weight strategy in older adults with obesity: calorie restriction or not? Curr Opin Clin Nutr Metab Care. 2023; 26(1): 17–22. https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000879
25. von Haehling S., Langer H.T., Heymsfield S.B., et al. Sarcopenia in Ageing and Chronic Illness: Trial Endpoints and Regulatory Issues. J Cachexia Sarcopenia Muscle. 2025; 16(3): e13841. https://doi.org/10.1002/jcsm.13841

Оригинальная статья / Original article
DOI: https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-83-91

Эффективность применения антигравитационной беговой дорожки со 100 % разгрузкой массы тела в комплексной реабилитации пациентов после эндопротезирования коленного сустава: рандомизированное контролируемое исследование

Тулупов Д.О., Кончугова Т.В., Назарова К.М.*, Марфина Т.В., Марченкова Л.А., Габуева Л.А.

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

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Тотальное эндопротезирование коленного сустава (ТЭКС) остается золотым стандартом лечения гонартроза тяжелой степени, однако функциональное восстановление пациентов в послеоперационный период нередко лимитировано болевым синдромом, мышечной слабостью и нарушением биомеханики ходьбы.

ЦЕЛЬ. Оценить клиническую эффективность антигравитационной беговой дорожки (АГБД) в комплексной медицинской реабилитации пациентов после ТЭКС, в том числе при сочетании с высокоинтенсивной лазерной терапией (high-intensity laser therapy — HILT).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Проведено проспективное рандомизированное контролируемое исследование с участием 90 пациентов (45–75 лет) в ранний послеоперационный период ТЭКС (1–180 дней) на базе ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России с июня 2025 г. по июнь 2026 г. Пациенты были распределены на три группы: контрольная (стандартная комплексная программа медицинской реабилитации, $n = 30$), основная группа 1 (стандартная комплексная программа медицинской реабилитации и тренировки на АГБД, $n = 30$) и основная группа 2 (стандартная комплексная программа медицинской реабилитации, тренировки на АГБД и HILT на аппарате высокоинтенсивной лазерной терапии, $n = 30$). Оценка проводилась до 14-дневного курса и после него по визуальной аналоговой шкале боли (ВАШ), индексам Лекена, Бартела, Ривермид, шкале оценки качества жизни EQ-5D-5L (EQ-VAS), данным изокинетической динамометрии, лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ) и пространственно-временным параметрам ходьбы.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В обеих активных группах достигнуто статистически значимое снижение болевого синдрома ВАШ: с 8 баллов до 4 баллов в основной группе 1 и до 2,5 балла в основной группе 2 ($p = 0,01$), повышение функциональной мобильности (индекс Ривермид: с 7 баллов до 10 баллов и 12 баллов соответственно; $p = 0,01$) и качества жизни (EQ-VAS: с 55 баллов до 75 баллов и с 57 баллов до 82 баллов; $p = 0,001$). Комбинированная методика обеспечила более выраженную нормализацию микроциркуляции (прирост перфузии по ЛДФ — с 15,99 пф.ед. до 22,89 пф.ед. против с 14,29 пф.ед. до 16,15 пф.ед. в основной группе 1; $p = 0,01$) и симметризацию весовой нагрузки на нижние конечности. В контрольной группе значимой динамики большинства показателей не зафиксировано.

ОБСУЖДЕНИЕ. Ключевым результатом нашей работы является доказательство дополнительного преимущества комбинированной методики, сочетающей локомоторную тренировку на АГБД с высокоинтенсивной лазерной терапией. В основной группе 2 зафиксированы более выраженное снижение болевого синдрома (медиана ВАШ — 2,5 балла против 4 баллов), улучшение качества жизни (EQ-VAS 82 балла против 75 баллов) и нормализация микроциркуляции (прирост перфузии на 43 % против 13 % в группе, где использовалась только АГБД).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Включение АГБД в программу реабилитации после ТЭКС позволяет достоверно повысить функциональные исходы и качество жизни пациентов. Дополнение тренировок высокоинтенсивной лазерной терапией потенцирует анальгетический и вазоактивный эффекты, что позволяет рекомендовать данную комбинацию как оптимальную стратегию немедикаментозного восстановления в ранний послеоперационный период.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: медицинская реабилитация, эндопротезирование коленного сустава, антигравитационная беговая дорожка, высокоинтенсивная лазерная терапия, биологическая обратная связь, гонартроз

Для цитирования / For citation: Тулупов Д.О., Кончугова Т.В., Назарова К.М., Марфина Т.В., Марченкова Л.А., Габуева Л.А. Эффективность применения антигравитационной беговой дорожки со 100 % разгрузкой массы тела в комплексной реабилитации пациентов после эндопротезирования коленного сустава: рандомизированное контролируемое исследование. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(5):83–91. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-83-91 [Tulupov D.O., Konchugova T.V., Nazarova K.M., Marfina T.V., Marchenkova L.A., Gabueva L.A. Effectiveness of a 100 % Body Weight Relief Anti-Gravity Treadmill in a Comprehensive Rehabilitation Following Knee Replacement: A Randomized Controlled Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):83–91. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-83-91 (In Russ.).]

* **Для корреспонденции:** Назарова Кристина Михайловна, E-mail: nazarovakm@nmicrk.ru

Статья получена: 01.09.2026
Статья принята к печати: 30.09.2026
Статья опубликована: 23.10.2026

© 2026, Тулупов Д.О., Кончугова Т.В., Назарова К.М., Марфина Т.В., Марченкова Л.А., Габуева Л.А.
Эта статья открытого доступа по лицензии CC BY-NC-SA 4.0. Издательство: ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

Effectiveness of a 100 % Body Weight Relief Anti-Gravity Treadmill in a Comprehensive Rehabilitation Following Knee Replacement: A Randomized Controlled Study

Denis O. Tulupov, Tatiana V. Konchugova, Kristina M. Nazarova*, Tatiana V. Marfina, Larisa A. Marchenkova, Larisa A. Gabueva

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

ABSTRACT

INTRODUCTION. Total knee arthroplasty (TKA) remains the gold standard for treating severe gonarthrosis; however, functional recovery in the postoperative period is often limited by pain, muscle weakness, and impaired gait biomechanics.

AIM. To assess the clinical effectiveness of the anti-gravity treadmill (AGT) in a comprehensive medical rehabilitation of patients following total knee arthroplasty (TKA), both as a standalone therapy and in conjunction with high-intensity laser therapy (HILT).

MATERIALS AND METHODS. A prospective randomized controlled trial was conducted involving 90 patients (aged 45–75 years) in the early postoperative period of TKA (1–180 days) at the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, from June 2025 to June 2026. The patients were divided into three groups: the control group (standard comprehensive medical rehabilitation programme, $n = 30$), main group 1 (standard comprehensive medical rehabilitation programme combined with AGT, $n = 30$) and main group 2 (standard comprehensive medical rehabilitation programme, training on the AGT and HILT device, $n = 30$). Assessments were performed before and after a 14-day course using the Visual Analogue Scale (VAS), Lequesne index, Barthel index, Rivermead Mobility Index, EQ-5D-5L (EQ-VAS) quality-of-life scale, isokinetic dynamometry, laser Doppler flowmetry (LDF), and spatiotemporal gait parameters.

RESULTS. Both active groups showed statistically significant reductions in pain (VAS: from 8 points to 4 points in the main group 1 and to 2.5 points in the main group 2; $p = 0.01$), improvements in functional mobility (Rivermead index: from 7 points to 10 points and 12 points, respectively; $p = 0.01$), and improved quality of life (EQ-VAS: from 55 points to 75 points and from 57 points to 82 points; $p = 0.001$). The combined protocol provided more pronounced normalization of microcirculation (increase in LDF perfusion from 15.99 to 22.89 perfusion units against 14.29 to 16.15 perfusion units in the main group 1; $p = 0.01$). Additionally, there was a more balanced distribution of weight-bearing on the lower limbs. In contrast, the control group exhibited no significant changes across most parameters.

DISCUSSION. The key result of our work is the proof of the additional benefit of the combined technique, which combines locomotor training on AGT with high-intensity laser therapy. In the main group 2, a more pronounced reduction in pain syndrome was recorded (median VAS score: 2.5 points vs. 4 points), an improvement in quality of life (EQ-VAS score: 82 points vs. 75 points), and normalization of microcirculation (43 % increase in perfusion vs. 13 % in the group where only AGT was used).

CONCLUSION. Incorporating the anti-gravity treadmill into the rehabilitation programme following total knee arthroplasty (TKA) notably enhances functional outcomes and quality of life. Furthermore, the inclusion of high-intensity laser therapy amplifies analgesic and vasoactive effects, endorsing this combination as an optimal non-pharmacological approach for recovery during the initial postoperative phase.

KEYWORDS: medical rehabilitation, knee arthroplasty, anti-gravity treadmill, high-intensity laser therapy, biofeedback, gonarthrosis

For citation: Tulupov D.O., Konchugova T.V., Nazarova K.M., Marfina T.V., Marchenkova L.A., Gabueva L.A. Effectiveness of a 100 % Body Weight Relief Anti-Gravity Treadmill in a Comprehensive Rehabilitation Following Knee Replacement: A Randomized Controlled Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):83–91. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-83-91 (In Russ.).

* **For correspondence:** Kristina M. Nazarova, E-mail: nazarovakm@nmicrk.ru

Received: 01.09.2026
Accepted: 30.09.2026
Published: 23.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

Нарушение функции статики и ходьбы после тотального эндопротезирования коленного сустава (ТЭКС) остается одной из центральных проблем современной восстановительной медицины. По данным Всемирной организации здравоохранения, более 20 % населения планеты страдает от различных форм нарушения локомоции, при этом гонартроз занимает лидирующие позиции среди причин стойкой утраты трудоспособности [1, 2]. В Российской Федерации ежегодно выполняется свыше 80 000 операций по эндопротезированию коленного сустава, и этот показатель неуклонно растет на 10–15 % в год [2, 3]. Несмотря на технический успех хирургического вмешательства, функциональные ограничения сохраняются у значительного числа пациентов: через 6 месяцев около 12 % не могут пройти без остановки более 15 минут, а через 12 месяцев этот показатель достигает 39 % [3–5].

Ключевыми патогенетическими факторами, лимитирующими восстановление, являются послеоперационный болевой синдром, выраженная слабость четырехглавой мышцы бедра, кинезиофобия и формирование компенсаторных двигательных стереотипов [6]. Традиционные методы лечебной физкультуры на ранних этапах нередко неприменимы из-за невозможности полноценной осевой нагрузки на оперированную конечность, что создает серьезный барьер для своевременного начала кинезиотерапии.

Антигравитационная беговая дорожка (АГБД) функционирует на основе технологии дифференциального

давления воздуха. Устройство позволяет снижать осевую нагрузку на опорно-двигательный аппарат в диапазоне от 1 до 100 % массы тела с шагом 1 % [7].

В отличие от подвесных систем, которые искажают биомеханику ходьбы за счет сгибания в тазобедренных суставах и изменения длины шага, АГБД сохраняет физиологический паттерн движения. Гидрокинезотерапия, в свою очередь, снижает мышечную активность на 30–40 % из-за вязкости водной среды [8, 9].

В физиотерапевтической практике активно применяется метод высокоинтенсивной лазерной терапии (high-intensity laser therapy — HILT). Аппараты данного класса генерируют излучение мощностью до 30 Вт в инфракрасном спектре, обеспечивая глубокое проникновение в ткани.

Laotammateep C. et al. в 2025 г. [10] в двойном слепом рандомизированном контролируемом исследовании подтвердили эффективность HILT в отношении боли, функционального статуса и объема сгибательных движений у пациентов с остеоартрозом коленного сустава. В целом данных о применении HILT в сочетании с локомоторными тренировками в ранний послеоперационный период ТЭКС в научной литературе не встречается, что и определило актуальность настоящего исследования.

ЦЕЛЬ

Изучить клиническую эффективность применения АГБД, в том числе в комбинации с высокоинтенсивной лазерной терапией, в медицинской реабилитации пациентов после ТЭКС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено открытое проспективное рандомизированное контролируемое исследование в параллельных группах на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России (Москва, Россия) с июня 2025 г. по июнь 2026 г. Дизайн одобрен локальным этическим комитетом (Протокол № 5 от 15.05.2025). Все пациенты подписали добровольное информированное согласие. Метод рандомизации — использование таблицы случайных чисел.

Критерии включения. В исследование включено 90 пациентов (мужчины и женщины) в возрасте 45–75 лет после ТЭКС в срок 1–180 дней с момента оперативного лечения, с уровнем функциональной мобильности по индексу мобильности Ривермид 4–5 баллов.

Критерии невключения и исключения соответствовали стандартным противопоказаниям к проведению лечебной физкультуры, механотерапии и физиотерапии, включая тяжелые сердечно-сосудистые декомпенсации, острые тромбозы, злокачественные новообразования, психические расстройства и судорожные состояния.

Пациенты были распределены на три группы по 30 человек каждая:

Контрольная группа — базовая комплексная программа медицинской реабилитации, включающая роботизированную механотерапию на аппарате «Артромот» (Orthoclass, Германия) (пассивная разработка объема движений, 10 процедур по 20 минут), комплекс лечебной гимнастики с инструктором (10 процедур по 30 минут), низкоинтенсивную лазерную терапию (импульсный режим, 10 процедур по 5 минут), магнитотерапию (35 мТл, 10 процедур по 10 минут) и воздействие синусоидальными модулированными токами (10 процедур по 10 минут).

Основная группа 1 — базовая комплексная программа медицинской реабилитации и тренировка навыков ходьбы на АГБД R-Force (BTL, Россия) с разгрузкой веса тела и биологической обратной связью (10 процедур).

Основная группа 2 — базовая комплексная программа медицинской реабилитации, тренировка навыков ходьбы на АГБД R-Force и высокоинтенсивная лазерная терапия на область оперированного коленного сустава аппаратом BTL-6000 (BTL, Россия) (10 процедур).

Все процедуры проводили ежедневно, оценку динамики выполняли через 14 дней после начала реабилитации.

Методика тренировки на антигравитационной беговой дорожке

Использовался протокол R-0301 с высоким уровнем разгрузки массы тела (55–60 %), очень низкой скоростью (1,5–2,5 км/ч) и малым наклоном (0–1 %). Протокол состоял из шести разделов общей продолжительностью 20 минут: разминка, основная часть с постепенным увеличением скорости и наклона и заключительный этап расслабления. Частота тренировок — 5 раз в неделю.

Методика высокоинтенсивной лазерной терапии

Применялась программа L-5006 аппарата BTL-6000 в четырех режимах: импульсный (11 Вт, 25 Гц, DF 25 %), суперимпульсный (20 Вт, 1000 Гц, DF 10 %), треугольный (9 Вт, 100 Гц) и непрерывный (7,5 Вт). Рекомендуемая доза — 74–89 Дж/см^2, длительность процедуры 4–7 минут, курс — 10 процедур.

Методы оценки

Эффективность реабилитации оценивалась до курса и после него по следующим параметрам: интенсивность болевого синдрома по визуальной аналоговой шкале (ВАШ, 0–10 баллов). Для оценки функционального статуса применялись индекс Лекена (0–24 балла), индекс Бартела (0–100 баллов), индекс мобильности Ривермид (0–15 баллов). Для оценки качества жизни были использованы ВАШ EQ-VAS опросника EQ-5D-5L. Биомеханика ходьбы оценивалась по пространственно-временным параметрам (темп, длина и ширина шага, длительность фаз опоры и переноса, весовая нагрузка на каждую конечность) на дорожке R-Force. Изокинетическая динамометрия мышц бедра проводилась на комплексе CON-TREX (Physiomed, Германия) (максимальная и средняя сила разгибания). Параметры микроциркуляции — лазерная допплеровская флоуметрия (ЛДФ) — оценивались на аппарате «ЛАКК-02» с вейвлет-анализом амплитуд ритмов.

Статистический анализ

Количественные показатели представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного интервала [Q1; Q3]. Для сравнения трех независимых групп использовался критерий Краскела — Уоллиса, для попарных срав-

нений — критерий Манна — Уитни с поправкой Бонферрони (уровень значимости $p < 0,017$). Внутригрупповая динамика была оценена с помощью критерия Вилкоксона. Анализ выполнялся в программе Microsoft Statistica 11.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На момент начала проведения исследования пациенты всех групп были сопоставимы по половозрастным и клинико-функциональным характеристикам ($p > 0,05$). Возраст включенных в исследование пациентов составил 45–75 лет, срок после операции — от 1 до 180 дней. Исходно функциональные показатели выборки ($n = 90$) отражали снижение функционального состояния: индекс Лекена — 20 [20; 21] баллов, EQ-VAS — 19 [18; 20] баллов, индекс Бартела — 60 [55; 60] баллов, индекс Ривермид — 7 [7; 7] баллов, ВАШ — 8 [7,75; 8] баллов. Угол сгибания коленного сустава составил 105 [100; 110]°, темп ходьбы — 65 [54; 66] шагов/мин.

По данным ЛДФ, у 96 % пациентов зарегистрированы нарушения микроциркуляции по ишемическому типу: средний уровень перфузии составил 14,27 пф.ед., коэффициент вариации флакса — лишь 0,55 %, что свидетельствовало о выраженном снижении вазомоторной активности.

При оценке динамики клинико-функциональных показателей в контрольной группе отмечено достоверное улучшение только по индексу Лекена (с 20 баллов до 17 баллов; $p < 0,05$). В обеих активных группах достигнуты значимые изменения по всем оцениваемым параметрам (табл. 1).

Динамика индекса Бартела в обеих основных группах достигла 90 баллов, что соответствует умеренной зависимости (необходима частичная помощь), тогда как в контрольной группе показатель остался на уровне 69 баллов. По индексу мобильности Ривермид основная группа 2 продемонстрировала более высокие значения (12 баллов против 10 баллов в группе «R-Force») с меньшим размахом квартилей, что указывает на более однородный ответ на терапию.

Интенсивность боли по шкале ВАШ статистически значимо снизилась в обеих основных группах ($p = 0,01$) до клинически незначимых уровней: медиана — 4 балла в группе «R-Force» и 2,5 балла в группе «R-Force и HILT». В контрольной группе снижение с 8 баллов до 6,5 балла не достигло статистической значимости ($p = 0,22$) (табл. 2). Межгрупповое различие между основными группами не достигло порога значимости ($p = 0,36$), что, вероятно, обусловлено узким диапазоном исходных значений (7–8 баллов).

Таблица 1. Сравнительный анализ показателей клинико-функционального состояния пациентов, Me [Q1; Q3]
Table 1. Comparative analysis of indicators of the clinical and functional status of patients, Me [Q1; Q3]

Тестовые задания / Test	R-Force (*n* = 30)		R-Force + HIL (*n* = 30)		Контрольная группа / Control group (*n* = 30)		*p*
	До / Before	После / After	До / Before	После / After	До / Before	После / After	
Индекс Лекена, балл / Lequesne index, score	20 [19,1; 21]	12 [11; 13]	20 [20; 21]	12 [11; 12,5]	20 [19,5; 21]	17 [16,5; 18]	0,72
	0,001*		0,01*		0,05*		
Индекс Бартела, балл / Barthel index, score	60 [56; 90]	90 [85; 90]	60 [55; 60]	90 [85; 90]	60 [55; 65]	69 [64; 74]	0,05
	0,01*		0,01*		0,31		
Индекс мобильности Ривермид, балл / Rivermead mobility index, score	7 [7; 7]	10 [10; 10]	7 [7; 7]	12 [10,5; 12]	7 [7; 7]	7 [7; 8]	0,05
	0,01*		0,01*		0,68		

Примечание: ** — статистически значимое различие по сравнению с исходным уровнем ($p < 0,05$, критерий Вилкоксона).*
Note: ** — a statistically significant difference compared to the baseline level ($p < 0.05$, Wilcoxon test).*

Таблица 2. Сравнительный анализ показателей по визуальной аналоговой шкале боли, Me [Q1; Q3]
Table 2. Comparative analysis of indicators using the Visual Analog Scale, Me [Q1; Q3]

Тестовые задания / Test	R-Force (*n* = 30)		R-Force + HIL (*n* = 30)		Контрольная группа / Control group (*n* = 30)		*p*
	До / Before	После / After	До / Before	После / After	До / Before	После / After	
Визуальная аналоговая шкала боли, балл / Visual Analog Scale, score	8 [8; 8]	4 [4; 4]	8 [7; 8]	2,5 [1,25; 4]	8 [7,5; 8]	6,5 [5; 6]	0,36
	0,01*		0,01*		0,22		

Примечание: ** — статистически значимое различие по сравнению с исходным уровнем ($p < 0,05$, критерий Вилкоксона).*
Note: ** — a statistically significant difference compared to the baseline level ($p < 0.05$, Wilcoxon test).*

В обеих основных группах зафиксированы достоверные изменения параметров ходьбы (рис. 1). Парадоксальное снижение темпа ходьбы в основных группах (с 65 шагов/мин до 53–56 шагов/мин) интерпретируется как переход от компенсаторной, нестабильной походки к более контролируемой и безопасной. В группе с добавлением HILT этот переход менее выражен (медиана темпа выше — 56 шагов/мин против 53 шагов/мин; $p = 0,01$), что отражает повышение скоростных характеристик.

Длительность фазы переноса нижней конечности, критически важная для симметричной ходьбы, в группе «R-Force и HILT» оказалась короче. Межгрупповые различия ($p \leq 0,01$ для обеих нижних конечностей) указывают на то, что эффекты, полученные от HILT, позволяют повысить скорость переноса нижней конечности, приближая параметры к результатам здоровых людей. Длина шага, ширина шага и длина двойного шага не различались между группами, что означает следующее: пространственные характеристики ходьбы определяются преимущественно самой АГБД, а добавление HILT не дает дополнительного эффекта для этого параметра.

По данным изокинетической динамометрии, в группе комбинированного воздействия отмечено более выраженное восстановление мышечной силы в левой нижней конечности проксимально (с 3 баллов до 5 баллов против 5/5 в группе «R-Force»; $p = 0,01$). Это подтверждает эффективность применения HILT при исходном дефиците силы. Мышечная группа левой нижней конечности пациентов группы «R-Force и HILT» на прежнем уровне (5 баллов), тогда как группа с применением только «R-Force» показала незначительный прирост (табл. 3).

Наиболее убедительные различия между активными группами выявлены при оценке микроциркуляторного русла. В группе «R-Force и HILT» зафиксирован значительный рост средней арифметической перфузии

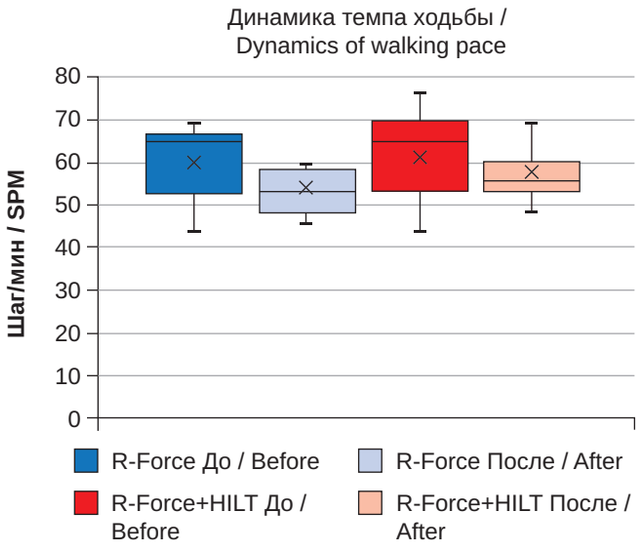


Рис. 1. Динамика темпа ходьбы в основных группах до курса реабилитации и после него
Fig. 1. Dynamics of walking pace in the main groups before the rehabilitation course and after it

Таблица 3. Сравнительный анализ показателей силы мышц бедра, по данным изокинетической динамометрии, Me [Q1; Q3]
Table 3. Comparative analysis of thigh muscle strength indicators based on isokinetic dynamometry data, Me [Q1; Q3]

Тестовые задания / Test	R-Force ($n = 30$)		R-Force + HIL ($n = 30$)		Контрольная группа / Control group ($n = 30$)		p
	До / Before	После / After	До / Before	После / After	До / Before	После / After	
Мышечная сила в правой нижней конечности проксимально, балл / Muscle strength in the right lower limb proximally, score	3 [3; 5]	4 [4; 5]	5 [2; 5]	5 [3; 5]	3 [2; 5]	3 [2; 5]	0,59
	0,01*		0,01*		0,77		
Мышечная сила в правой нижней конечности дистально, балл / Muscle strength in the right lower limb distally, score	4 [3; 5]	4 [4; 5]	5 [5; 5]	5 [5; 5]	4,5 [3; 5]	4,5 [3; 5]	0,42
	0,01*		1		0,54		
Мышечная сила в левой нижней конечности проксимально, балл / Muscle strength in the left lower limb proximally, score	5 [2; 5]	5 [3; 5]	3 [3; 5]	5 [3; 5]	4 [2; 5]	4 [3; 5]	0,01#
	0,01*		0,01*		0,91		
Мышечная сила в левой нижней конечности дистально, балл / Muscle strength in the left lower limb distally, score	5 [4,2; 5]	5 [5; 5]	5 [5; 5]	5 [5; 5]	5 [4; 5]	5 [4; 5]	0,01#
	0,01*		0,32		0,74		

Примечание: ** — статистически значимое различие по сравнению с исходным уровнем ($p < 0,05$, критерий Вилкоксона), # — статистически значимое различие между группами R-Force и R-Force + HIL ($p < 0,017$, U-критерий Манна — Уитни с поправкой Бонферрони).*
Note: ** — statistically significant difference compared to the baseline level ($p < 0.05$, Wilcoxon test), # — statistically significant difference between the R-Force and R-Force + HIL groups ($p < 0.017$, Mann — Whitney U test with Bonferroni correction).*

по ЛДФ — с 15,99 пф.ед. до 22,89 пф.ед. (прирост более чем в полтора раза превысил таковой в группе «R-Force» — с 14,29 пф.ед. до 16,15 пф.ед.) (рис. 2). Межгрупповое различие $p \leq 0,01$ сохраняется, тогда как показатели вариабельности кровотока (среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации) между группами не различаются. Это означает, что метод HILT увеличивает перфузию, но не меняет характер ее флуктуаций.

Симметричность распределения весовой нагрузки на обе нижние конечности после реабилитации выше в группе с HILT: в обеих группах получена одинаковая медиана нагрузки (50 кг на каждую ногу), но в группе «R-Force и HILT» межквартильный размах меньше, а различия между распределением весовой нагрузки на левую и правую ногу отсутствуют (табл. 4). В группе «R-Force» разброс значений сохраняется. Статистически значимое межгрупповое различие ($p \leq 0,01$) отражает именно стабилизацию и симметризацию опоры.

До начала курса реабилитации показатели самооценки здоровья пациентов во всех группах были снижены (EQ-VAS: 55–57 баллов). После курса реабилитации в группе «R-Force и HILT» отмечено наиболее выраженное улучшение — с 57 баллов до 82 баллов, тогда как в группе «R-Force» — с 55 баллов до 75 баллов ($p = 0,001$). В контрольной группе значимой динамики не зафиксировано (с 56 баллов до 57 баллов; $p = 0,92$) (рис. 3).

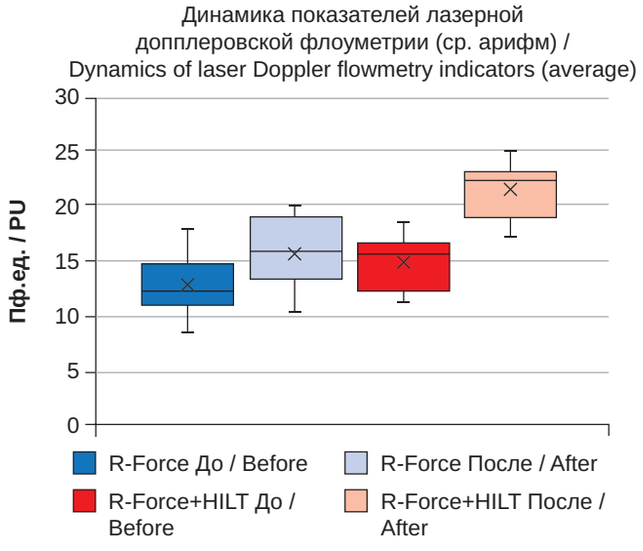


Рис. 2. Динамика показателей лазерной допплеровской флоуметрии (среднее арифметическое) в обеих группах до курса реабилитации и после него
Fig. 2. Dynamics of laser Doppler flowmetry indicators (mean ± standard deviation) in both groups before the rehabilitation course and after it

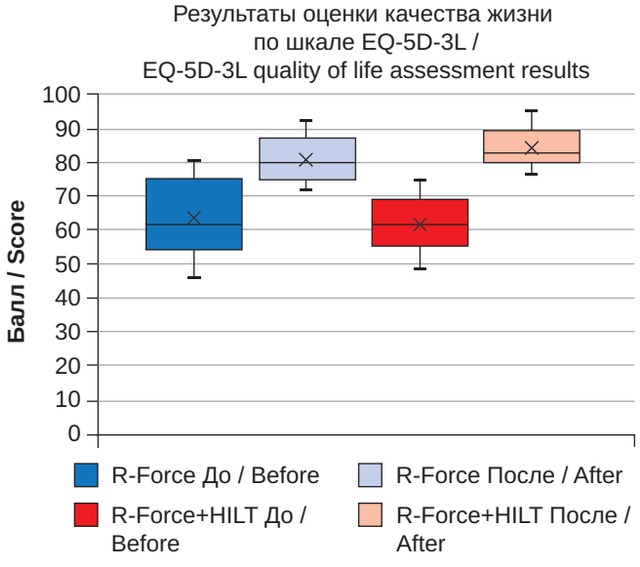


Рис. 3. Результаты оценки качества жизни по шкале EQ-5D-3L (EQ-VAS) в основных группах до курса реабилитации и после него
Fig. 3. The results of the quality of life assessment using the EQ-5D-3L (EQ-VAS) scale in the main groups before the rehabilitation course and after it

Таблица 4. Сравнительный анализ распределения весовой нагрузки на нижние конечности, Me [Q1; Q3]
Table 4. Comparative analysis of the distribution of weight load on the lower limbs, Me [Q1; Q3]

Тестовые задания / Test	R-Force ($n = 30$)		R-Force + HIL ($n = 30$)		Контрольная группа / Control group ($n = 30$)		p
	До / Before	После / After	До / Before	После / After	До / Before	После / After	
Весовая нагрузка на левую нижнюю конечность, кг / Weight load on the left lower limb, kg	46 [43,25; 55]	50 [49,25; 51]	52 [43; 55]	50 [50; 51]	49 [43; 54]	50 [44; 53]	0,01#
	0,01*		0,01*		0,68		
Весовая нагрузка на правую нижнюю конечность, кг / Weight load on the right lower limb, kg	51 [45; 56,75]	50 [49; 50,75]	48 [45; 57]	50 [49; 50]	47 [44; 56]	48 [42; 55]	0,01#
	0,01*		0,01*		0,75		

Примечание: ** — статистически значимое различие по сравнению с исходным уровнем ($p < 0,05$, критерий Вилкоксона), # — статистически значимое различие между группами R-Force и R-Force + HIL ($p < 0,017$, U-критерий Манна — Уитни с поправкой Бонферрони).*
Note: ** — statistically significant difference compared to the baseline level ($p < 0.05$, Wilcoxon test), # — statistically significant difference between the R-Force and R-Force + HIL groups ($p < 0.017$, Mann — Whitney U-test with Bonferroni correction).*

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование продемонстрировало, что включение АГБД в программу медицинской реабилитации пациентов после ТЭКС обеспечивает статистически и клинически значимое повышение функциональных исходов по сравнению со стандартной комплексной программой медицинской реабилитации. Полученные результаты согласуются с данными метаанализа 12 исследований (n = 684) [10], показавшего повышение скорости ходьбы на 38 %, увеличение расстояния 6-минутного теста на 42 % и снижение боли по ВАШ на 4,2 балла при использовании АГБД в ранний послеоперационный период.

Ключевым результатом нашей работы является доказательство дополнительного преимущества комбинированной методики, сочетающей локомоторную тренировку на АГБД с высокоинтенсивной лазерной терапией. В группе «R-Force и HILT» зафиксировано более выраженное снижение болевого синдрома (медиана ВАШ — 2,5 балла против 4 баллов), улучшение качества жизни (EQ-VAS 82 балла против 75 баллов) и нормализация микроциркуляции (прирост перфузии на 43 % против 13 % в группе, где использовалась только АГБД) [11].

Особого внимания заслуживает влияние HILT на микроциркуляторное русло. Ишемический тип нарушений микроциркуляции, зарегистрированный у 96 % пациентов исходно, является типичным проявлением раннего восстановительного периода после ТЭКС и связан с эндотелиальной дисфункцией, нарушением NO-опосредованной вазодилатации и повышением тонуса сосудов. Добавление HILT в комплексную программу медицинской реабилитации пациентов, перенесших ТЭКС, обеспечило не только количественный рост перфузии, но и качественную перестройку микроциркуляторного русла с нормализацией миогенного и нейрогенного тонуса, что согласуется с данными Kulchitskaya D.B. et al. 2017 г. [12]. Важно отметить, что в долгосрочной перспективе наиболее значимыми оказались положительные изменения в состоянии венулярного звена микроциркуляции, что имеет прямое отношение к профилактике тромбоэмболических осложнений.

Динамика пространственно-временных параметров ходьбы продемонстрировала интересную закономерность: снижение темпа ходьбы в обеих основных группах, которое на первый взгляд может показаться негативным, на самом деле отражает переход к более контролируемому, физиологическому паттерну движения. Исходно высокий темп (65 шагов/мин) у пациентов с выраженным болевым синдромом и мышечной слабостью, вероятно, являлся компенсаторным механизмом, направленным на сокращение времени опоры на пораженную нижнюю конечность. После курса реабилитации снижение темпа до 53–56 шагов/мин сопровождалось улучшением всех качественных характеристик ходьбы: увеличением длительности фазы переноса, симметризацией весовой нагрузки и уменьшением ширины шага. В группе с применением HILT этот переход был менее выражен (темп выше на 3 шага/мин), что свидетельствует о более быстром купировании болевого синдрома и, как следствие, о возможности сохранить скоростные характеристики ходьбы без ущерба для качества движения.

Сравнение с альтернативными технологиями весовой разгрузки подтверждает преимущества АГБД. В отличие от подвесных систем, которые искажают биомеханику ходьбы (сгибание в тазобедренных суставах до 15–20°, изменение длины шага на 20–30 %), и гидрокинезотерапии, где вязкость среды снижает мышечную активность на 30–40 %, АГБД обеспечивает тренировку в условиях, максимально приближенных к ходьбе в естественных условиях [13]. Это критически важно для формирования правильного двигательного стереотипа, а не компенсаторных паттернов, которые в дальнейшем требуют длительной коррекции.

Экономический аспект внедрения АГБД также заслуживает внимания. Анализ показывает, что при интенсивном использовании (не менее 15–20 часов в неделю) тренажер окупается за 2–3 года за счет сокращения сроков стационарного лечения на 30–40 % и снижения инвалидизации [14]. Комбинирование АГБД с HILT, не требующей значительных дополнительных затрат, повышает клиническую эффективность без пропорционального увеличения стоимости курса, что делает данную стратегию экономически обоснованной.

Ограничения исследования

Ограничения исследования включают относительно небольшой объем выборки (n = 90), отсутствие долгосрочного наблюдения (оценка проводилась только через 14 дней) и открытый дизайн (пациенты и персонал знали о распределении по группам). Тем не менее использование объективных инструментальных методов оценки (изокинетическая динамометрия, ЛДФ, биомеханический анализ ходьбы) минимизирует риск систематической ошибки. Требуются дальнейшие исследования с более длительным периодом наблюдения (6–12 месяцев) для оценки устойчивости достигнутых эффектов и влияния на частоту поздних осложнений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

АГБД представляет собой высокоэффективный инновационный инструмент в арсенале современной восстановительной медицины, позволяющий преодолеть традиционное противоречие между необходимостью ранней нагрузки и ее непереносимостью. Включение тренировок на АГБД в программу реабилитации пациентов после ТЭКС достоверно улучшает показатели качества жизни, функционального статуса, снижает выраженность болевого синдрома и способствует восстановлению активности и участия в повседневной деятельности.

Дополнение локомоторных тренировок высокоинтенсивной лазерной терапией обеспечивает дополнительный анальгетический, вазоактивный и реабилитационный эффекты, что проявляется в более раннем и выраженном снижении болевых ощущений, нормализации микроциркуляции и улучшении пространственно-временных параметров ходьбы. Комбинированная методика «R-Force и HILT» может быть рекомендована в качестве оптимальной стратегии немедикаментозной реабилитации для повышения клинической эффективности и качества жизни пациентов после эндопротезирования коленного сустава. Дальнейшее развитие и внедрение этой технологии в клиническую практику реабилитационных центров будет способствовать улучшению функциональных результатов и снижению частоты инвалидизации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Тулупов Денис Олегович, научный сотрудник, отдел соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия, врач физической и реабилитационной медицины, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7812-0545

Кончугова Татьяна Венедиктовна, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, отдел физиотерапии и рефлексотерапии, заведующий кафедрой восстановительной медицины, физической терапии и медицинской реабилитации, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0991-8988

Назарова Кристина Михайловна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, отдел ортопедии, биомеханики, кинезиотерапии и мануальной терапии, специалист по эргореабилитации, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
E-mail: nazarovakm@nmicrk.ru;
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-2590-6755

Марфина Татьяна Владимировна, научный сотрудник, отдел физиотерапии и рефлексотерапии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2553-1946

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

Габуева Лариса Аркадьевна, доктор экономических наук, руководитель управления по организации образовательной деятельности, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6249-3443

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: Кончугова Т.В., Марченкова Л.А., Габуева Л.А. — научное обоснование; Назарова К.М., Кончугова Т.В. — написание черновика рукописи, анализ данных; Тулупов Д.О., Марфина Т.В. — обеспечение материалов для исследования; Марченкова Л.А., Кончугова Т.В. — проверка и редактирование рукописи, утверждение окончательного варианта статьи.

Источники финансирования. Данное исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы «Эффективность применения медицинского изделия “Антигравитационная беговая дорожка для реабилитации с принадлежностями: модель R-Force Elite со 100 % разгрузкой массы тела в комплексной реабилитации пациентов после эндопротезирования коленного сустава”».

Конфликт интересов. Кончугова Т.В. — заместитель главного редактора журнала «Вестник восстановительной медицины». Марченкова Л.А. — председатель редакционного совета журнала «Вестник восстановительной медицины». Габуева Л.А. — член редакционной коллегии журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные 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, а также Хельсинкской декларации в редакции 2024 г. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России (Москва, Россия) (Протокол № 5 от 15.05.2025).

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

Denis O. Tulupov, Researcher, Unit of Somatic Rehabilitation, Reproductive Health and Active Longevity, Physician of Physical and Rehabilitation Medicine, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7812-0545

Tatiana V. Konchugova, D.Sc. (Med.), Professor, Chief Researcher, Department of Physiotherapy and Reflexology, Head of the Department of Rehabilitation Medicine, Physical Therapy and Medical Rehabilitation, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0991-8988

Kristina M. Nazarova, PhD (Biol.), Senior Researcher, Department of Orthopedics, Biomechanics, Kinesitherapy and Manual Therapy, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
E-mail: nazarovakm@nmicrk.ru;
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-2590-6755

Tatiana V. Marfina, Researcher, Department of Physiotherapy and Reflexology, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2553-1946

Larisa A. Marchenkova, D.Sc. (Med.), Associate Professor, Head of the Research Department, Chief Researcher, Unit of Somatic Rehabilitation, Reproductive Health and Active Longevity, Professor of 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

Larisa A. Gabueva, D.Sc. (Econ.), Head of the Department for the Organization of Educational Activities, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6249-3443

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: Konchugova T.V., Marchenkova L.A., Gabueva L.A. — conceptualization; Nazarova K.M., Konchugova T.V. — writing — original draft, analysis; Tulupov D.O., Marfina T.V. — resources; Marchenkova L.A., Konchugova T.V. — writing — review & editing, approval of the final version of the article.

Funding. The study was carried out within the framework of the research work "The effectiveness of the medical device "The effectiveness of the R-Force Elite anti-gravity rehabilitation treadmill with accessories, providing 100 % body weight relief, in the comprehensive rehabilitation of patients following knee replacement surgery".

Disclosure. Konchugova T.V. — Deputy Editor-in-Chief of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal. Marchenkova L.A. — Chair of the Editorial Council of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal. Gabueva L.A. — Member of Editorial Board of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal. The other authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Ethics Approval. The authors state that all the procedures used in this article comply with the ethical standards of the institutions that conducted the study, as well as the Helsinki Declaration, as amended in 2024. The study was approved by the local ethics committee of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology (Moscow, Russia) (Protocol No. 5 dated May 15, 2025).

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 reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

1. WHO G. WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000–2011. Geneva: Department of Health Statistics and Information Systems. 2013.
2. Назарова К.М., Налобина А.Н. Влияние синдрома «Пизанской башни» на равновесие и походку при болезни Паркинсона: сравнительное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2024; 23(3): 8–13. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-8-13 [Nazarova K.M., Nalobina A.N. The Effect of the Pisa Syndrome on Balance and Gait in Parkinson's Disease: a Comparative Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3): 8–13. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-8-13 (In Russ.).]
3. Преображенский П.М., Филь А.С., Корнилов Н.Н. и др. Эндопротезирование коленного сустава в клинической практике: анализ 36 350 наблюдений из регистра НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена. Травматология и ортопедия России. 2023; 29(3): 73–85. [Preobrazhensky P.M., Fil A.S., Kornilov N.N., et al. Knee arthroplasty in clinical practice: analysis of 36,350 cases from the register of the National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after R.R. Vreden. Traumatology and Orthopedics of Russia. 2023; 29(3): 73–85 (In Russ.).]
4. Atan T., Bildik Y.E., Demir Y., et al. Comparison of anti-gravity treadmill training and traditional treadmill training in patients with moderate to severe knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. Irish Journal of Medical Science. 2025; 194(1): 125–136. https://doi.org/10.1007/s11845-024-03836-w
5. Trovato B., Sortino M., Roggio F., Musumeci G. Exploring the effects of anti-gravity treadmill training in musculoskeletal disorders: A systematic review. Heliyon. 2024; 10(23): e40605. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40605
6. Runhaar J., Bierma-Zeinstra S.M.A. The challenges in the primary prevention of osteoarthritis. Clinics in Geriatric Medicine. 2022; 38(2): 259–271.
7. Agrawal S., Oza P., Kakkar R., et al. Analysis and recommendation system-based on PRISMA checklist to write systematic review. Assessing Writing. 2024; 61: 100866. https://doi.org/10.1016/j.asw.2024.100866
8. Moseley A.M., Fernández Hernando D., Saragiotto B.T., et al. The Physiotherapy Evidence Database (PEDro) has better free full-text access than PubMed: An observational study. Brazilian Journal of Physical Therapy. 2022; 26(1): 100392. https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2022.100392
9. Iheozor-Ejiofor Z., Savović J., Bowater R.J., Higgins J.P.T. The application of ROBINS-I guidance in systematic reviews of non-randomised studies: A descriptive study. Research Synthesis Methods. 2026; 17(2): 265–276. https://doi.org/10.1017/rsm.2025.10048
10. Laotammateep C., Champaiboon J., Surarangsit T., et al. Efficacy of high intensity laser therapy versus sham laser in symptomatic knee osteoarthritis: a double-blind randomized controlled trial. Lasers Med Sci. 2025; 40(1): 87. https://doi.org/10.1007/s10103-025-04352-8
11. Bugbee W.D., Pulido P.A., Goldberg T., D'Lima D.D. Use of an anti-gravity treadmill for early postoperative rehabilitation after total knee replacement: a pilot study to determine safety and feasibility. American journal of orthopedics (Belle Mead, NJ). 2016; 45(4): E167–73.
12. Kulchitskaya D.B., Konchugova T.V., Fedorova N.E. Comparative evaluation of the effects of high-intensity and low-intensity laser radiation on microcirculation among patients with knee arthritis. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2017; 826(1): 012015. https://doi.org/10.1088/1742-6596/826/1/012015
13. Swinnen E., Baeyens J.P., Knaepen K., et al. Walking with robot assistance: the influence of body weight support on the trunk and pelvis kinematics. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology. 2015; 10(3): 252–257. https://doi.org/10.3109/17483107.2014.888487
14. Chau W.W., Lau M.Y., Choi T.L., et al. Effect of a tailor-made hydrotherapy on physical functions in patients after unilateral unicompartmental knee arthroplasty-A feasibility study. Arthroplasty. 2025; 7(1): 9. https://doi.org/10.1186/s42836-024-00291-x

Оригинальная статья / Original article
DOI: https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-92-102

Эффективность тренировок с положительным давлением на выдохе у пациентов после реконструкции постинфарктной аневризмы левого желудочка и аортокоронарного шунтирования: проспективное исследование

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

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

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Тренировки с положительным давлением на выдохе (ПДВ) широко применяются в респираторной реабилитации пациентов после аортокоронарного шунтирования (АКШ). Однако их эффективность у пациентов после геометрической реконструкции левого желудочка (ГРЛЖ) на фоне хронической сердечной недостаточности (ХСН) изучена не в полном объеме.

ЦЕЛЬ. Изучить эффективность ПДВ-тренировок у пациентов после ГРЛЖ с исходной ХСН в сравнении с пациентами после АКШ в ранний послеоперационный период.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В исследование включено 40 пациентов: группа I (n = 20) — пациенты после ГРЛЖ + АКШ, группа II (n = 20) — пациенты после АКШ. Протокол респираторной реабилитации в обеих группах был идентичный. Оценка проводилась в трех точках (I — до операции, II — перевод из отделения реанимации и интенсивной терапии, III — выписка) и включала спирометрию, эхокардиографию, интегральную реографию тела и суточную пульсоксиметрию.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Исходно группа I имела статистически значимо худшие показатели по сердечной (фракция выброса: 44,6 % [40,72; 48,00] против 54,4 % [51,30; 59,92]; $p < 0{,}001$) и дыхательной функциям (форсированная жизненная емкость легких: 86,10 % [81,60; 91,42] против 98,4 % [93,07; 104,98]; $p < 0{,}001$). После оперативного вмешательства в обеих группах наблюдалась сопоставимая отрицательная динамика показателей дыхательной системы с преобладанием нарушений газообмена в группе I ($p < 0{,}001$). К моменту выписки показатели спирометрии в обеих группах восстанавливались сопоставимо. При этом в группе I, в отличие от группы II, сохранялись выраженная системная гиперволемия (объем внеклеточной жидкости: 26,90 [23,45; 27,60] л против 19,25 [16,70; 22,10] л; $p < 0{,}001$) и нарушения газообмена во сне (индекс десатурации: 8,45 [7,75; 9,18] против 5,80 [5,17; 7,62]; $p < 0{,}001$).

ОБСУЖДЕНИЕ. Сопоставимое восстановление спирометрии к выписке, несмотря на исходно худшую функцию внешнего дыхания (ФВД) в группе I, указывает на эффективность ПДВ-тренировок у пациентов с различной степенью ХСН. Сохраняющиеся гиперволемия и ночная десатурация в группе I, вероятно, связаны с ночным ростральным смещением жидкости и отсутствием прироста фракции выброса после хирургического ремоделирования. Корреляция фракции выброса с показателями спирометрии подтверждает ведущую роль исходной тяжести ХСН в послеоперационном восстановлении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ПДВ-тренировки являются эффективным методом восстановления ФВД у пациентов после ГРЛЖ и АКШ. Вместе с тем наличие исходной тяжелой ХСН требует мультимодального подхода, включающего также коррекцию водного баланса и нарушений дыхания во сне.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геометрическая реконструкция левого желудочка, респираторная реабилитация, положительное давление на выдохе, аортокоронарное шунтирование, послеоперационные легочные осложнения

Для цитирования / For citation: Затенко М.А., Мамалыга М.Л., Джитава Т.Г., Данилов С.А. Эффективность тренировок с положительным давлением на выдохе у пациентов после реконструкции постинфарктной аневризмы левого желудочка и аортокоронарного шунтирования: проспективное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(5):92–102. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-92-102 [Zatenko M.A., Mamalyga M.L., Dzhitava T.G., Danilov S.A. Effectiveness of Positive Expiratory Pressure Training in Patients after Reconstruction of Postinfarction Left Ventricular Aneurysm and Coronary Artery Bypass Grafting: A Prospective Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):92–102. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-92-102 (In Russ.).]

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

Статья получена: 12.12.2025
Статья принята к печати: 31.08.2026
Статья опубликована: 23.10.2026

© 2026, Затенко М.А., Мамалыга М.Л., Джитава Т.Г., Данилов С.А.
Эта статья открытого доступа по лицензии CC BY-NC-SA 4.0. Издательство: ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

Effectiveness of Positive Expiratory Pressure Training in Patients after Reconstruction of Postinfarction Left Ventricular Aneurysm and Coronary Artery Bypass Grafting: A Prospective Study

Mark A. Zatenko*, **Maksim L. Mamalyga**, **Tamara G. Dzhitava**, **Sergey A. Danilov**

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

ABSTRACT

INTRODUCTION. Positive expiratory pressure (PEP) training is widely used in respiratory rehabilitation for patients after coronary artery bypass grafting (CABG). However, its effectiveness in patients after left ventricular geometric reconstruction (LVGR) with underlying chronic heart failure (CHF) has not been fully investigated.

AIM. To study the effectiveness of PEP-training in patients after LVGR with baseline CHF in comparison with patients after CABG in the early postoperative period.

MATERIALS AND METHODS. The study included 40 patients: Group I (n = 20) — patients after LVGR + CABG, and Group II (n = 20) — patients after CABG. The respiratory rehabilitation protocol was identical in both groups. Assessment was performed at three time points (I — before surgery, II — at transfer from the intensive care unit, III — discharge) and included spirometry, echocardiography, integral rheography of the body, and 24-hour pulse oximetry.

RESULTS. At baseline, Group I had significantly worse parameters in both cardiac (ejection fraction: 44.6 % [40.72; 48.00] vs 54.4 % [51.30; 59.92]; $p < 0.001$) and respiratory function (forced vital capacity: 86.10 % [81.60; 91.42] vs 98.4 % [93.07; 104.98]; $p < 0.001$). After the surgical intervention, a comparable negative trend in respiratory system parameters was observed in both groups, with a predominance of gas exchange disturbances in Group I ($p < 0.001$). By the time of discharge, spirometry parameters recovered comparably in both groups. However, Group I, unlike Group II, exhibited persistent significant systemic hypervolemia (extracellular fluid water: 26.90 [23.45; 27.60] L vs 19.25 [16.70; 22.10] L; $p < 0.001$) and sleep-related gas exchange disturbances (oxygen desaturation index: 8.45 [7.75; 9.18] vs 5.80 [5.17; 7.62]; $p < 0.001$).

DISCUSSION. Comparable spirometry recovery by discharge, despite the initially worse pulmonary function in Group I, indicates the effectiveness of PEP-training in patients with varying degrees of CHF. Persistent hypervolemia and nocturnal desaturation in Group I are likely related to nocturnal rostral fluid shift and the absence of an ejection fraction increase after surgical remodeling. The correlation between ejection fraction and spirometry parameters supports the leading role of baseline CHF severity in postoperative recovery.

CONCLUSION. PEP-training is an effective method for restoring pulmonary function in patients after LVGR and CABG. However, the presence of severe baseline CHF requires a multimodal approach, which also includes the correction of fluid balance and sleep-disordered breathing.

KEYWORDS: left ventricular geometric reconstruction, respiratory rehabilitation, positive expiratory pressure, coronary artery bypass grafting, postoperative pulmonary complications

For citation: Zatenko M.A., Mamalyga M.L., Dzhitava T.G., Danilov S.A. Effectiveness of Positive Expiratory Pressure Training in Patients after Reconstruction of Postinfarction Left Ventricular Aneurysm and Coronary Artery Bypass Grafting: A Prospective Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):92–102. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-92-102 (In Russ.).

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

Received: 12.12.2025
Accepted: 31.08.2026
Published: 23.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

Послеоперационные легочные осложнения являются широко распространенной проблемой раннего послеоперационного периода после кардиохирургических вмешательств в условиях искусственного кровообращения (ИК) у пациентов с ишемической болезнью сердца. Их частота у пациентов после аортокоронарного шунтирования (АКШ) может достигать 50 % [1]. В качестве патогенетически обоснованного метода респираторной реабилитации пациентов после АКШ и других кардиохирургических вмешательств в условиях ИК широко применяются тренировки с положительным давлением на выдохе (ПДВ) [2, 3]. Механизм действия метода, основанный на рекрутировании альвеол и предотвращении экспираторного коллапса дыхательных путей, обеспечивает эффективное восстановление объемно-скоростных показателей спирометрии, устранение ателектазов и улучшение легочного газообмена [4].

Пациенты с постинфарктной аневризмой левого желудочка (ПИАЛЖ), перенесшие геометрическую реконструкцию левого желудочка (ГРЛЖ), представляют собой особую группу пациентов высокого риска [5, 6]. Сложность и травматичность вмешательства, сопровождаемые увеличением времени ИК и пережатия аорты, повышают риск развития респираторных нарушений и осложненного течения раннего послеоперационного периода [7, 8]. Тяжелая хроническая сердечная недостаточность (ХСН), имеющаяся исходно у данной группы пациентов, характеризуется легочным застоем, увеличением объема внеклеточной жидкости [9] и слабостью дыхательной мускулатуры [10], что обусловли-

вает снижение показателей функции внешнего дыхания (ФВД) и газообмена еще на дооперационном этапе.

В научной литературе крайне мало работ, посвященных изучению применения ПДВ-тренировок у пациентов с ХСН. Кроме того, отсутствуют данные об эффективности и безопасности применения данного метода для восстановления показателей респираторной функции у пациентов после хирургической коррекции ПИАЛЖ.

ЦЕЛЬ

Изучить эффективность ПДВ-тренировок у пациентов после ГРЛЖ с исходной ХСН в сравнении с пациентами после АКШ в ранний послеоперационный период.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

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

В исследовании приняло участие 40 пациентов. Медиана возраста составила 61,5 [54,75; 67,25] года. Участники были разделены на группы: 1) основная (группа I; n = 20): пациенты с ПИАЛЖ и ХСН, перенесшие ГРЛЖ и АКШ; 2) группа сравнения (группа II; n = 20): пациенты без ПИАЛЖ и ХСН, перенесшие только АКШ.

Критерии исключения: хронические заболевания легких, затрудненный вербальный контакт с пациентом, гемодинамическая нестабильность, осложненное течение раннего послеоперационного периода (развитие острой дыхательной или сердечной недостаточности, нарушений ритма, кровотечений, острого нарушения мозгового кровообращения и вторичной инфекции).

Протокол респираторной реабилитации для обеих групп включал курс респираторных ПДВ-тренировок с использованием аппарата EzPAP (Smiths Medical, Великобритания), к которому подключался магистральный кислород.

Процедуры проводились натощак, в положении пациента сидя. Частота сеансов составляла 3–5 раз в сутки продолжительностью 3–10 минут в зависимости от индивидуальных возможностей пациента и сроков послеоперационного периода. Во время сеанса поддерживалось соотношение вдоха к выдоху 1 : 2. Давление на выдохе контролировалось с помощью встроенного манометра и находилось в диапазоне 10–20 см вод. ст.

Оценка клинико-инструментальных данных выполнялась в трех временных точках:

- дооперационный этап;
- перевод из отделения реанимации и интенсивной терапии в хирургическое отделение;
- выписка из стационара (10–12-е сутки после операции).

Комплекс обследований включал следующие методы:

- эхокардиография (аппарат Philips HD15 (Philips, Нидерланды));
- спирометрия (аппарат СМП-21/01-«Р-Д» (ООО «НПП "Монитор"», Россия));
- интегральная реография тела (аппарат Диамант-Р (ООО «Диамант», Россия));
- суточная пульсоксиметрия (аппарат MD300W (ChoiceMMed, Китай)).

Все хирургические вмешательства в обеих группах проводились по стандартным протоколам в условиях общей анестезии, с применением ИК, искусственной вентиляции легких и кардиоплегической защиты миокарда.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программного обеспечения Stattech (версия 4.9.4) и SPSS (версия 26.0). Проверка, согласно критерию Шапиро — Уилка, выявила ненормальное распределение количественных данных, в связи с чем применялись методы непараметрической статистики. Количественные данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха (Me [Q1; Q3]). Для сравнения двух независимых выборок применялся U-критерий Манна — Уитни. Оценка динамики показателей в трех точках наблюдения проводилась с помощью критерия Фридмана с апостериорными сравнениями по критерию Коновера — Имана с поправкой Холма. Для анализа бинарных показателей в связанных выборках использовался критерий Мак-Немара. Поиск взаимосвязей между переменными осуществлялся с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Уровень статистической значимости был принят равным $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исходно группы не имели статистически значимых различий по ключевым демографическим и антропометрическим показателям (табл. 1).

Таблица 1. Клинико-демографическая характеристика пациентов
Table 1. Clinical and demographic characteristics of patients

Показатель / Parameter		Группа I / Group I, n = 20	Группа II / Group II, n = 20	p
Возраст, лет / Age, years		63,00 [56,75; 66,25]	57,00 [53,00; 70,25]	0,766
Пол / Sex	**Мужской / Male, n (%)**	18 (90,0)	17 (85,0)	1,000
	Женский / Female, n (%)	2 (10,0)	3 (15,0)	
Рост, см / Height, cm		172,50 [169,00; 176,00]	171,50 [162,75; 184,25]	0,828
Вес, кг / Weight, kg		87,50 [76,50; 90,50]	84,00 [74,50; 86,25]	0,357

Окончание таблицы 1 / Table 1 End

Показатель / Parameter	Группа I / Group I, *n* = 20	Группа II / Group II, *n* = 20	*p*
ИМТ, кг/м² / BMI, kg/m²	29,70 [25,75; 30,20]	25,60 [24,80; 31,55]	0,429
Курение, *n* (%) / Smoking, *n* (%)	8 (40,0)	3 (15,0)	0,155
COVID-19 в анамнезе, *n* (%) / History of COVID-19, *n* (%)	15 (75,0)	11 (55,0)	0,320
Сахарный диабет, *n* (%) / Diabetes mellitus, *n* (%)	5 (25,0)	8 (40,0)	0,501
ГБ, *n* (%) / АН, *n* (%)	13 (65,0)	17 (85,0)	0,273

Примечание: *ГБ — гипертоническая болезнь, ИМТ — индекс массы тела.*
Note: *АН — arterial hypertension, BMI — body mass index.*

Анализ факторов риска выявил высокую распространенность коморбидных состояний. Например, артериальная гипертензия была диагностирована у 65,0 % пациентов в группе I и у 85,0 % в группе II. Также стоит отметить значительную долю пациентов, перенесших COVID-19 (75,0 % и 55,0 % соответственно) и имеющих в анамнезе сахарный диабет (25,0 % и 40,0 % соответственно).

Анализ хирургических характеристик выявил статистически значимые различия между группами (рис. 1). Пациенты группы I характеризовались большей продолжительностью и сложностью оперативного вмешательства. Медиана продолжительности операции в этой группе была на 16,5 % больше, чем в группе II ($p = 0,012$).

Продолжительность ИК и время пережатия аорты в группе I были больше на 36,6 % и 62,5 % соответственно ($p < 0,05$) относительно пациентов группы II. Различия в интраоперационных характеристиках, очевидно, оказывали влияние на течение раннего послеоперационного периода пациентов двух групп. Продолжительность искусственной вентиляции легких в отделении

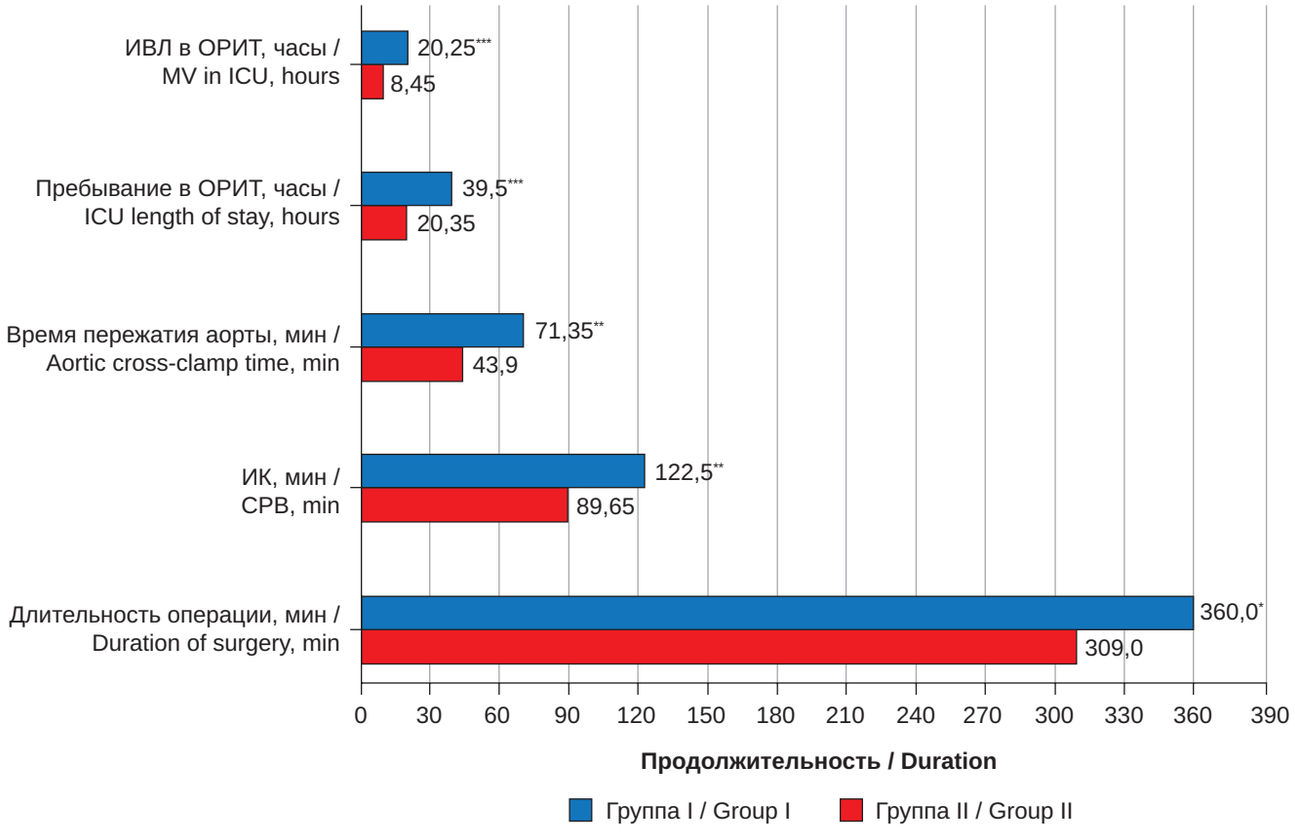


Рис. 1. Хирургическая характеристика пациентов
Fig. 1. Surgical characteristics of patients

Примечание: *ИВЛ — искусственная вентиляция легких, ИК — искусственное кровообращение, ОРИТ — отделение реанимации и интенсивной терапии. Межгрупповые различия: * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$.*
Note: *MV — mechanical ventilation, CPB — cardiopulmonary bypass, ICU — intensive care unit. Intergroup differences: * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.001$.*

реанимации и интенсивной терапии в группе I была почти в 2,4 раза дольше ($p < 0,001$), а пребывание в отделении реанимации и интенсивной терапии — на 94,1 % дольше ($p = 0,001$) по сравнению с группой II.

Эхокардиография

Исходные данные эхокардиографии характеризовались выраженной систолической дисфункцией и постинфарктным ремоделированием левого желудочка (ЛЖ) у пациентов группы I (табл. 2). На дооперационном этапе все ключевые показатели систолической функции и геометрии ЛЖ у них были статистически значимо хуже, чем в группе II. Фракция выброса (ФВ) была ниже на 17,9 % ($p < 0,001$), а конечный диастолический объем превышал показатели группы II на 44,8 % ($p < 0,001$). Наличие зон гипокинеза ЛЖ было выявлено у 100 % пациентов группы I против 40 % в группе II ($p < 0,001$).

На 2-е–3-и сутки после операции в группе I была зафиксирована ожидаемая положительная динамика в результате хирургической коррекции: конечный диастолический объем и конечный систолический объем статистически значимо уменьшились на 28,2 % и 25,8 % соответственно ($p < 0,001$). Несмотря на это, показатели систолической функции и объемов ЛЖ в группе I оставались значительно хуже, чем в группе II ($p < 0,001$). В то же время в группе II значимых изменений геометрии ЛЖ не выявлено.

К моменту выписки эхокардиографическая картина в обеих группах оставалась стабильной. В группе I сохранились достигнутые после операции улучшения в виде уменьшения объемов и размеров ЛЖ. Однако фундаментальные межгрупповые различия, обусловленные исходной тяжестью ХСН, остались неизменными. ФВ в группе I на III этапе была на 16,6 % ниже, чем в группе II (45,90 % против 55,05 %; $p < 0,001$), что подчеркивает сохраняющуюся систолическую дисфункцию у пациентов после ГРЛЖ.

Спирометрия

Анализ ФВД на дооперационном этапе выявил, что пациенты группы II (АКШ) имели исходно более высокие объемные и скоростные показатели по сравнению с группой I (ГРЛЖ). Статистически значимые различия наблюдались по форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) — выше на 14,3 % ($p < 0,001$), объему форсированного выдоха за первую секунду ($ОФВ_1$) — выше на 6,1 % ($p = 0,013$), а также другим показателям спирометрии (табл. 3).

На 2-е–3-и сутки после операции в обеих группах наблюдалось статистически значимое снижение всех спирометрических показателей, что отражает рестриктивный характер респираторных нарушений. Например, ФЖЕЛ в группе I снизилась на 31,6 %, а в группе II — на 34,2 % от исходных значений. На данном этапе статистически значимых различий между группами не наблюдалось.

К моменту выписки отмечались положительная динамика и частичное восстановление функции легких в обеих группах. Тем не менее большинство показателей III этапа оставались статистически значимо ниже дооперационных значений. Важно отметить, что на этапе выписки статистически значимых межгрупповых различий по показателям спирометрии выявлено не было, что свидетельствует о сопоставимом уровне восстановления ФВД у пациентов обеих групп.

Таблица 2. Динамика показателей эхокардиографии в группах I и II
Table 2. Dynamics of echocardiography parameters in groups I and II

Показатель / Parameter	Группа / Group	I этап / Stage I	II этап / Stage II	III этап / Stage III
ФВ, % / EF, %	**I**	44,65 [40,72; 48,00]$^{\#}$	39,40 [36,58; 44,25]$^{\#}$	45,90 [41,20; 48,55]$^{\#}$
	II	54,40 [51,30; 59,92]	54,55 [52,20; 61,05]*	55,05 [54,00; 60,73]***
КДО, мл / EDV, ml	**I**	172,15 [160,68; 190,90]$^{\#}$	123,55 [107,10; 143,97]$^{***\#}$	129,55 [119,92; 138,10]$^{***\#}$
	II	118,90 [101,45; 122,93]	118,65 [93,83; 125,60]	116,40 [88,03; 121,53]*
КСО, мл / ESV, ml	**I**	100,40 [95,75; 112,08]$^{\#}$	74,55 [68,35; 84,90]$^{***\#}$	73,80 [70,15; 80,25]$^{***\#}$
	II	52,55 [40,35; 60,28]	51,40 [34,88; 56,75]*	49,70 [34,58; 54,65]***
УО, мл / SV, ml	**I**	71,85 [66,95; 74,83]$^{\#}$	41,95 [37,90; 67,83]$^{**\#}$	57,35 [47,33; 63,10]*
	II	61,75 [59,27; 69,78]	64,40 [55,25; 68,35]	62,05 [51,07; 65,97]
Гипокинез ЛЖ, *n* (%) / LV hypokinesis, *n* (%)	**I**	20 (100,0)$^{\#}$	20 (100,0)$^{\#}$	20 (100,0)$^{\#}$
	II	8 (40,0)	8 (40,0)	8 (40,0)

Примечание: *КДО — конечный диастолический объем, КСО — конечный систолический объем, ЛЖ — левый желудочек, УО — ударный объем, ФВ — фракция выброса. Внутригрупповые различия (сравнение со значениями I этапа): * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$. Межгрупповые различия: $^{\#}$ — $p < 0,05$.*

Note: *EDV — end-diastolic volume, ESV — end-systolic volume, LV — left ventricle, SV — stroke volume, EF — ejection fraction. Intragroup differences (comparison with stage I values): * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.001$. Intergroup differences: $^{\#}$ — $p < 0.05$.*

Таблица 3. Динамика показателей спирометрии в группах I и II
Table 3. 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**	86,10 [81,60; 91,42]$^{\#}$	58,85 [51,55; 75,30]***	74,55 [67,97; 87,85]
	II	98,45 [93,07; 104,98]	64,80 [58,25; 66,38]***	86,30 [73,80; 94,80]**
ОФВ$_1$, % / FEV$_1$, %	**I**	91,15 [85,90; 94,85]$^{\#}$	57,25 [52,50; 69,75]***	70,90 [65,05; 84,80]**
	II	96,75 [91,40; 103,83]	61,25 [58,30; 63,35]***	85,30 [70,50; 96,00]**
ОФВ$_1$/ФЖЕЛ, % / FEV$_1$/FVC, %	**I**	101,70 [97,53; 105,00]	99,75 [97,33; 103,72]	102,05 [100,05; 106,47]
	II	103,55 [99,97; 106,12]	97,95 [94,77; 102,05]**	102,85 [101,12; 105,72]
ПОС, % / PEF, %	**I**	91,00 [84,70; 97,75]	58,30 [48,55; 68,62]***	76,80 [64,33; 84,48]**
	II	91,50 [88,57; 95,45]	54,30 [49,30; 58,12]***	79,80 [70,82; 104,50]
МОС$_{25}$, % / FEF$_{25}$, %	**I**	85,30 [75,65; 91,60]	58,85 [48,45; 65,83]***	74,65 [62,83; 80,28]**
	II	86,10 [83,90; 100,05]	48,95 [40,33; 61,38]***	78,40 [71,65; 112,15]
МОС$_{50}$, % / FEF$_{50}$, %	**I**	76,30 [70,42; 83,80]$^{\#}$	53,65 [46,67; 57,92]***	71,40 [55,95; 77,55]
	II	91,65 [81,25; 99,00]	52,60 [49,58; 57,75]***	77,45 [66,78; 91,15]*
МОС$_{75}$, % / FEF$_{75}$, %	**I**	77,70 [63,98; 86,85]$^{\#}$	49,05 [46,50; 57,55]***	64,60 [56,35; 77,38]*
	II	87,65 [81,28; 91,30]	45,15 [43,50; 50,40]***	69,50 [62,60; 78,45]**
СОС$_{25–75}$, % / FEF$_{25–75}$, %	**I**	82,25 [70,88; 92,58]$^{\#}$	48,35 [43,10; 53,88]***	74,75 [58,95; 82,58]
	II	92,15 [85,07; 99,40]	48,10 [46,98; 55,35]***	71,30 [65,10; 94,15]**
МВЛ, % / MVV, %	**I**	83,70 [75,55; 90,85]$^{\#}$	53,20 [50,07; 59,97]***	72,00 [58,73; 80,53]**
	II	87,85 [85,97; 100,20]	57,65 [45,30; 61,45]***	72,15 [66,17; 91,33]**

Примечание: *МВЛ — максимальная вентиляция легких, МОС — максимальная объемная скорость, ОФВ$_1$ — объем форсированного выдоха за первую секунду, ПОС — пиковая объемная скорость выдоха, СОС — 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, FEV$_1$ — forced expiratory volume in 1 second, PEF — peak expiratory flow, FVC — forced vital capacity. Intragroup differences (comparison with stage I values): * — $p < 0.05$; ** — $p < 0.01$; *** — $p < 0.001$. Intergroup differences: $^{\#}$ — $p < 0.05$.*

Корреляционный анализ, выполненный в общей когорте пациентов, выявил наличие взаимосвязи между ключевыми показателями сердечной и дыхательной функции как на дооперационном этапе (рис. 2A, B) (ФВ–ФЖЕЛ (ρ = 0,660; $p < 0,001$) и ФВ–ОФВ$_1$ (ρ = 0,426; $p = 0,006$)), так и на III этапе исследования, перед выпиской (рис. 2C, D) (ФВ–ФЖЕЛ (ρ = 0,371; $p = 0,018$) и ФВ–ОФВ$_1$ (ρ = 0,398; $p = 0,011$)).

Суточная пульсоксиметрия

Исходный анализ суточной пульсоксиметрии выявил наличие значимых различий в показателях газообмена между группами еще на дооперационном этапе. Пациенты группы I демонстрировали признаки более выраженной ночной гипоксемии. Так, минимальная ночная сатурация в группе I была на 9,9 % ниже, чем в группе II (82,00 % против 91,00 %; $p < 0,001$), а индекс десатурации (ИД) — выше на 45,3 % (6,90 против 4,75; $p < 0,001$). Динамика ИД и среднесуточной сатурации представлена на рисунке 3.

В ранний послеоперационный период (II этап) было зафиксировано статистически значимое и резкое ухудшение всех показателей в обеих группах. ИД увеличился в 2,9 раза в группе I и в 2,4 раза — в группе II ($p < 0,001$). При этом межгрупповые различия не только сохранились, но и стали более выраженными, подчеркивая более тяжелую степень дыхательных нарушений у пациентов группы I.

К моменту выписки наблюдалась положительная динамика в обеих группах. В группе II показатели газообмена практически полностью вернулись к дооперационным значениям. В группе I, несмотря на улучшение по сравнению со II этапом, показатели оставались статистически значимо хуже, чем в группе II. Например, среднесуточная сатурация в группе I была ниже (93,40 % против 95,00 %; $p < 0,001$), а ИД оставался на 45,7 % выше (8,45 против 5,80; $p < 0,001$), чем в группе II, что свидетельствует о неполном восстановлении функции газообмена у пациентов с исходной ХСН.

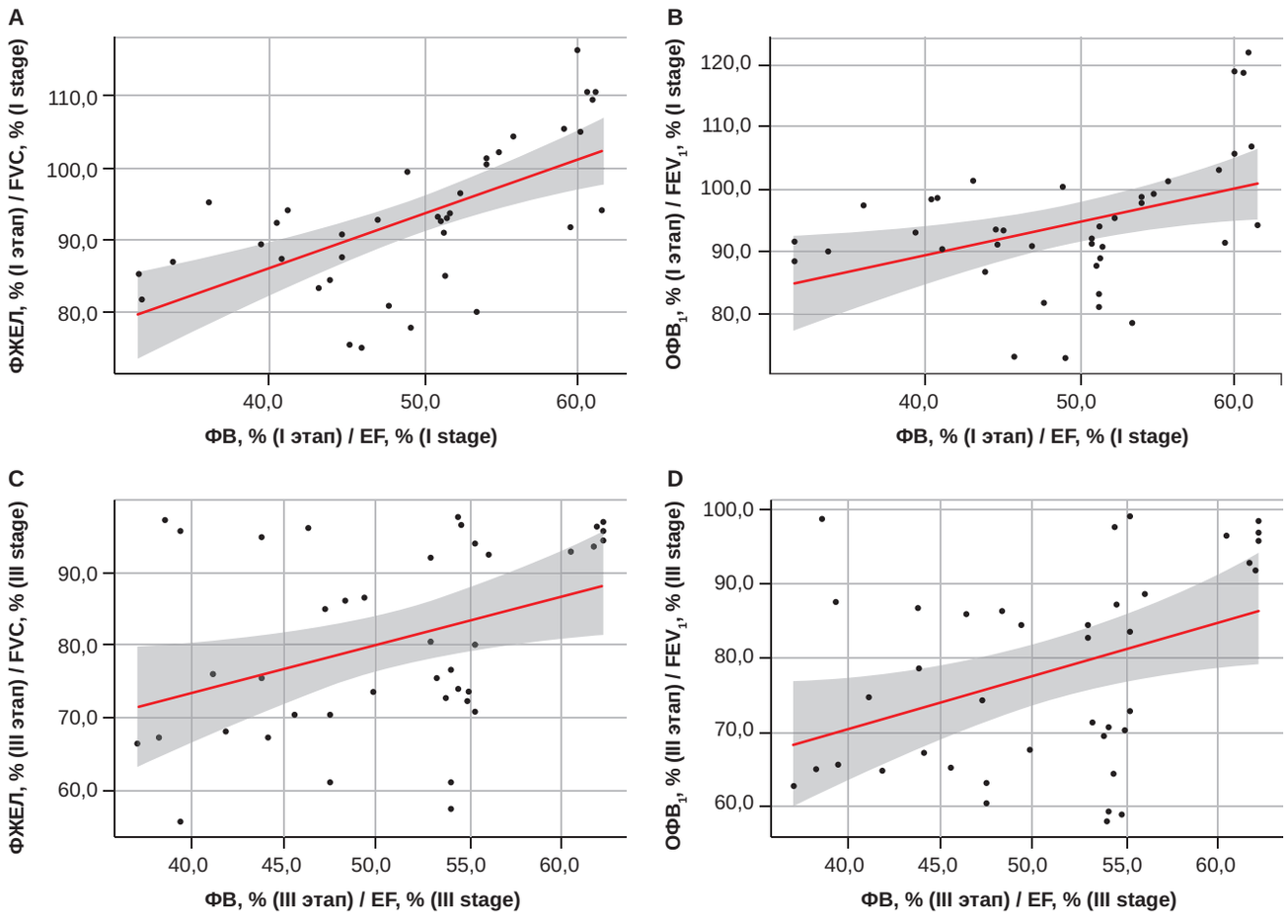


Рис. 2. Графики регрессионной функции, демонстрирующие наличие взаимосвязи между фракцией выброса и показателями ФЖЕЛ и $ОФВ_1$ на I (A–B) и III (C–D) этапах исследования

Fig. 2. Regression function plots demonstrating the relationship between ejection fraction and FVC and FEV_1 parameters at stage I (A–B) and stage III (C–D) of the study

Примечание: *ФВ — фракция выброса, ФЖЕЛ — форсированная жизненная емкость легких, $ОФВ_1$ — объем форсированного выдоха за первую секунду.*

Note: *EF — ejection fraction, FVC — forced vital capacity, FEV_1 — forced expiratory volume in 1 second.*

Интегральная реография тела

Оценка волемического статуса с помощью интегральной реографии тела показала значительные исходные различия между группами (рис. 4). Еще до операции пациенты группы I находились в состоянии гиперволемии, что характерно для ХСН. Объем внеклеточной жидкости у них был на 24,8 % выше ($p < 0{,}001$), а индекс отечности — на 9,0 % выше ($p < 0{,}001$), чем у пациентов в группе II.

В ранний послеоперационный период (II этап) у всех пациентов наблюдалось закономерное увеличение объемов жидкости, связанное с системным воспалительным ответом на хирургическое вмешательство. Однако степень этой задержки жидкости была значительно более выраженной в группе I. Индекс отечности в этой группе увеличился на 12,2 % от исходного, в то время как в группе II — на 8,1 %.

К моменту выписки в группе II показатели волемического статуса вернулись практически к дооперационным значениям, что свидетельствует об адекватной компенсаторной реакции организма. Напротив, в группе I, несмотря на некоторую положительную динамику, сохранялась выраженная гиперволемия. Показатели объема внеклеточной жидкости и индекса отечности оставались статистически значимо выше не только по сравнению с группой II ($p < 0{,}001$), но и по сравнению с их исходными значениями ($p = 0{,}006$ и $p = 0{,}014$ соответственно). Это указывает на сниженную способность пациентов с тяжелой ХСН эффективно восстанавливать водный баланс в послеоперационный период.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты настоящего исследования демонстрируют, что динамика раннего послеоперационного восстановления кардиореспираторной системы у пациентов с миокардиальной дисфункцией (группа I) и сохранной сердечной функцией (группа II) отличается, несмотря на применение единого протокола респираторной реабилитации. Предполагается, что основным фактором, определяющим эти различия, является исходная тяжесть ХСН, что подтверждается обнаруженной корреляцией между показателями сердечной и дыхательной функции на I и III этапах исследования.

Системные проявления ХСН на дооперационном этапе в группе I также включали гиперволемию и более выраженную ночную гипоксемию, что, вероятно, указывает на наличие нарушений дыхания во сне [11].

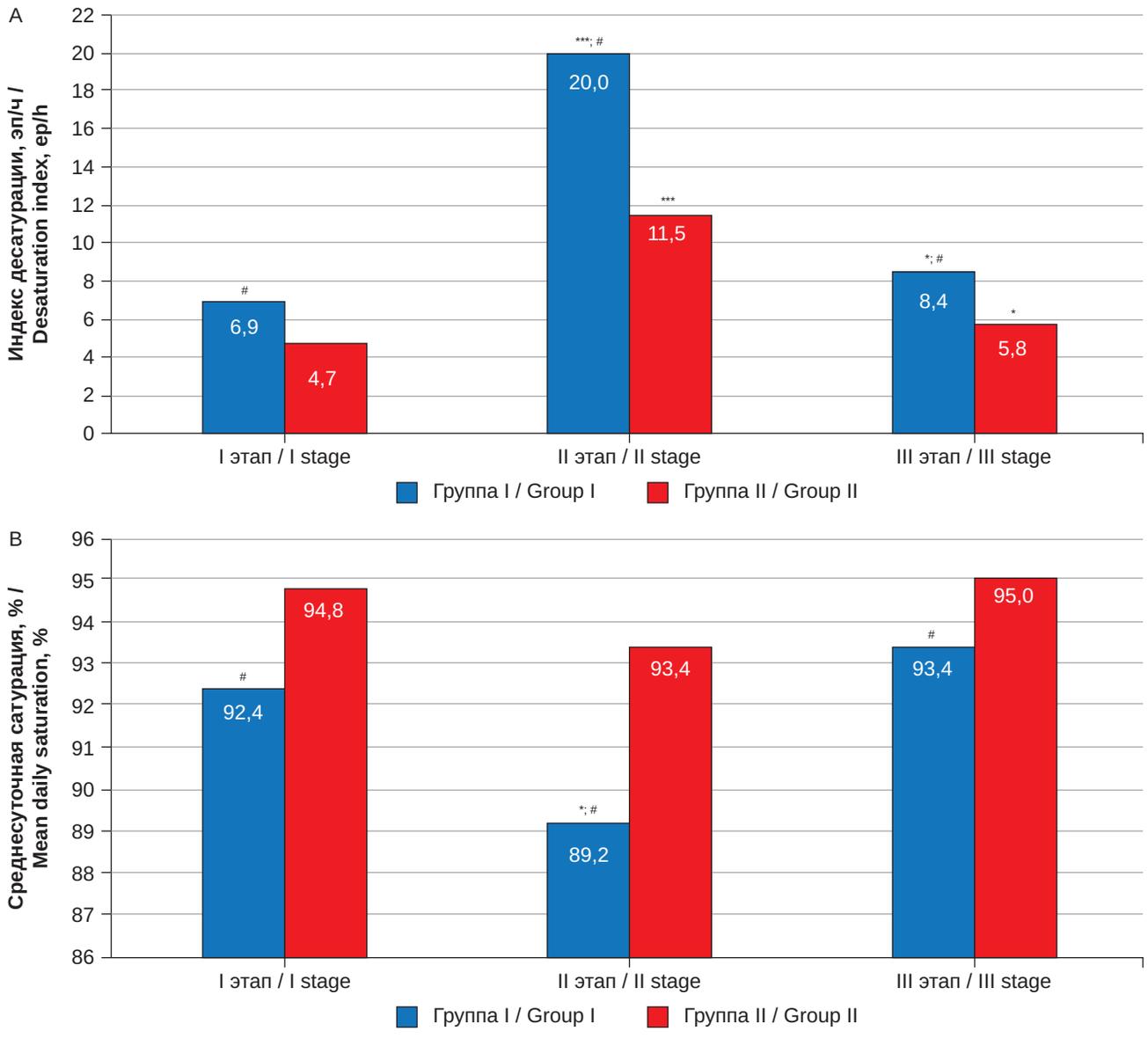


Рис. 3. Межэтапная динамика индекса десатурации (A) и среднесуточной сатурации (B)
Fig. 3. Interstage dynamics of the desaturation index (A) and mean daily saturation (B)

Примечание: *Внутригрупповые различия (сравнение со значениями I этапа): * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$. Межгрупповые различия: # — $p < 0,05$.*
Note: *Intragroup differences (comparison with stage I values): * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.001$. Intergroup differences: # — $p < 0.05$.*

Ключевым наблюдением данного исследования является отсутствие статистически значимых межгрупповых различий по основным показателям ФВД на III этапе, что свидетельствует об эффективности протокола ПДВ-тренировок в контексте восстановления показателей ФВД. Эти данные контрастируют с результатами нашего предыдущего исследования, где при использовании стандартной дыхательной гимнастики у пациентов после ГРЛЖ не отмечалось сопоставимого восстановления показателей спирометрии в сравнении с пациентами после АКШ [12]. Это, вероятно, связано с более слабой активацией дыхательной мускулатуры, а также с более низким и плохо дозируемым сопротивлением на выдохе, что может приводить к неэффективному восстановлению объемных и скоростных показателей спирометрии и газообмена, а также более длительной нормализации мукоцилиарного клиренса.

Несмотря на положительную динамику ФВД к 10–12-м суткам после операции, у пациентов I группы сохранялись системные проявления ХСН, характеризуемые гипергидратацией и сниженным газообменом. У пациентов группы I определяются повышенные показатели интегральной реографии тела и частоты эпизодов апноэ/гипопноэ. Показатель объема внеклеточной жидкости был выше исходных значений на 19,0 % ($p = 0,006$), а ИД оставался повышенным на 22,4 % ($p = 0,033$).

Согласно данным литературы, сонно-дыхательные расстройства широко распространены среди пациентов с ХСН и могут наблюдаться более чем у 50 % пациентов с миокардиальной дисфункцией [13]. Более того, именно персистирующая гиперволемия у пациентов

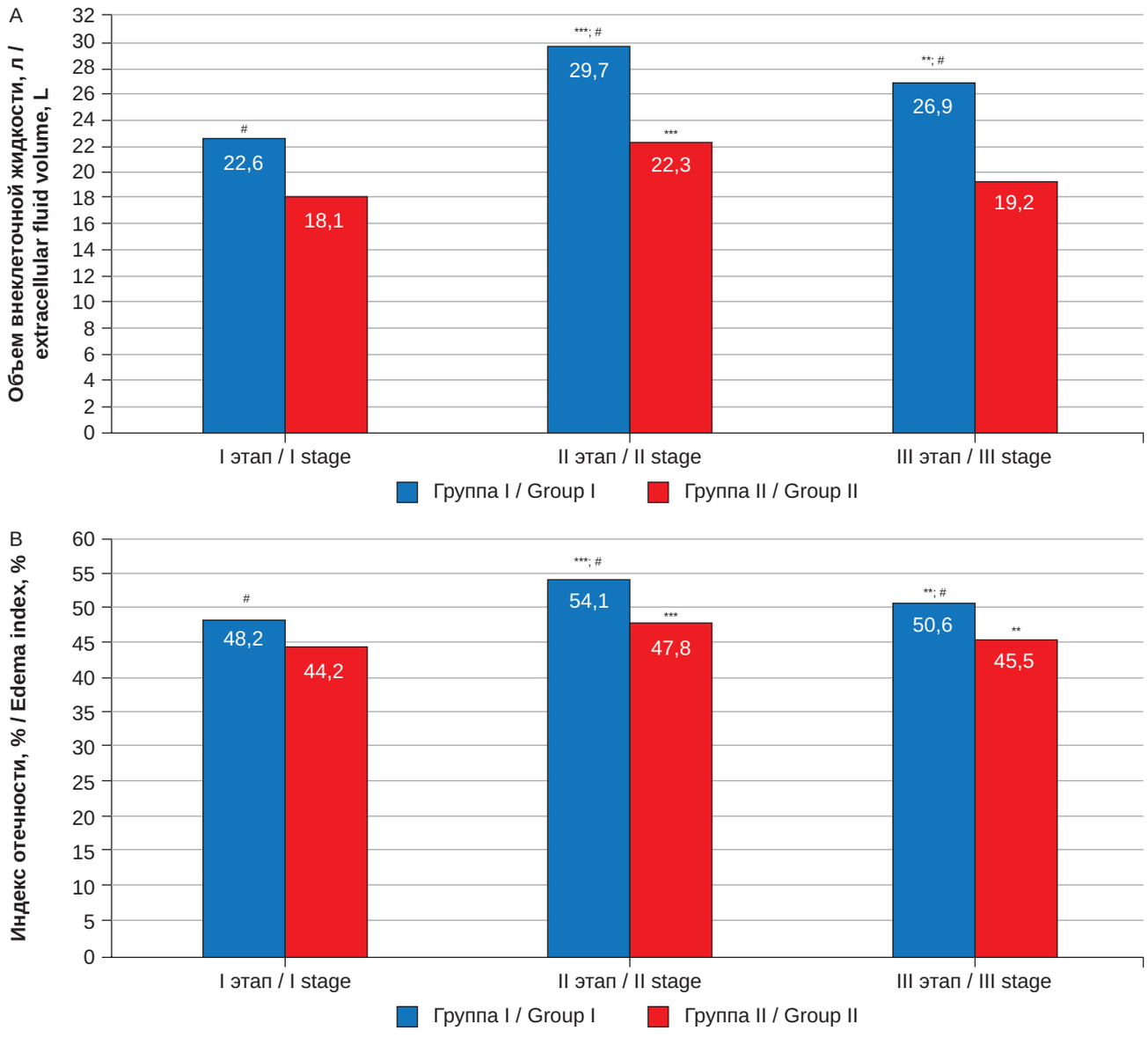


Рис. 4. Межэтапная динамика объема внеклеточной жидкости (A) и индекса отечности (B)
Fig. 4. Interstage dynamics of extracellular fluid volume (A) and edema index (B)

Примечание: *Внутригрупповые различия (сравнение со значениями I этапа): * — p < 0,05, ** — p < 0,01, *** — p < 0,001. Межгрупповые различия: # — p < 0,05.*
Note: *Intragroup differences (comparison with stage I values): * — p < 0.05, ** — p < 0.01, *** — p < 0.001. Intergroup differences: # — p < 0.05.*

с ХСН может обострять эпизоды десатурации через механизм ночного рострального смещения жидкости [14]. Кроме того, сохраняющиеся системные проявления ХСН в группе I могут быть обусловлены отсутствием роста ФВ относительно дооперационных значений, несмотря на выполненное хирургическое ремоделирование ЛЖ. Отсутствие положительной динамики ФВ у пациентов группы I может быть вызвано нарушением механизма Франка — Старлинга вследствие дилатации полости ЛЖ и перерастяжения кардиомиоцитов [15, 16].

Ограничения исследования

В данной работе проводится промежуточная оценка эффективности ПДВ-тренировок у пациентов с различной степенью ХСН. Исследование выполнено на относительно небольшой выборке пациентов, что может ограничивать генерализуемость выводов. Диагностика нарушений дыхания во сне носит предварительный характер, так как основана на данных суточной пульсоксиметрии, а не на полисомнографии. Кроме того, в рамках данного исследования не проводилось наблюдение в отдаленный период для оценки устойчивости полученных результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование показало, что ПДВ-тренировки являются эффективным методом для восстановления ФВД у пациентов после ГРЛЖ и АКШ. Вместе с тем пациентам с исходно тяжелой ХСН требуются мультимодальные подходы к реабилитации, включающие не только респираторную реабилитацию, но и целенаправленную коррекцию волемического статуса, а также терапию нарушений дыхания во сне.

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 отдела 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

Джитава 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

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. — концепция и дизайн исследования, проведение исследования, анализ данных, написание черновика рукописи; Мамалыга М.Л. — концепция и дизайн исследования, руководство проектом, анализ данных, проверка и редактирование рукописи; Джитава Т.Г. — концепция и дизайн исследования, научное обоснование; 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 Национального медицинского исследовательского центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России (Москва, Россия) (Протокол № 5 от 07.10.2023).

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

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

Maksim 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

Tamara G. Dzhitava, Ph.D. (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

Sergey 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. — study concept and design, investigation, formal analysis, writing — original draft; Mamalyga M.L. — study concept and design, project administration, formal analysis, writing — review & editing; Dzhitava T.G. — study concept and design, conceptualization; 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. Feng G., Jia Y., Zhao G., et al. Risk factors for postoperative pulmonary complications following coronary artery bypass grafting in elderly patients: a retrospective study. J Cardiothorac Surg. 2025; 20(1): 312. https://doi.org/10.1186/s13019-025-03549-w
2. Kalyani I., Patel D., Patel G.J. Utilizing OPEP Devices, Reduce Post-operative Complications Related to Pulmonary Function following Coronary Artery Bypass Graft Surgery: Evidence-Based Study. Parul Univ J Heal Sci Res. 2024; 3(1): 21–26. https://doi.org/10.62373/PUJHSR.2024.108
3. Kapadia S., Chokshi T.R., Patel M. Effect of Flutter Along with Conventional Chest Physiotherapy on Peak Expiratory Flow Rate among Coronary Artery Bypass Graft Patients. J Sci Soc. 2023; 50(2): 238–242. https://doi.org/10.4103/jss.jss_213_22
4. 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
5. 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(S): 5–130. https://doi.org/10.24022/1810-0694-2025-26S [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(S): 5–130. https://doi.org/10.24022/1810-0694-2025-26S (In Russ.).]
6. 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.Yu., 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.).]
7. Aigumov R.N., Donakanyan S.A., Merzlyakov V.Yu., et al. Geometric reconstruction of the left ventricle on a beating heart through a minimally invasive approach from the left anterolateral thoracotomy: case report. Front Cardiovasc Med. 2024; 11: 1507222. https://doi.org/10.3389/fcvm.2024.1507222
8. Мерзляков В.Ю., Скопин А.И., Кривенкова Е.М., Саломов М.А. Хирургическое лечение постинфарктных аневризм левого желудочка на работающем сердце. Исторический и современный взгляд на проблему. Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. 2023; 65(5): 522–531. https://doi.org/10.24022/0236-2791-2023-65-5-522-531 [Merzlyakov V.Yu., Skopin A.I., Krivenkova E.M., Salomov M.A. Surgical treatment of postinfarction left ventricle aneurysms on a beating heart. Historical and modern view of the problem. Russian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. 2023; 65(5): 522–531. https://doi.org/10.24022/0236-2791-2023-65-5-522-531 (In Russ.).]
9. Мишагин В.В., Лукьянов Н.Г., Хубулава Г.Г. и др. Современные проблемы хирургического лечения хронической сердечной недостаточности у пациентов пожилого и старческого возраста с постинфарктной аневризмой левого желудочка. Кардиология: новости, мнения, обучение. 2023; 11(4): 36–47. https://doi.org/10.33029/2309-1908-2023-11-4-36-47 [Mishagin V.V., Lukyanov N.G., Khubulava G.G., et al. Treatment of chronic heart failure in elderly and senile patients with postinfarction aneurysm of the left ventricle. Cardiology: News, Opinions, Training. 2023; 11(4): 36–47. https://doi.org/10.33029/2309-1908-2023-11-4-36-47 (In Russ.).]
10. Katayıfçı N., Boşnak Güçlü M. Inspiratory muscle weakness further impairs exercise capacity and respiratory functions and increases dyspnea perception in patients with heart failure. Sci Rep. 2025; 15(1): 32229. https://doi.org/10.1038/s41598-025-16492-6
11. Direksunthorn T. Sleep and Cardiometabolic Health: A Narrative Review of Epidemiological Evidence, Mechanisms, and Interventions. Int J Gen Med. 2025; 18: 5831–5843. https://doi.org/10.2147/IJGM.S563616
12. Лобачева Г.В., Алшибая М.М., Мамалыга М.Л. и др. Функциональное состояние респираторной системы у пациентов после геометрической реконструкции левого желудочка с последующей конвенциональной респираторной реабилитацией. Вестник РУДН. Серия: Медицина. 2023; 27(2): 182–194. https://doi.org/10.22363/2313-0245-2023-27-2-182-194 [Lobacheva G.V., Alshibaya M.M., Mamalyga M.L., et al. Functional state of the respiratory system in patients after the left ventricle geometric reconstruction followed by conventional respiratory rehabilitation. RUDN Journal of Medicine. 2023; 27(2): 182–194. https://doi.org/10.22363/2313-0245-2023-27-2-182-194 (In Russ.).]
13. Kishan S., Rao M.S., Ramachandran P., et al. Prevalence and Patterns of Sleep-Disordered Breathing in Indian Heart Failure Population. Pulm Med. 2021; 2021: 9978906. https://doi.org/10.1155/2021/9978906
14. Javaheri S., Javaheri S. Obstructive Sleep Apnea in Heart Failure: Current Knowledge and Future Directions. J Clin Med. 2022; 11(12): 3458. https://doi.org/10.3390/jcm11123458
15. Abe Y., Akamatsu K., Furukawa A., et al. Pre-Load–Induced Changes in Forward LV Stroke and Functional Mitral Regurgitation. JACC Cardiovasc Imaging. 2017; 10(6): 611–618. https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.07.010
16. Kosta S., Dauby P.C. Frank-Starling mechanism, fluid responsiveness, and length-dependent activation: Unravelling the multiscale behaviors with an in silico analysis. PLOS Comput Biol. 2021; 17(10): e1009469. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009469

Обзорная статья / Review
DOI: https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-103-113

Опыт и перспективы применения биомеханических тренажеров в комплексной абилитации пациентов с детским церебральным параличом: обзор

Белогорова Т.А.[1], Машанская А.В.[1,2], Власенко А.В.[1], Бердина О.Н.[1,*], Бугун О.В.[1], Рычкова Л.В.[1]

[1] Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека, Иркутск, Россия
[2] Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования — филиал ФГАОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Иркутск, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Детский церебральный паралич (ДЦП), в основе которого лежит перинатальное повреждение клеток центральной нервной системы (ЦНС), является одной из ведущих причин инвалидизации населения. Основной задачей становится помощь ребенку в оптимальном использовании существующих резервов ЦНС, восстановлении утраченных и адаптации имеющихся функциональных возможностей. Перспективным и постоянно развивающимся направлением в абилитации таких пациентов является биомеханотерапия (БМТ), применяемая в рамках комплексного персонифицированного подхода.

ЦЕЛЬ. Проанализировать имеющиеся сведения о разнообразии, характеристиках, теоретических аспектах, принципах и возможностях использования в комплексных программах абилитации при ДЦП медицинских тренажеров, представить мировой и собственный опыт и перспективы применения БМТ в детской неврологии.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА. Поиск информационных источников проводился по базам данных eLIBRARY.RU, PubMed, Medline, Google Scholar, ResearchGate с 2010 г. по 2025 г., изучено 47 научных работ (систематические обзоры, метаанализы, оригинальные исследования). Были использованы следующие ключевые слова: дети (children), детский церебральный паралич (cerebral palsy), перинатальное поражение ЦНС (perinatal brain injury, hypoxic-ischemic encephalopathy), (ре-)абилитация ((re-)habilitation), биомеханотерапия (biomechanotherapy), тренажеры (medical simulators), роботизированные системы (robotic-assisted training), экзоскелеты (exoskeletons). Получены сведения о теоретических основах БМТ, определяющих принципы воздействия тренажеров на организм, их видах, условиях и подходах к использованию в программах (ре-)абилитации пациентов с нарушениями функции движения. Приведены научные исследования, оценивающие эффективность применения реабилитационных биомеханических аппаратов и комплексов, в том числе роботизированных моделей, оснащенных системой биологической обратной связи (БОС) и интерфейсом «мозг-компьютер», в педиатрической практике. Представлен собственный опыт разработки и апробации технологий комплексной абилитации детей с ДЦП, включающих дополнительное к стандартным методам терапии воздействие средствами роботизированной биомеханики. Обозначены векторы и перспективы развития БМТ в неврологии детского возраста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Изучение сведений об имеющихся в арсенале детских неврологов и реабилитологов медицинских тренажерах для детей с ДЦП позволило сделать вывод о бурном развитии современных технологий и компьютеризированных технических решений в области восстановления двигательных функций для более эффективной персонифицированной абилитации педиатрических пациентов. При этом открытым остается вопрос о возможностях применения систем для БМТ у детей раннего возраста (до 2 лет), что требует углубленного анализа и проведения дополнительных исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дети, подростки, церебральный паралич, абилитация, биомеханотерапия, тренажеры, роботизированные системы

Для цитирования / For citation: Белогорова Т.А., Машанская А.В., Власенко А.В., Бердина О.Н., Бугун О.В., Рычкова Л.В. Опыт и перспективы применения биомеханических тренажеров в комплексной абилитации пациентов с детским церебральным параличом: обзор. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(5):103–113. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-103-113 [Belogorova T.A., Mashanskaya A.V., Vlasenko A.V., Berdina O.N., Bugun O.V., Rychkova L.V. Experience and Outlook for the Use of Biomechanical Simulators in the Complex Habilitation of Patients with Cerebral Palsy: A Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):103–113. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-103-113 (In Russ.).]

* **Для корреспонденции:** Бердина Ольга Николаевна, E-mail: goodnight_84@mail.ru, iphr@sbamsr.irk.ru

Статья получена: 26.08.2025
Статья принята к печати: 11.09.2026
Статья опубликована: 23.10.2026

© 2026, Белогорова Т.А., Машанская А.В., Власенко А.В., Бердина О.Н., Бугун О.В., Рычкова Л.В.
Эта статья открытого доступа по лицензии CC BY-NC-SA 4.0. Издательство: ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

Experience and Outlook for the Use of Biomechanical Simulators in the Complex Habilitation of Patients with Cerebral Palsy: A Review

Tatyana A. Belogorova[1], Alexandra V. Mashanskaya[1,2], Anastasia V. Vlasenko[1], Olga N. Berdina[1,*], Olga V. Bugun[1], Lyubov V. Rychkova[1]

[1] Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia
[2] Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education — Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Irkutsk, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Cerebral palsy (CP), which is caused by perinatal damage to the cells of the central nervous system (CNS), is one of the leading causes of disability in the population. The primary objective is to help a child make the best possible use of the existing reserves of the CNS, to restore lost functional abilities and to adapt the existing ones. Biomechanical therapy (BMT), used as part of a complex personalized approach, is a promising and constantly evolving field in the habilitation of such patients.

AIM. To analyze available information on the diversity, characteristics, theoretical aspects, principles and potential applications of medical simulators in comprehensive habilitation programs for children with CP to present international and domestic experience and outlook for the use of BMT in pediatric neurology.

MAIN CONTENT OF THE REVIEW. The search for information sources was conducted in eLIBRARY.RU, PubMed, Medline, Google Scholar, and ResearchGate. A total of 47 researches (systematic reviews, meta-analyses, original articles) were reviewed. The following keywords were used: children, cerebral palsy, perinatal brain injury, hypoxic-ischemic encephalopathy, (re)habilitation, biomechanotherapy, medical simulators, robotic-assisted training, exoskeletons. Information was obtained on the theoretical foundations of BMT, determining the principles of the impact of medical simulators on the body, their types, conditions and approaches to use in (re)habilitation programs for patients with movement disorders. The article presents scientific studies evaluating the effectiveness of using rehabilitation biomechanical devices and complexes, including robotic models equipped with a biofeedback system and a brain-computer interface, in pediatric practice. This review also presents the authors' own experience in developing and testing technologies for the comprehensive habilitation of children with cerebral palsy, which include, in addition to standard methods, therapy using robotic biomechanics. It outlines the key vectors and outlooks for the development of robotic biomechanics in paediatric neurology.

CONCLUSION. After reviewing information about the medical simulators for children with CP we concluded that modern technologies and computerized technical solutions are rapidly developing in the field of motor function restoration for more effective personalized habilitation of pediatric patients. At the same time, the question of the possibility of using BMT systems in young children (up to 2 years old) remains open, necessitating in-depth analysis and additional research.

KEYWORDS: children, adolescents, cerebral palsy, habilitation, biomechanotherapy, medical simulators, robotic systems

For citation: Belogorova T.A., Mashanskaya A.V., Vlasenko A.V., Berdina O.N., Bugun O.V., Rychkova L.V. Experience and Outlook for the Use of Biomechanical Simulators in the Complex Habilitation of Patients with Cerebral Palsy: A Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):103–113. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-103-113 (In Russ.).

* **For correspondence:** Olga N. Berdina, E-mail: goodnight_84@mail.ru, iphr@sbamsr.irk.ru

Received: 26.08.2025
Accepted: 11.09.2026
Published: 23.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

Стремительно растущая инвалидизация населения является одной из самых актуальных проблем современного общества [1]. Численность детей-инвалидов по-прежнему находится на стабильно высоком уровне. Одним из самых распространенных заболеваний нервной системы среди детей Российской Федерации, приводящим к инвалидности в 88,7 % случаев, является детский церебральный паралич (ДЦП) [2]. Это группа заболеваний с обязательным поражением центральной нервной системы (ЦНС), дисфункцией двигательной и мышечной систем, нарушением координации движений, речи, задержкой интеллектуального развития [3]. Основная причина заболевания — повреждение клеток мозга ребенка в результате дефицита кислорода (гипоксия, асфиксия) или травмы (ушибы, кровоизлияния и т. д.) в анте-/интра- или постнатальный период [4, 5]. Дети, страдающие ДЦП, нуждаются в постоянной посторонней помощи, длительных курсах дорогостоящей комплексной терапии как в стационарных, так и в амбулаторных условиях. Разработка социальных программ адаптации, как можно более раннее внедрение новых методов лечения, способствующих интенсификации абилитационных мероприятий при ДЦП с уменьшением числа неблагоприятных исходов в виде инвалидности, являются стратегическими направлениями в работе органов здравоохранения над данной проблемой.

Одно из основных клинических проявлений ДЦП — нарушение статодинамических функций, то есть способности ребенка к передвижению, поддержанию равновесия и координации движений [6]. Они формируются на основе сохраняющих свою патологическую активность позотонических рефлексов вследствие перинатального поражения ЦНС [7]. При проведении

абилитации у таких детей следует стремиться к снижению патологической постуральной активности (угасанию тонических рефлексов), приобретению ребенком новых двигательных навыков, формированию у него функции опоры и правильного или приближенного к физиологическому паттерна ходьбы [8–10]. Основной задачей в этом случае становится помощь ребенку в оптимальном использовании существующих резервов ЦНС (активация нейрональной пластичности), восстановлении утраченных и адаптации имеющихся функциональных возможностей посредством доступных на сегодня средств реабилитации [7, 11]. Перспективным направлением в абилитации детей с ДЦП является биомеханотерапия (БМТ) [1, 6, 12, 13], однако разработка подобных программ и выбор средств восстановительного лечения должны учитывать индивидуальные особенности пациента и характер его заболевания, сочетаемость с другими методами терапии, достаточность нагрузки для стимуляции пластических процессов в головном мозге, то есть необходим персонифицированный подход к построению абилитационного маршрута.

ЦЕЛЬ

Проанализировать имеющиеся сведения о разнообразии, характеристиках, теоретических аспектах, принципах и возможностях использования в комплексных программах абилитации при ДЦП медицинских тренажеров, представить мировой и собственный опыт и перспективы применения БМТ в детской неврологии.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА

Проведен поиск и анализ 28 отечественных и 19 иностранных информационных источников (систематические обзоры, метаанализы, оригинальные исследования) во всероссийских и международных научно-медицинских базах данных eLIBRARY.RU, PubMed, Medline, Google Scholar и ResearchGate с 2010 г. по 2025 г.

Поиск научных данных проводился с использованием трех элементов, связанных оператором И (AND). Первый элемент включал понятия, обозначающие патологию ЦНС: детский церебральный паралич — cerebral palsy ИЛИ (OR) перинатальное поражение ЦНС — perinatal brain injury OR hypoxic-ischemic encephalopathy. Второй элемент поиска включал понятия, обозначающие понятие «(ре-)абилитация» ((re-)habilitation), ее методы ((био-)механотерапия — (bio)mechanotherapy) и средства (тренажеры — medical simulators ИЛИ (OR) роботизированные системы — robotic-assisted training ИЛИ (OR) экзоскелеты — exoskeletons). Третий элемент включал возрастную категорию пациентов (дети — children, подростки — adolescents).

Введение в биомеханотерапию и ее современные тренды в абилитации пациентов с детским церебральным параличом

На сегодня в Российской Федерации не существует единых схем и подходов к комплексной абилитации детей с ДЦП. Однако установлены правила организации медицинской (ре-) абилитации детского населения «на основе комплексного применения природных лечебных факторов, лекарственной, немедикаментозной терапии и других методов по основным классам заболеваний или отдельным нозологическим формам»[1]. В частности, в стандарт оснащения детских нейрореабилитационных отделений входят аппаратные средства (ре-) абилитации, в том числе тренажеры для активной, пассивной и активно-пассивной БМТ, по обучению владению мелкой моторикой и координации движений [1].

В Российской Федерации существует стандарт, представляющий главные характеристики, необходимые и обязательные требования по обеспечению реабилитационного эффекта и безопасности медицинских тренажеров (технических решений), предназначенных для (ре-) абилитации инвалидов, нарушение двигательной активности которых вызвано изменениями статических и локомоторных функций[2]. Выбор реабилитационных тренажеров для БМТ, в том числе применяемых в педиатрической практике, должен быть индивидуален с учетом возраста, формы заболевания, поставленных задач и методик абилитации [13].

Обсуждая принципы и возможности применения биомеханических медицинских тренажеров и устройств в комплексной абилитации пациентов с ДЦП, необходимо ввести понятие **биомеханики** — науки о законах механического движения в живых системах [14]. Основоположником отечественной школы биомеханики стал Н.А. Бернштейн в 1966 г. [15], который занимался биодинамическим анализом локомоций и исследованием их онтогенеза у здоровых людей. Учитывая основные биомеханические особенности организации движений у пациентов с ДЦП, в систему физической абилитации с помощью тренажерных устройств необходимо включать следующие элементы: формирование постурального контроля, развитие координированной работы верхних конечностей, в том числе мелкой моторики кисти, увеличение подвижности в тазобедренных суставах и в поясничном отделе, тренировку икроножных мышц, передних мышц бедра и прямых мышц спины [6]. При этом все занятия с применением биомеханических средств реабилитации должны осуществляться в комплексе с другими методами восстановительного лечения [16–18].

В последние десятилетия в связи со стремительным научно-технологическим развитием, разработкой информационных и компьютерных технологий, а также систем искусственного интеллекта простые тренажеры уступают место роботизированной механотронике, в том числе с применением биологической обратной связи (БОС) [11, 19] и технологий виртуальной реальности [20, 21], с успехом применяющейся для комплексной абилитации детей с ДЦП [12, 13]. Применение подобных технологических решений в реабилитационной практике важно для повышения эффективности занятий, в том числе для улучшения постурального контроля и активации нейропластичности [21].

[1] Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 23.10.2019 г. № 878н «Об утверждении Порядка организации медицинской реабилитации детей».

[2] Тренажеры реабилитационные. Общие технические требования. ГОСТ Р 51260-2021. 26 с.

Биомеханотерапия в детской неврологической практике (мировой опыт и собственные разработки)

К настоящему времени в мире сформировался большой опыт применения биомеханических устройств и приспособлений для физической (ре-)абилитации детей с ДЦП и другими паралитическими синдромами. Приведем обзор исследований, посвященных применению биомеханических средств восстановительного лечения в комплексной абилитации детей с ДЦП, а также результаты собственных прикладных научных разработок и многолетнего опыта их использования в комплексной (ре-)абилитации педиатрических пациентов неврологического стационара.

Активная БМТ позволяет самостоятельно выполнять упражнения с использованием лечебных тренажеров (велотренажеров, беговых дорожек, мануальных устройств, тренировочных скамей и др.), что способствует укреплению мышц, улучшению координации и увеличению подвижности суставов [22]. Интересной для практического применения оказалась разработка Самарского государственного медицинского университета — мультисенсорный тренажер для активной двигательной реабилитации ReviMotion, оснащенный системой БОС с визуальными и аудиальными эффектами и возможностью решения когнитивных задач[3]. Его эффективность была доказана в ходе 3-недельной комплексной абилитации детей с ДЦП в возрасте от 3 до 14 лет в виде улучшения общей двигательной активности, вертикализации и постурального контроля, увеличения подвижности в суставах верхних и нижних конечностей, снижения патологического тонуса мышц [23]. Другими, разработанными и применяемыми в Российской Федерации у детей и подростков с ДЦП, аппаратами для активной (активно-пассивной) БМТ являются тренажеры компании «Орторент» (Москва, Россия): система для активной реабилитации верхних конечностей и развития мелкой моторики «Орторент Моторика» и аппарат для активно-пассивной механотерапии нижних конечностей «Орторент Мото». В работе Луниной Н.В. и соавт. была представлена эффективность месячного курса применения игровой биоуправляемой механотерапии для восстановления крупной и мелкой моторики верхней конечности у детей 6–8 лет с гемипаретической формой ДЦП с использованием тренажера «Орторент Моторика» [19]. В параллельном исследовании, проведенном Киэлевяйнен Л.М., была оценена эффективность циклической работы в активном и пассивном режимах на реабилитационном тренажере «Орторент Мото» для адекватности обеспечения аэробной нагрузки у молодых людей 16–22 лет со спастической диплегией и тетрапарезом, проходивших курс трехмесячного восстановительного лечения [24]. В метаанализах, проведенных Han Y.G. et al. в 2020 г. и Alotaibi A. et al. в 2023 г., представлены основные оригинальные исследования, оценившие эффективность систематических тренировок с использованием беговой дорожки на паттерн ходьбы, функцию опоры и равновесия у пациентов с ДЦП [25, 26]. Приоритетным направлением в системе восстановительного лечения является широкое внедрение в клиническую практику компьютеризированных медицинских тренажеров с применением современных нейротехнологий (интерфейс мозг-компьютер (ИМК)), созданных для обмена информацией между мозгом и электронным устройством [27].

В комплексе реабилитационных мероприятий у педиатрических пациентов с ДЦП в Российской Федерации с успехом применяются механотронные устройства как иностранного, так и отечественного производства. Следует отметить широту использования в нейрореабилитационной практике роботизированных систем Lokomat/LokoHelp (Hocoma AG, Швейцария) и Walkbot (Walkbot-K, P&S Mechanics, Корея) для двигательного восстановления пациентов с преимущественной дисфункцией нижних конечностей, состоящих из беговой дорожки, устройства поддержки тела и роботизированных ортезов с БОС. У детей с ДЦП их эффективность была показана в работах Никитюка И.Е. и соавт. (2020 г.) [28], Дейнеко В.В. и соавт. (2020 г.) [29], Błażkiewicz M. et al. (2024 г.) [30], Wang Y. [31], Jin L.H. et al. (2020 г.) [32], Нефедьевой Д.Л. и соавт. (2024 г.) [33] и Омочевым О.Г. (2024 г.) [34].

Доказана терапевтическая эффективность в отношении улучшения паттерна ходьбы, двигательных навыков, предупреждения вторичных биомеханических осложнений у детей с ДЦП других роботизированных тренажеров для нижних конечностей, таких как MOTOmed (RECK Medizintechnik GmbH, Германия), THERA-vital (THERA-Trainer, Германия), Kinetec (Kinetec, Франция), ARTROMOT (Ormed gmbh, Германия). В педиатрической практике наиболее известно применение роботизированного тренажера MOTOmed gracile 12 [35, 36]. В Российской Федерации также имеется опыт применения роботизированного терапевтического устройства Motion Maker (Швейцария) в комплексной абилитации детей с ДЦП. Этот тренажер совмещает программируемые занятия в ортезах с контролируемой адресной (функциональной) электростимуляцией (ФЭС) и системой БОС. Специалистами из ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр инфекционных болезней Федерального медико-биологического агентства» (Санкт-Петербург, Россия) была доказана терапевтическая эффективность данного нейрореабилитационного аппарата у пациентов в возрасте 9–18 лет с последствиями вирусных энцефалитов и ДЦП [37] в ходе курсов (1–3 курса по 7–15 процедур с интервалом в 3–5 месяцев) комплексного восстановительного лечения.

Инновационным инструментом роботизированной БМТ в двигательной абилитации детей с ДЦП являются экзоскелеты. Подобные системы для восстановления способности к передвижению (а в случае с ДЦП — обучения функции ходьбы) представляют собой аппаратно-программный комплекс, состоящий из жесткой механической конструкции, повторяющей контуры нижних конечностей со встроенными в нее электродвигателями и работающей по принципу БОС для управления экзоскелетом в процессе тренировки [38]. Функция ходьбы в экзоскелете осуществляется за счет последовательного переноса веса тела пациента с одной ноги

[3] Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения (Росздравнадзор). Регистрационное удостоверение на медицинское изделие РЗН 2022/17755 от 14.07.2022.

на другую, при этом встроенная система синхронизированной электростимуляции оказывает дополнительный нейропластический эффект для ускорения процесса двигательного обучения [39]. Наиболее известными образцами экзоскелетов, применяемыми в детской реабилитации, являются ExoAtlet (ООО «ЭкзоАтлет», Россия) [39], ExoAtlet Bambini (детская версия системы ExoAtlet для детей и подростков ростом до 160 см) [38] и ATLAS 2030 (Marsi Bionics S.L., Испания) [40].

Для коррекции двигательных функций верхних конечностей у пациентов с ДЦП также разработан и клинически апробирован ряд роботизированных тренажеров [41, 42]. Первым роботизированным устройством для нейрореабилитации пациентов с параличом руки стал разработанный сотрудниками Массачусетского технологического института (Interactive Motion Technologies, США) в середине 1990-х гг. аппарат MIT-Manus [43]. В детской реабилитации при ДЦП отмечена эффективность роботизированного ортеза In Motion 2 (коммерческой версии MIT-Manus). В процессе тренировок реализуется абдукция/аддукция в плечевом суставе и флексия/экстензия в локтевом суставе, что позволяет осуществлять выработку мануальных двигательных актов в разных плоскостях, улучшается двигательный стереотип пораженной верхней конечности у детей с ДЦП в отношении скорости и плавности движений [44]. Аналогами указанной реабилитационной системы являются роботизированный комплекс для функциональной терапии верхних конечностей с БОС Armeo Spring (Hocoma, Швейцария) и отечественная разработка — интерактивный тренажер «Орторент Моторика» (см. выше) [19]. В исследованиях El-Shamy S.M. (2018 г.) [45] и Roberts H. et al. (2020 г.) [46], применявших систему Armeo Spring в комплексной терапии детей со спастической гемиплегией по разным схемам лечебного воздействия (3 дня в неделю по 45 минут в течение 12 недель и каждый день по 30 минут в течение 10 дней соответственно), продемонстрирована сходная клиническая эффективность роботизированных тренировок в отношении качества движений верхних конечностей, в частности, улучшение бимануальной функции, а также профессиональной работоспособности [46].

Эффективным для восстановительного лечения и двигательного обучения пациентов с патологией нервной системы и опорно-двигательного аппарата в педиатрической практике оказалось применение нейротехнологий ИМК [27, 47]. Отечественные специалисты демонстрируют обоснованность и эффективность использования комплекса ИМК-экзоскелет «Экзокисть-2» (НПО «Андроидная техника», Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН) в абилитации детей и подростков с ДЦП [48, 49].

В детской клинике Научного центра проблем здоровья семьи и репродукции человека (Иркутск, Россия) (Центр) имеется большой опыт проведения исследований в области разработки технологий применения медицинских тренажеров для БМТ в программах комплексной абилитации детей с ДЦП. В Центре разработан и внедрен в клиническую практику способ комплексного лечения детей с двигательными нарушениями, предусматривающий дополнительное применение тренажера для роботизированной кинезиотерапии с БОС, — стабилометрической платформы COBS (mtd-Systems, Германия) к стандартной схеме восстановительного лечения детей с ДЦП[4]. Применение данного метода позволяет улучшить показатели статической и динамической координации, равновесия, нормализовать патологический тонус мышц, уменьшить болевой синдром у детей с ДЦП, тем самым обеспечить обучение двигательным навыкам, выработку и закрепление правильного двигательного стереотипа, улучшение постурального контроля, развитие когнитивных качеств и повышение мотивации к тренировкам [50]. Было отмечено повышение эффективности комплексного лечения двигательных нарушений у 60 детей с ДЦП за счет дополнительного использования платформы COBS версии 4.6 (10-дневный курс ежедневных 25-минутных тренировок после 2-часового перерыва от воздействия импульсным низкоинтенсивным электромагнитным полем). Таким образом, можно заключить, что методика комплексной абилитации, включающая применение физиолечения, улучшает трофические свойства мышц и создает благоприятный фон для активизации развития постуральной устойчивости с помощью стабилоплатформы у детей с ДЦП.

Опыт отечественных и зарубежных коллег по внедрению моторизированных тренажеров с системой БОС в процесс двигательного обучения и восстановительного лечения детей с неврологической патологией был нами успешно реализован в технологии комплексной абилитации педиатрических пациентов с ДЦП с использованием методов роботизированной биомеханики и нейрометаболической терапии. Девяносто детей от 2 до 14 лет со спастическими двигательными расстройствами составили группы наблюдения, 75 из них был проведен 10-дневный курс медицинской абилитации с дополнительным назначением тренировок для верхних и нижних конечностей в активно-пассивном режиме на велотренажере MOTOmed gracile 12 и платформе COBS, доказано значимое улучшение двигательных функций, увеличение силы и уменьшение спастичности мышц по шкалам GMFM-66/88, MACS, MRS, Эшворта и Тардье по сравнению с группой, получавшей нейрометаболическую терапию и физиолечение без БМТ [51, 52]. В рамках научно-медицинских технологий была оценена эффективность сочетанного воздействия роботизированной БМТ с системой БОС, электролечения или кинезиологического тейпирования в комплексе с лекарственными препаратами, продемонстрировано значимое положительное влияние дополнительных методов стимуляции на нейропластические процессы, абилитационный потенциал ребенка и его двигательные возможности на фоне коррекции мышечного тонуса в ходе реализации данных программ восстановительного лечения [53–56].

[4] Долгих В.В., Машанская А.В., Литвинцева О.М. и др. Способ комплексного лечения детей с двигательными нарушениями. Патент RU 2525689 C1, 20.08.2014. [Dolgikh V.V., Mashanskaya A.V., Litvintseva O.M., et al. Method for Comprehensive Treatment of Children with Motor Disorders. Patent RU 2525689 C1, August 20, 2014 (In Russ.).]

Прорывным инновационным авторским решением стала совместная разработка нового мобильного тренажера с элементами роботизированной биомеханики для медицинской абилитации детей с двигательными нарушениями — кинезиоплатформы «Качели» тандемом неврологов и реабилитологов Центра (научно-медицинское обоснование) со специалистами и учениками ГАУ ДО ИО «Центр развития дополнительного образования детей», детского технопарка «Кванториум Байкал», ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (Иркутск, Россия) (техническое исполнение) [57, 58]. Разработанный комплекс представляет собой мини-тренажер, состоящий из подвижной платформы со встроенным датчиком движения и БОС и позволяющий ребенку с нарушенной проприоцепцией при ДЦП закрепить навыки удержания равновесия и опоры в игровой форме, создавая положительный эмоциональный фон и дополнительную мотивацию в (ре-)абилитации. В рамках нового метода комплексной коррекции двигательных нарушений у детей с паралитическими синдромами было пролечено 53 пациента со спастической формой ДЦП (GMFCS II–III) в возрасте от 4 до 12 лет, 27 из них дополнительно к введению ботулинического токсина типа А и лечебной физкультуре прошли 10-дневный курс тренировок с использованием кинезиоплатформы «Качели». Доказана эффективность инновационной (ре-)абилитационной технологии в формировании моторных функций по стандартизированной таблице GMFM-66/88 в блоке А (положение лежа и повороты) в сравнении с контрольной группой, однако вопрос о долгосрочных эффектах таких тренировок остается дискутабельным, требует дальнейшего изучения и проведения лонгитюдных исследований.

Известно, что при выраженной степени пареза верхней конечности отмечается феномен learned non-use — приученного неиспользования [59], являющийся сложной проблемой в (ре-)абилитации детей с нарушением функции верхней конечности (спастический монопарез, гемипарез, трипарез). В связи с этим крайне актуальным представляется раннее двигательное научение и/или полное восстановление моторной функции данного сегмента тела. Более того, восстановление мелкой моторики руки физиологически влияет на речевые и когнитивные способности, что особенно значимо в детском возрасте [13]. Также известно, что применение ФЭС в нейрореабилитации играет ключевую роль в формировании и восстановлении двигательных функций у пациентов с неврологическими нарушениями, приводящими к полной или частичной утрате двигательных навыков [28, 37, 60]. Наибольший лечебный эффект ФЭС достигается при ее применении в комплексе с другими методами (ре-)абилитации, такими как кинезиотерапия, БМТ и эрготерапия, что существенно улучшает прогноз восстановления и повышает качество жизни пациентов [28]. Разработанный совместно с ООО «Прототип» (Самара, Россия) тренажер для верхних конечностей «Перчатка» с функцией ФЭС срединного нерва — это опытный образец устройства для кинезиотерапии при спастичности верхних конечностей для повышения эффективности физических методов (ре-)абилитации пациентов с ДЦП и другими паралитическими синдромами как в амбулаторных (на базе поликлиник, отделений восстановительного лечения, санаториев и т.п.), так и в домашних, наиболее комфортных для пациента условиях в период между госпитализациями в стационар. Апробация тренажера проведена среди 20 детей с ДЦП, показано значимое снижение гипертонуса мышц, увеличение объема и точности движений, в том числе в разделе мелких дифференцированных актов, с устранением феномена «игнорирования» паретичной руки. В дальнейшем также планируется усовершенствование данного лечебного устройства с помощью системы БОС и неинвазивного нейроинтерфейса с набором программ нейрореабилитации для персонифицированной коррекции двигательной функции верхних конечностей у детей и подростков с ДЦП.

Перспективы биомеханотерапии в (ре-)абилитации детей с двигательными нарушениями

(Ре-)абилитация детей с двигательными нарушениями — это длительный, непрерывный и многоэтапный процесс, основанный на индивидуальном комплексном подходе, эффективность которого зависит от применения современных методов восстановительного лечения. Одно из ведущих мест в этой системе принадлежит БМТ как эффективной и современной методике нейрореабилитации, которая может применяться при широком спектре заболеваний нервной системы и опорно-двигательного аппарата, в том числе у детей и подростков. Перспективным во всем мире считается использование аппаратов и комплексов для роботизированной БМТ в комплексных программах для повышения их эффективности. Современные роботизированные устройства обладают широкими возможностями изменения параметров тренировок, непрерывным компьютерным анализом двигательных функций, контролем произвольного участия пациента, имитацией движений, близких к физиологическим, что способствует лучшей активации нейропластических процессов и повышению мотивации к лечению, особенно в детском возрасте. При этом важным аспектом педиатрической (ре-)абилитации является применение персонифицированных технологий роботизированной БМТ, основанных на знаниях об онтогенетическом развитии головного мозга ребенка и последовательности формирования локомоторных актов. Основная цель двигательной абилитации у детей грудного и младшего дошкольного возраста состоит в обучении моторным навыкам (сидение, повороты, стояние, ползание) в зависимости от степени их недоразвития или утраты. Именно в этот период у детей с незначительными поражениями ЦНС начинаются самостоятельная вертикализация и ходьба, при этом неоптимально сформировавшиеся двигательные навыки будут в дальнейшем способствовать неправильному развитию моторного стереотипа [8]. Таким образом, правильно организованная двигательная активность и обучение в раннем возрасте (в первые 2 года жизни) у детей с возможным развитием ДЦП, способствуют лучшему восстановлению нейрональных контактов и функции пораженных нервных клеток, а следовательно, более эффективной

реализации абилитационного потенциала и меньшему риску развития инвалидизирующих состояний. Однако в настоящее время большинство аппаратов для БМТ адаптированы для использования только в более старших возрастных группах [12, 13]. Совершенствование роботизированных тренажеров и экзотехнологий для детей с перинатальными поражениями ЦНС и ДЦП и их производство в Российской Федерации являются важнейшей задачей ученых-медиков, реализация которой позволит в раннем возрасте правильно сформировать физиологический двигательный стереотип, учитывая важные аспекты онтогенетического развития, подготовить ребенка к активной вертикализации и самостоятельной ходьбе, чтобы минимизировать необходимость переобучения из-за компенсаторных нарушений паттерна движений и вторичных биомеханических осложнений, тем самым проводить более успешную и своевременную интеграцию ребенка в общество.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная БМТ — это эффективная методика нейрореабилитации, основанная на принципах биомеханики, которая может применяться при широком спектре заболеваний в детском и подростковом возрасте, в том числе у пациентов с ДЦП. В настоящее время как за рубежом, так и в Российской Федерации разработан и представлен широкий спектр медицинских тренажеров, включая современные роботизированные комплексы с БОС и ИМК, тип и режимы работы которых могут быть подобраны индивидуально с учетом возраста ребенка, уровня поражения ЦНС и двигательного дефицита, поставленных абилитационных целей, индивидуальных особенностей заболевания и наличия сопутствующих осложнений. При этом необходимо помнить, что для получения максимально эффективных результатов абилитации с помощью БМТ важно также правильно выстроить последовательность мероприятий по восстановительному лечению (абилитационный маршрут), чтобы подготовить костно-мышечную систему пациента к физическим нагрузкам, включить в биомеханотерапию персонифицированное сочетание различных методов коррекции (миорелаксации, хирургического лечения, кинезио- и физиотерапии, массажа, лечебной физкультуры и т. д.). Раннее начало комплексных абилитационных мероприятий с применением современных персонифицированных биомеханических технологий у детей с ДЦП уже с первых лет жизни, изначально формируя и корректируя правильный двигательный стереотип и раннюю активную вертикализацию, позволит более полно раскрыть абилитационный и нейропластический потенциал, значительно расширить двигательные возможности, улучшить психоэмоциональное состояние, сформировать позитивное отношение и мотивацию к процессу восстановительного лечения и подготовить ребенка к дальнейшей социализации и интеграции в общество.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Белогорова Татьяна Альбертовна, доктор медицинских наук, врач-невролог, заведующий неврологическим отделением, Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8982-9282

Машанская Александра Валерьевна, кандидат медицинских наук, врач-невролог, заведующий неврологическим отделением, Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека; доцент кафедры физической и реабилитационной медицины, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования — филиал ФГАОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1792-6822

Власенко Анастасия Вячеславовна, кандидат медицинских наук, врач-физиотерапевт, заведующий отделением физиотерапии, лечебной физкультуры и массажа, Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7083-5474

Бердина Ольга Николаевна, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории сомнологии и нейрофизиологии, Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека.
E-mail: goodnight_84@mail.ru, iphr@sbamsr.irk.ru;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0930-6543

Бугун Ольга Витальевна, доктор медицинских наук, заместитель директора по клинической работе, главный врач, Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2162-3683

Рычкова Любовь Владимировна, член-корреспондент Российской академии наук, профессор, доктор медицинских наук, директор, Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0117-2563

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: Белогорова Т.А., Власенко А.В. — методология, обеспечение материалов для исследования, проверка и редактирование рукописи; Машанская А.В. — методология, верификация данных, проверка и редактирование рукописи; Бердина О.Н. — научное обоснование, обеспечение материалов для исследования, написание черновика рукописи, проверка и редактирование рукописи; Бугун О.В. — руководство проектом, визуализация; Рычкова Л.В. — курирование проекта, визуализация.

Источники финансирования. Статья написана по государственному заданию в рамках утвержденной темы научно-исследовательской работы «Теоретические и экспериментальные аспекты оптимизации реабилитации детей с неврологической патологией» (шифр научной темы FGMZ-2026-0023).

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

Tatyana A. Belogorova, PhD (Med.), Neurologist, Head of the Department of Neurology, Scientific Center of Family Health Problems and Human Reproduction.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8982-9282

Alexandra V. Mashanskaya, PhD (Med.), Neurologist, Head of the Department of Neurology, Scientific Center of Family Health Problems and Human Reproduction; Associate Professor at the Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education — Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1792-6822

Anastasia V. Vlasenko, PhD (Med.), Physiotherapist, Head of the Department of Physiotherapy, Exercise Therapy and Massage, Scientific Center of Family Health Problems and Human Reproduction.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7083-5474

Olga N. Berdina, D.Sc. (Med.), Leading Researcher of the Laboratory of Somnology and Neurophysiology, Scientific Center of Family Health Problems and Human Reproduction.
E-mail: goodnight_84@mail.ru, iphr@sbamsr.irk.ru;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0930-6543

Olga V. Bugun, D.Sc. (Med.), Deputy Director for Clinical Work, Chief Physician, Scientific Center of Family Health Problems and Human Reproduction.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2162-3683

Lyubov V. Rychkova, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, D.Sc. (Med.), Director, Scientific Center of Family Health Problems and Human Reproduction.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0117-2563

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: Belogorova T.A., Vlasenko A.V. — methodology, procurement of research materials, manuscript review and editing; Mashanskaya A.V. — methodology, data verification, manuscript review and editing; Berdina O.N. — scientific justification, procurement of research materials, manuscript drafting, manuscript review and editing; Bugun O.V. — project management, visualization; Rychkova L.V. — project supervision, visualization.

Funding. The article was written in accordance with a state assignment within the framework of the approved research topic "Theoretical and experimental aspects of optimizing the rehabilitation of children with neurological pathology" (research topic code FGMZ-2026-0023).

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. Макарова М.Р., Лядов К.В., Кочетков А.В. Тренажерные аппараты и устройства в двигательной реабилитации неврологических больных. Доктор.Ру. 2012; 10: 54–62 [Makarova M.R., Lyadov K.V., Kochetkov A.V. The role of exercise equipment and devices in motor rehabilitation of patients with neurological disorders. Doctor.Ru. 2012; 10: 54–62. (In Russ.).]
2. Газдиева Б.М., Пузин С.Н., Владимирова О.Н., Милованова О.А. Уровень первичной инвалидности детей с последствиями детского церебрального паралича. Волгоградский научно-медицинский журнал. 2024; 21(4): 12–18. https://doi.org/10.19163/2658-4514-2024-21-4-12-18 [Gazdieva B.M., Puzin S.N., Vladimirova O.N., Milovanova O.A. Level of primary disability of children with consequences of infantile cerebral palsy. Volgograd Scientific Medical Journal. 2024; 21(4): 12–18. https://doi.org/10.19163/2658-4514-2024-21-4-12-18 (In Russ.).]
3. Детский церебральный паралич (ДЦП). Клинические рекомендации. Вестник восстановительной медицины. 2017; 3(79): 91–114 [Cerebral palsy (CP). Clinical guidelines. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2017; 3(79): 91–114 (In Russ.).]
4. Старовойтова Т. Е., Михнович В.И. Особенности неврологических расстройств и их исходов у новорожденных и детей раннего возраста от матерей с патологией беременности и родов. Acta Biomedica Scientifica. 2007; 1(53): 151–152 [Starovoitova T.E., Mikhnovich V.I. Features of neurological disorders and their outcomes in newborns and young children from mothers with pathology of pregnancy and labor. Acta Biomedica Scientifica. 2007; 1(53): 151–152 (In Russ.).]
5. Zhang S., Li B., Zhang X., et al. Birth asphyxia is associated with increased risk of cerebral palsy: a meta-analysis. Front. Neurol. 2020; 11: 704. https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00704
6. Коршунов С.Д., Давлетьярова К.В., Капилевич Л.В. Биомеханические принципы физической реабилитации детей с детским церебральным параличом. Бюллетень сибирской медицины. 2016; 15(3): 55–62. https://doi.org/10.20538/1682-0363-2016-3-55-62 [Korshunov S.D., Davletyarova K.V., Kapilevich L.V. Biomechanical principles physical rehabilitation of children with cerebral palsy. Bulletin of Siberian Medicine. 2016; 15(3): 55–62. https://doi.org/10.20538/1682-0363-2016-3-55-62 (In Russ.).]
7. Петрухин А.С., Созаева Н.С., Голосная Г.С. Нейробиологические и онтогенетические основы формирования двигательных функций. Русский журнал детской неврологии. 2009; 4(2): 20–31 [Petrukhin A.S., Sozaeva N.S., Golosnaya G.S. Neurobiologic and ontogenetic basis of motor functions development. Russian Journal of Child Neurology. 2009; 4(2): 20–31 (In Russ.).]
8. Харитонова Н.А., Басаргина М.А., Лупандина-Болотова Г.С. и др. Этапность физической реабилитации детей с перинатальной патологией центральной нервной системы. Российский педиатрический журнал. 2025; 28(2): 148–154. https://doi.org/10.46563/1560-9561-2025-28-2-148-154 [Kharitonova N.A., Basargina M.A., Lupandina-Bolotova G.S., et al. Stages of physical rehabilitation of children with perinatal pathology of the central nervous system. Russian Pediatric Journal. 2025; 28(2): 148–154. https://doi.org/10.46563/1560-9561-2025-28-2-148-154 (In Russ.).]
9. Нефедьева Д.Л., Бодрова Р.А. Реабилитационный диагноз у недоношенных детей с перинатальной патологией нервной системы на основе Международной классификации функционирования. Доктор.Ру. 2024; 23(3): 86–92. https://doi.org/10.31550/1727-2378-2024-23-3-86-92 [Nefedeva D.L., Bodrova R.A. Rehabilitation diagnosis in premature infants with perinatal nervous system pathology based on the International Classification of Functioning. Doctor.Ru. 2024; 23(3): 86–92. https://doi.org/10.31550/1727-2378-2024-23-3-86-92 (In Russ.).]
10. Хан М.А., Костенко Е.В., Микитченко Н.А. и др. Перспективы применения нейроразвивающей терапии у детей с перинатальным поражением центральной нервной системы: обзор. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(3): 102–112. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-3-102-112 [Khan M.A., Kostenko E.V., Mikitchenko N.A., et al. Outlook for the Use of Neurodevelopmental Therapy in Children with Perinatal Central Nervous System Damage: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(3): 102–112. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-3-102-112 (In Russ.).]

11. Jobst C., D'Souza S.J., Causton N., et al. Somatosensory plasticity in hemiplegic cerebral palsy following constraint induced movement therapy. Pediatr. Neurol. 2022; 126: 80–88. https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2021.09.019
12. Икоева Г.А., Андрущенко Н.В. Роботизированная механотерапия в комплексе двигательной реабилитации детей с церебральным параличом. Учебное пособие. С.-Пб.: Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова. 2019; 33 с. [Ikoeva G.A., Andrushchenko N.V. Robotic mechanotherapy in the complex of motor rehabilitation of children with cerebral palsy. Study guide. St. Petersburg: North-West State Medical University named after I.I. Mechnikov. 2019; 33 p. (In Russ.).]
13. Ашрафова У.Ш., Куприянова О.С., Кармазина Е.К. и др. Персонализированный подход к применению методов роботизированной механотерапии у детей с церебральным параличом разных возрастных групп: обзор литературы. Педиатрическая фармакология. 2023; 20(6): 588–596. https://doi.org/10.15690/pf.v20i6.2668 [Ashraphova U.Sh., Kupriianova O.S., Karmazina E.K., et al. A personalized approach to application of robotic mechanotherapy methods in children with cerebral palsy of different age groups (review). Pediatric pharmacology. 2023; 20(6): 588–596. https://doi.org/10.15690/pf.v20i6.2668 (In Russ.).]
14. Борщ Д.С., Шацкий Г.Б. Биомеханика. Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова. 2021; 63 с. [Borsch D.S., Shatsky G.B. Biomechanics. Vitebsk: VSU named after P.M. Masherov. 2021; 63 p. (In Russ.).]
15. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М. 1966; 349 с. [Bernstein N.A. Essays on the physiology of movements and the physiology of activity. Moscow. 1966; 349 p. (In Russ.).]
16. Даминов В.Д. Роботизированная механотерапия в нейрореабилитации. Вестник Алматинского государственного института усовершенствования врачей. 2013; S3: 83–88 [Daminov V.D. Robotic mechanotherapy in neurorehabilitation. Bulletin of the Almaty State Institute for the Improvement of Doctors. 2013; S3: 83–88 (In Russ.).]
17. Клочкова О.А., Куренков А.Л., Каримова Х.М. и др. Многоуровневые инъекции ботулинического токсина типа А (Аботулотоксина) при лечении спастических форм детского церебрального паралича: ретроспективное исследование опыта 8 российских центров. Педиатрическая фармакология. 2016; 13(3): 259–269. https://doi.org/10.15690/pf.v13i3.1576 [Klochkova O.A., Kurenkov A.L., Karimova K.M., et al. Multilevel botulinum toxin A (Abobotulinum toxin A) injections in spastic forms of cerebral palsy: retrospective analysis of 8 Russian centers experience. Pediatric Pharmacology. 2016; 13(3): 259–269. https://doi.org/10.15690/pf.v13i3.1576 (In Russ.).]
18. Бердина О.Н., Михнович В.И., Белогорова Т.А. и др. Применение миорелаксантов в комплексной реабилитации детей со спастико-дискинетическими формами детского церебрального паралича. Фарматека. 2017; 11: 63–66. https://doi.org/10.18565/pharmateca.2017.11.63-66 [Berdina O.N., Mikhnovich V.I., Belogorova T.A., Bolshakova S.E., et al. Use of muscle relaxants in complex rehabilitation of children with spastic-dyskinetic forms of cerebral palsy. Farmateka. 2017; 11: 63–66. https://doi.org/10.18565/pharmateca.2017.11.63-66 (In Russ.).]
19. Лунина Н.В., Скорюкова К.С. Применение игровой биоуправляемой механотерапии в восстановлении моторных функций верхней конечности при гемипаретической форме детского церебрального паралича. Современные вопросы биомедицины. 2023; 7(1). https://doi.org/10.51871/2588-0500_2023_07_01_19 [Lunina N.V., Skoryukova K.S. Application of game biocontrolled mechanotherapy in the restoration of motor functions of the upper limb in hemiparetic form of cerebral palsy. Modern Issues of Biomedicine. 2023; 7(1). https://doi.org/10.51871/2588-0500_2023_07_01_19 (In Russ.).]
20. Киселев А.Д., Силакова Л.В. Разработка метода мотивации детей во время прохождения упражнений по реабилитации в экзоскелете с использованием технологии виртуальной реальности. Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2022; 17(4–2): 86–92. https://doi.org/10.25881/20728255_2022_17_4_2_86 [Kiselev A.D., Silakova L.V. Development of a method for motivating children during exoskeleton rehabilitation exercises using virtual reality technology. Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov. 2022; 17(4–2): 86–92. https://doi.org/10.25881/20728255_2022_17_4_2_86 (In Russ.).]
21. Ayed I., Ghazel A., Jaume-I-Capo A., et al. Vision-based serious games and virtual reality systems for motor rehabilitation: A review geared toward a research methodology. Int. J. Med. Inform. 2019; 131: 103909. https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.06.016
22. Герцик Ю.Г., Иванова Г.Е., Суворов А.Ю. Методики и аппаратура для активно-пассивной механотерапии в здоровьесберегающих технологиях. Гуманитарный вестник. 2013; 4: 1–10 [Gertsik Yu.G., Ivanova G.E., Suvorov A.Yu. Methods and instruments for active-passive mechanotherapy in health-saving technologies. Humanities Bulletin of BMSTU. 2013; 4: 1–10 (In Russ.).]
23. Тачилина А.С., Корнев А.В. Методика проведения занятий тренажерно-игровых комплексов и тренажерных устройств в реабилитации детей с ДЦП. Международный научный журнал «Вестник науки». 2024; 1(70–2): 912–919 [Tachilina A.S., Kornev A.V. Methodology for conducting classes using simulator and game complexes and simulator devices in the rehabilitation of children with cerebral palsy. International Scientific Journal "Bulletin of Science". 2024; 1(70–2): 912–919 (In Russ.).]
24. Киэлевяйнен Л.М. Обеспечение аэробного режима работы на занятиях адаптивной физической культурой для людей с детским церебральным параличом. Адаптивная физическая культура и спорт. 2023; 1: 56–58 [Kielevainen L.M. Providing an aerobic work regime in adaptive physical education classes for people with cerebral palsy. Adaptive Physical Education and Sport. 2023; 1: 56–58 (In Russ.).]
25. Han Y.G., Yun C.K. Effectiveness of treadmill training on gait function in children with cerebral palsy: meta-analysis. J. Exerc. Rehabil. 2020; 16(1): 10–19. https://doi.org/10.12965/jer.1938748.374
26. Alotaibi A., Ibrahim A., Ahmed R., Abualait T. Effectiveness of partial body weight-supported treadmill training on various outcomes in different contexts among children and adolescents with cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis. Children (Basel). 2023; 11(1): 9. https://doi.org/10.3390/children11010009
27. Фролов А.А., Бобров П.Д. Интерфейс мозг-компьютер: нейрофизиологические предпосылки и клиническое применение. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2017; 67(4): 365–376. https://doi.org/10.7868/S0044467717040013 [Frolov A.A., Bobrov P.D. Brain-computer interface: neurophysiological background, clinical application. Journal of Higher Nervous Activity named after I.P. Pavlov. 2017; 67(4): 365–376. https://doi.org/10.7868/S0044467717040013 (In Russ.).]
28. Никитюк И.Е., Кононова Е.Л., Икоева Г.А., Солохина И.Ю. Влияние роботизированной механотерапии в различных комбинациях с неинвазивной электростимуляцией мышц и спинного мозга на постуральный баланс у детей с тяжелыми формами ДЦП. Вестник восстановительной медицины. 2020; 4(98): 26–34. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2020-98-4-26-34 [Nikityuk I.E., Kononova E.L., Ikoeva G.A., Solokhina I.Yu. Effect of robotic mechanotherapy in various combinations with non-invasive electrical stimulation of muscles and spinal cord on postural balance in children with severe forms of cerebral palsy. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2020; 4(98): 26–34. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2020-98-4-26-34 (In Russ.).]
29. Дейнеко В.В., Крысюк О.Б., Сафонов Л.В., Шурыгин С.Н. Современные возможности и прогноз физической реабилитации детей с церебральным параличом. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020; 120(6): 88–91. https://doi.org/10.17116/jnevro202012006188 [Deineko V.V., Krysyuk O.B., Safonov L.V., Shurygin S.N. Modern opportunities and prognosis of physical rehabilitation of children with cerebral palsy. S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2020; 120(6): 88–91. https://doi.org/10.17116/jnevro202012006188 (In Russ.).]
30. Błażkiewicz M., Hadamus A. Assessing the efficacy of lokomat training in pediatric physiotherapy for cerebral palsy: a progress evaluation. J. Clin. Med. 2024; 13(21): 6417. https://doi.org/10.3390/jcm13216417
31. Wang Y., Zhang P., Li C. Systematic review and network meta-analysis of robot-assisted gait training on lower limb function in patients with cerebral palsy. Neurol. Sci. 2023; 44(11): 3863–3875. https://doi.org/10.1007/s10072-023-06964-w

32. Jin L.H., Shin-Seung Y., Young C.J., Kyun S.M. The effect of robot-assisted gait training on locomotor function and functional capability for daily activities in children with cerebral palsy: a single-blinded, randomized cross-over trial. Brain Sci. 2020; 10(11): 801. https://doi.org/10.3390/brainsci10110801

33. Нефедьева Д.Л., Абдрахманова Л.И., Бодрова Р.А. Эффективность применения роботизированного комплекса Walkbot у пациентов с детским церебральным параличом. Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024; 6(3): 253–262. https://doi.org/10.36425/rehab631151 [Nefedeva D.L., Abdrakhmanova L.I., Bodrova R.A. Effectiveness of the Walkbot system in patients with infantile cerebral palsy. Physical and Rehabilitation Medicine, Medical Rehabilitation. 2024; 6(3): 253–262. https://doi.org/10.36425/rehab631151 (In Russ.).]

34. Omochev O.G. Application of robotic technologies for complex rehabilitation of children with cerebral palsy. Acta Scientific Paediatrics. 2024; 7(5): 21–24.

35. Диль В. Активно-пассивная MOTOmed® терапия в реабилитации детей с церебральным параличом. Международный неврологический журнал. 2011; 3(41): 109–113 [Dil V. Active-passive MOTOmed® therapy in rehabilitation of children with cerebral palsy. International Neurological Journal. 2011; 3(41): 109–113 (In Russ.).]

36. Zhang N., Tang Q.-P., Xiong Y.-H. Impacts on the lower limb motor function in children with spastic cerebral palsy treated by Jin three-needle therapy combined with MOTOmed intelligent motor training. Zhongguo Zhen Jiu. 2014; 34(7): 657–660.

37. Лобзин Ю.В., Иванова М.В., Скрипченко Н.В. и др. Опыт применения роботизированной механотерапии в реабилитации детей с двигательными нарушениями различного генеза. Медицина экстремальных ситуаций. 2015; 1: 22–26 [Lobzin Yu.V., Ivanova M.V., Skripchenko N.V., et al. Experience of using robotic mechanotherapy in rehabilitation of children with motor disorders of various genesis. Medicine of Extreme Situations. 2015; 1: 22–26 (In Russ.).]

38. Мосина М.О., Батышева Т.Т., Тихонов С.В., Селиванова Е.А. Экзоскелеты в комплексной реабилитации детей с нарушением функции ходьбы. Детская и подростковая реабилитация. 2022; 1(46): 27–38 [Mosina M.O., Batysheva T.T., Tikhonov S.V., Selivanova E.A. Exoskeletons in comprehensive rehabilitation of children with walking disorders. Children's and Adolescent Rehabilitation. 2022; 1(46): 27–38 (In Russ.).]

39. Голубова Т.Ф., Власенко С.В., Пономаренко Ю.Н., Марусич И.И. Изучение биомеханической эффективности экзоскелета EXOATLET в комплексной санаторно-курортной реабилитации пациентов с ДЦП с формой спастическая диплегия. Вестник физиотерапии и курортологии. 2021; 2: 76 [Golubova T.F., Vlasenko S.V., Ponomarenko Yu.N., Marusich I.I. Study of biomechanical efficiency of the EXOATLET exoskeleton in complex spa and resort rehabilitation of patients with cerebral palsy with a form of spastic diplegia. Bulletin of Physiotherapy and Balneology. 2021; 2: 76 (In Russ.).]

40. Castro P., Martí M., Oliván-Blázquez B., et al. Benefits of robotic gait assistance with ATLAS 2030 in children with cerebral palsy. Front. Pediatr. 2024; 12: 1398044. https://doi.org/10.3389/fped.2024.1398044

41. Бирюков Е.А., Ястребцева И.П. Значение современных роботизированных реабилитационных технологий для улучшения функции верхней конечности. Доктор.Ру. 2022; 21(8): 39–43. https://doi.org/10.31550/1727-2378-2022-21-8-39-43 [Biryukov E.A., Yastrebtseva I.P. The importance of modern robotic rehabilitation technologies for improving upper limb function. Doctor.Ru. 2022; 21(8): 39–43. https://doi.org/10.31550/1727-2378-2022-21-8-39-43 (In Russ.).]

42. Cardone D., Perpetuini D., Di Nicola M., et al. Robot-assisted upper limb therapy for personalized rehabilitation in children with cerebral palsy: a systematic review. Front. Neurol. 2025; 15: 1499249. https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1499249

43. Friel K.M., Lee P., Soles L.V., Smorenburg A.R.P. Combined transcranial direct current stimulation and robotic upper limb therapy improves upper limb function in an adult with cerebral palsy. NeuroRehabilitation. 2017; 41(1): 41–50. https://doi.org/10.3233/NRE-171455

44. Chen Y.P., Howard A.M. Effects of robotic therapy on upper-extremity function in children with cerebral palsy: a systematic review. Dev. Neurorehabil. 2016; 19(1): 64–71. https://doi.org/10.3109/17518423.2014.899648

45. El-Shamy S.M. Efficacy of armeo® robotic therapy versus conventional therapy on upper limb function in children with hemiplegic cerebral palsy. Am. J. Phys. Med. Rehabil. 2018; 97(3): 164–169. https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000852

46. Roberts H., Shierk A., Clegg N.J., et al. Constraint induced movement therapy camp for children with hemiplegic cerebral palsy augmented by use of an exoskeleton to play games in virtual reality. Phys. Occup. Ther. Pediatr. 2020; 41: 150–165. https://doi.org/10.1080/01942638.2020.1812790

47. Kim T.-W., Lee B.-H. Clinical usefulness of brain-computer interface-controlled functional electrical stimulation for improving brain activity in children with spastic cerebral palsy: a pilot randomized controlled trial. J. Phys. Ther. Sci. 2016; 28: 2491–2494. https://doi.org/10.1589/jpts.28.2491

48. Ларина Н.В., Корсунская Л.Л., Власенко С.В. Комплекс «Экзокисть-2» в реабилитации верхней конечности при детском церебральном параличе с использованием неинвазивного интерфейса «мозг-компьютер». Нервно-мышечные болезни. 2019; 9(4): 44–50. https://doi.org/10.17650/2222-8721-2019-9-4-44-50 [Larina N.V., Korsunskaya L.L., Vlasenko S.V. The "Exokist-2" complex in the rehabilitation of the upper limb in cerebral palsy using the non-invasive interface "brain-computer". Neuromuscular diseases. 2019; 9(4): 44–50. https://doi.org/10.17650/2222-8721-2019-9-4-44-50 (In Russ.).]

49. Бобров П.Д., Бирюкова Е.В., Поляев Б.А. и др. Реабилитация больных с детским церебральным параличом с помощью экзоскелета кисти, управляемого интерфейсом «мозг-компьютер». Вестник РГМУ. 2020; 4: 33–40. https://doi.org/10.24075/brsmu.2020.047 [Bobrov P.D., Biryukova E.V., Polyaev B.A., Lajsheva O.A., et al. Rehabilitation of patients with cerebral palsy using hand exoskeleton controlled by brain-computer interface. Bulletin of the RSMU. 2020; 4: 33–40. https://doi.org/10.24075/brsmu.2020.047 (In Russ.).]

50. Таможникова И.С. Применение средств и методов стабилометрии в комплексной программе реабилитации детей с гемиплегической формой ДЦП. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2020; 97(6–2): 123. [Tamozhnikova I.S. Use of means and methods of stabilometry in a comprehensive rehabilitation program for children with hemiplegic form of cerebral palsy. Issues of Balneology, Physiotherapy and Therapeutic Physical Education. 2020; 97(6–2): 123. (In Russ.).]

51. Бердина О.Н., Михнович В.И., Белогорова Т.А. и др. Эффективные возможности применения роботизированной биомеханотерапии в реабилитации пациентов с детским церебральным параличом. Фарматека. 2018; S4: 54–57. https://doi.org/10.18565/pharmateca.2018.s4.54-57 [Berdina O.N., Mikhnovich V.I., Belogorova T.A., et al. Effective possibilities of using robotic biomechanotherapy in rehabilitation of patients with cerebral palsy. Farmateka. 2018; S4: 54–57. https://doi.org/10.18565/pharmateca.2018.s4.54-57 (In Russ.).]

52. Berdina O.N., Bairova T.A., Rychkova L.V., Sheptunov S.A. The pediatric robotic-assisted rehabilitation complex for children and adolescents with cerebral palsy: background and product design. Proceedings of the 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies», IT and QM and IS 2017. St. Petersburg, 2017 Sep 23–30; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2017: 360–363. https://doi.org/10.1109/ITMQIS.2017.8085834

53. Rychkova L., Mikhnovich V., Belogorova T., et al. Rehabilitation of children with spastic cerebral palsy after botulinum toxin therapy. Arch. Dis. Childh. 2017; 102(2): 149–150. https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-313273.388

54. Бердина О.Н., Михнович В.И., Белогорова Т.А. и др. Применение кинезиологического тейпирования в комплексной реабилитации детей с атонически-астатической формой детского церебрального паралича. Фарматека. 2019; 26(10): 59–65. https://dx.doi.org/10.18565/pharmateca.2019.10.59-65 [Berdina O.N., Mikhnovich V.I., Belogorova T.A., et al. Use of kinesiological

taping in complex rehabilitation of children with atonic-astatic form of cerebral palsy. Pharmateka. 2019; 26(10): 59–65. https://dx.doi.org/10.18565/pharmateca.2019.10.59-65 (In Russ.).]

55. Бердина О., Михнович В., Белогорова Т. и др. Реабилитация детей со спастическими формами ДЦП (новые технологии). Врач. 2019; 30(9): 52–56. https://doi.org/10.29296/25877305-2019-09-10 [Berdina O., Mikhnovich V., Belogorova T., Vlasenko A., et al. Rehabilitation of children with spastic forms of cerebral palsy (new technologies). Doctor. 2019; 30(9): 52–56. https://doi.org/10.29296/25877305-2019-09-10 (In Russ.).]
56. Belogorova T., Vlasenko A., Mikhnovich V., et al. Rehabilitation of children with spastic and dyskinetic forms of cerebral palsy through transcranial exposure and biologically feedback. Arch. Dis. Childh. 2019; 104(S3): A352. https://doi.org/10.1136/archdischild-2019-epa.833
57. Машанская А.В., Бугун О.В., Аталян А.В. и др. Опыт применения ботулинотерапии и кинезиоплатформы-качелей в программе медицинской реабилитации детей. Вестник физиотерапии и курортологии. 2022; 28(1): 91 [Mashanskaya A.V., Bugun O.V., Atalyan A.V., et al. Experience of using botulinum therapy and kinesioplatform-swing in the program of medical rehabilitation of children. Bulletin of Physiotherapy and Balneology. 2022; 28(1): 91 (In Russ.).]
58. Бугун О.В., Машанская А.В., Аталян А.В. и др. Комплексная реабилитация пациентов с двигательными нарушениями при спастических формах ДЦП. Acta Biomedica Scientifica. 2021; 6(6–2): 82–91. https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.6-2.9 [Bugun O.V., Mashanskaya A.V., Atalyan A.V., Mikhnovich V.I., et al. Comprehensive rehabilitation of patients with movement disorders with spastic forms of cerebral palsy. Acta Biomedica Scientifica. 2021; 6(6–2): 82–91. https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.6-2.9 (In Russ.).]
59. Коваленко А.П., Камаева О.В., Полещук Ю.Р., Ковлен Д.В. Шкалы и тесты в реабилитации и лечении пациентов со спастичностью верхней конечности. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020; 120(4): 107–114. https://doi.org/10.17116/jnevro2020120041107 [Kovalenko A.P., Kamaeva O.V., Poleshchuk Yu.R., Kovlen D.V. Scales and tests in the rehabilitation and treatment of patients with spasticity of the upper limbs. S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2020; 120(4): 107–114. https://doi.org/10.17116/jnevro2020120041107 (In Russ.).]
60. Бергер А.Б., Кончугова Т.В. Применение чрескожной электронейростимуляции на II этапе медицинской реабилитации при ишемическом инсульте: контролируемое рандомизированное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(3): 140–146. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-3-140-146 [Berger A.B., Konchugova T.V. Transcutaneous Electrical Neurostimulation at the Second Stage of Medical Rehabilitation in Ischemic Stroke: a Controlled Randomized Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(3): 140–146. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-3-140-146 (In Russ.).]

Обзорная статья / Review
DOI: https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-114-123

Гигиенические аспекты применения спелеотерапии в комплексном лечении и профилактике хронических неинфекционных заболеваний: обзор

Стромилова А.А.[1,*], Яковлев М.Ю.[1,2], Митрохин О.В.[2]

[1] *Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия*
[2] *Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия*

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Применение нелекарственной терапии способствует повышению эффективности лекарственных средств, уменьшению и предотвращению побочных действий медикаментозной нагрузки на пациентов в лечении терапевтической патологии. Одним из таких методов является минералотерапия, основанная на использовании природных калийных солей, которые доказали свою эффективность в профилактике и лечении ряда заболеваний.

ЦЕЛЬ. Изучение гигиенических аспектов применения минеральных ресурсов в комплексном лечении и профилактике хронических неинфекционных заболеваний.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА. Проведен сбор и анализ публикаций по данной теме по базам данных PubMed (402 публикации) и eLIBRARY.RU (796 публикаций), из них 353 были уникальными, по ключевым словам на русском и английском языках: природные лечебные ресурсы, спелеокамера, сильвинит, хронические неинфекционные заболевания. Даты запросов: с 18 декабря 2025 г. по 22 марта 2026 г. Глубина запроса: 2000–2023 гг. Были включены публикации обзоров, систематических обзоров и клинических наблюдений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Установлено, что гигиенические параметры внутренней среды спелеокамер формируют комплексное благоприятное воздействие на организм человека, способствуя сохранению и укреплению здоровья лиц с хронической неинфекционной патологией. Спелеолечение благоприятно воздействует на дыхательную, нервную, сердечно-сосудистую и иммунную системы, но необходимы дальнейшие исследования с длительным периодом наблюдения, вовлечением различных половозрастных и профессиональных групп населения, а также лиц, проходящих санаторно-курортное лечение и реабилитацию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: природные лечебные ресурсы, спелеокамера, сильвинит, хронические неинфекционные заболевания

Для цитирования / For citation: Стромилова А.А., Яковлев М.Ю., Митрохин О.В. Гигиенические аспекты применения спелеотерапии в комплексном лечении и профилактике хронических неинфекционных заболеваний: обзор. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(5):114–123. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-114-123 [Stromilova A.A., Yakovlev M.Yu., Mitrokhin O.V. Hygienic Aspects of the Use of Mineral Resources in the Complex Treatment and Prevention of Chronic Non-communicable Diseases: A Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):114–123. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-114-123 (In Russ.).]
* **Для корреспонденции:** Стромилова Алена Алексеевна, E-mail: stromilovaaa@nmicrk.ru, helen31bel@yandex.ru

Статья получена: 25.03.2026
Статья принята к печати: 31.08.2026
Статья опубликована: 23.10.2026

© 2026, Стромилова А.А., Яковлев М.Ю., Митрохин О.В.
Эта статья открытого доступа по лицензии CC BY-NC-SA 4.0. Издательство: ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

Hygienic Aspects of the Use of Mineral Resources in the Complex Treatment and Prevention of Chronic Non-communicable Diseases: A Review

Alena A. Stromilova[1,*], Maxim Yu. Yakovlev[1,2], Oleg V. Mitrokhin[2]

[1] *National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia*
[2] *I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia*

ABSTRACT

INTRODUCTION. Non-drug therapies help enhance the effectiveness of medication, whilst reducing and preventing the side effects associated with the pharmacological burden on patients undergoing treatment for therapeutic conditions. One such method is mineral therapy, which is based on the use of natural potassium salts that have proven effective in the prevention and treatment of a number of diseases.

AIM. Study of hygienic aspects of the use of mineral resources in complex treatment and prevention of chronic non-communicable diseases.

MAIN CONTENT OF THE REVIEW. A total of 402 publications from PubMed and 796 from eLIBRARY.RU were collected and analyzed, resulting in 353 unique entries. Keywords used in both Russian and English included natural therapeutic resources, speleochamber, sylvinite, and chronic non-communicable diseases. Query dates: December 18, 2025, to March 22, 2026, spanning publications from 2000 to 2023. This included review articles, systematic reviews, and clinical observations.

CONCLUSION. The hygienic parameters of speleotherapy chambers have demonstrated a comprehensive beneficial effect on the human body, helping to maintain and improve the health of individuals with chronic non-infectious conditions. Speleotherapy has a beneficial effect on the respiratory, nervous, cardiovascular and immune systems. Nonetheless, additional research is necessary, which should include long-term follow-up and involve diverse groups in terms of gender, age, and occupation, alongside individuals participating in health resort treatments and rehabilitation programs.

KEYWORDS: natural therapeutic, speleothem, speleochamber, chronic non-communicable diseases

For citation: Stromilova A.A., Yakovlev M.Yu., Mitrokhin O.V. Hygienic Aspects of the Use of Mineral Resources in the Complex Treatment and Prevention of Chronic Non-communicable Diseases: A Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):114–123. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-114-123 (In Russ.).

* **For correspondence:** Alena A. Stromilova, E-mail: stromilovaaa@nmicrk.ru, helen31bel@yandex.ru

Received: 25.03.2026
Accepted: 31.08.2026
Published: 23.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

По данным Всемирной организации здравоохранения, от хронических неинфекционных заболеваний в мире ежегодно умирает 41 млн человек, что составляет 71 % всех случаев смерти, из них более 15 млн человек умирают в возрасте 30–69 лет [1].

Выделяются следующие факторы окружающей среды, негативно действующие на здоровье человека: физические факторы (влияние параметров микроклимата, воздействие электромагнитных полей, шума, радиации и т. д.), химические факторы (загрязнение атмосферного воздуха, увеличение количества отходов [2, 3], вредное воздействие бытовой химии и т. д.), биологические факторы (влияние возбудителей инфекционных заболеваний) и социальные факторы (образ жизни, условия труда и т. д.) [4].

По данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) «Государственная статистика», в Российской Федерации с 2020 г. по 2022 г. зарегистрировано соответственно 8 259 409, 9 469 638 и 10 343 923 случаев заболевания пациентов болезнями органов дыхания. При этом данные заболевания — с диагнозом, установленным впервые в жизни, то есть имеется тенденция к увеличению показателей заболеваемости по данной нозологии.

Также в системе ЕМИСС с 2020 г. по 2022 г. отмечается увеличение числа пациентов с болезнями системы кровообращения — 3 608 077, 4 591 585, 5 173 920 случаев соответственно. По данным ЕМИСС, за тот же период зарегистрировано увеличение числа пациентов с болезнями органов пищеварения: 40 973 358, 50 325 372, 58 033 710 случаев соответственно. По данным исследования Митрохина О.В. и соавт., также отмечается высокая распространенность болезней органов системы пищеварения, в том числе среди студенческой молодежи [5].

Применению немедикаментозных технологий и неспецифических мер профилактики болезней системы кровообращения посвящен достаточно широкий спектр научных исследований [6–10].

В свою очередь, физиотерапевтические методы обладают иммунокорригирующим, гипосенсибилизирующим, адаптогенным действием, повышают неспецифическую резистентность организма [10–12]. Одним из таких методов является минералотерапия, основанная на использовании природных калийных солей [13].

Следует отметить, что одним из таких методов является спелеотерапия, основанная на использовании природных калийных солей. На современном этапе данный метод представляет собой неотъемлемый компонент

практического здравоохранения и часто используется в программах санаторно-курортного лечения и реабилитации [6, 8, 10, 14].

ЦЕЛЬ

Изучение гигиенических аспектов применения минеральных ресурсов в комплексном лечении и профилактике хронических неинфекционных заболеваний.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА

Проведен сбор и анализ публикаций по данной теме по базам данных PubMed (402 публикации) и eLIBRARY.RU (796 публикаций), из них 353 были уникальными, по ключевым словам, на русском и английском языках: природные лечебные ресурсы, спелеокамера, сильвинит, хронические неинфекционные заболевания. Даты запросов: с 18 декабря 2025 г. по 22 марта 2026 г. Глубина запроса: 2000–2023 гг. Были включены публикации обзоров, систематических обзоров и клинических наблюдений.

Становление спелеотерапии в ее современном виде относится к 50-м гг. XX в., когда в ряде государств Восточной и Центральной Европы начали появляться первые спелеолечебницы [15]. В 1949 г. доктор Карл Герман Шпаннагель приступил к изучению лечебно-профилактического потенциала пещер при бронхиальной астме, хроническом бронхите и коклюше. Десятилетием позже природные карстовые полости стали использоваться для лечения в Венгрии и Чехословакии. Полученные результаты способствовали созданию международного общества спелеотерапии [15]. В СССР первая спелеолечебница открылась в 1968 г., а в 1977 г. в Пермской области заработала первая в мире подземная лечебница, размещенная непосредственно в калийном руднике. Следующим значимым шагом стало патентование в 1982 г. первой климатической камеры с соляным фильтром-насытителем, позволившей моделировать условия соляных шахт на поверхности [6, 16].

Таким образом, основные этапы становления метода спелеотерапии в мировой практике наглядно отражают тенденции развития эффективных методов немедикаментозного лечения и профилактики ряда заболеваний дыхательной системы и аллергических процессов. Данный вариант терапии основан на специфичности компонентов спелеосреды, оказывающих лечебно-оздоровительное воздействие на организм пациентов [17].

Сегодня десятки миллионов человек по всему миру практикуют соляную терапию, спелеотерапию и галотерапию, иными словами, оздоровление в помещениях из соляных пород для борьбы с аллергией, иммунодефицитными состояниями, последствиями стресса. Данное направление было впервые предложено и впоследствии развито пермскими учеными [18].

Спелеотерапия представляет собой комплексный немедикаментозный метод с доказанной эффективностью, ориентированный на сохранение и укрепление здоровья [19–21]. Исследования продемонстрировали, что положительное действие спелеосреды определяется повышенной концентрацией аэроионов и специфическими климатическими параметрами [7].

В трудах Файнбурга Г.З. и Исаевича А.Г. [18] детально описаны гигиенические характеристики внутренней среды сильвинитовой спелеоклиматической камеры, формирующие лечебный эффект:

- повышенная относительно фона концентрация легких аэроионов с преобладанием отрицательно заряженных частиц кластерной природы и характерным распределением по подвижности и заряду;
- многокомпонентный химический состав субмикронного респирабельного соляного аэрозоля, близкий к составу морского и включающий хлориды натрия, калия, магния, кальция, а также весь спектр эссенциальных микроэлементов в следовых концентрациях;
- увеличенное содержание наноразмерного соляного аэрозоля конденсации со специфическим распределением частиц по массе, где доминируют нано- и субмикронные фракции;
- мягкое бета- и гамма-излучение природного изотопа калия-40, не превышающее естественный радиационный фон, которое обеспечивает непрерывное образование легких отрицательных аэроионов и запускает у живых организмов эффект радиационного гормезиса (нормализации гомеостатических механизмов).

Более чем сорокалетняя практика применения природного сильвинита Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей подтверждает его ценность как природного лечебного ресурса. Доказана его эффективность при бронхиальной астме (аллергической и неаллергической, легкого и среднетяжелого течения вне обострения), поллинозе, аллергическом риносинусите, хроническом обструктивном бронхите, атопическом дерматите, нейродермите, вульгарном псориазе, хроническом генерализованном катаральном гингивите, а также для коррекции функций центральной нервной системы, вегетососудистых дисфункций, в реабилитации после аортокоронарного шунтирования и при синдроме хронической усталости [19].

Процедуры проводятся как в подземных спелеолечебницах, так и в наземных стационарах — спелеоклиматических камерах. Спелеотерапия в сильвинитовых подземных лечебницах или специально оборудованных наземных сооружениях демонстрирует доказанную эффективность при использовании в качестве самостоятельного метода либо в комплексе с фармакотерапией. Положительный эффект зафиксирован как у взрослых пациентов (включая постинсультные состояния), так и у детей [22, 23]. Лечебно-профилактические процедуры в сильвинитовых спелеокамерах показаны больным пульмонологического, оториноларингологического, кардиологического, неврологического и дерматологического профилей [11].

Ключевым вопросом является понимание механизмов лечебного воздействия и природы формирования факторов подземной среды [11]. Главным интегральным фактором признается гормезис — неспецифическая адаптационная реакция организма, развивающаяся при нахождении пациента в спелеотерапевтическом стационаре (подземном или наземном) [24]. Параллельно ряд гигиенических факторов — высокая влажность, значительная ионизация воздуха, повышенная концентрация соляных аэрозолей — вызывает прямые специфические реакции: бронхолитический эффект (разжи-

жение мокроты) и усиление мукоцилиарного клиренса (эвакуация мокроты), что благоприятно сказывается на процессе выздоровления. Именно сочетание специфических и неспецифических ответов на факторы подземного пространства и обеспечивает терапевтический результат спелеотерапии.

Природные лечебные ресурсы характеризуются мягкостью и естественностью воздействия на защитные механизмы организма, обладая при этом достаточно высокой эффективностью, относительной массовостью и экономичностью. Они могут широко применяться для профилактики и реабилитации (вне острой фазы заболевания), однако в рамках доминирующей медикаментозной парадигмы рассматриваются как дополнительное средство лечения [11, 25].

Установлено, что микроклимат пещер и шахт благоприятно сказывается не только на дыхательной, но и на нервной, сердечно-сосудистой и иммунной системах. Воздух здесь обеднен патогенной микрофлорой, а отрицательные ионы проявляют бактерицидный эффект. В условиях ионизированного воздуха улучшаются способность к концентрации внимания и восприятие, снижается уровень агрессивности [26].

Показано, что микроклимат спелеокамеры положительно воздействует не только на дыхательную, но и на сердечно-сосудистую систему, а также модифицирует иммунный статус [27–29].

В работах Киреенко Л.Д., Баранникова В.Г., Елькина В.Д., Дементьева С.В., Кириченко Л.В. гигиенические и клинико-физиологические исследования выявили перспективность экранов из природного сильвинита в комплексной терапии атопического дерматита. Соляные экраны выраженно позитивно воздействовали на внутреннюю среду палат: формировались оптимальные микроклиматические условия, повышенный относительно фона радиационный фон способствовал ионизации воздуха с доминированием легких отрицательных аэроионов. Курс лечения дерматологических больных в таких палатах приводил к значимому улучшению функционального состояния сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Применение солетерапии в комплексном лечении и профилактике атопического дерматита позволило достичь клинической ремиссии у 80 % пациентов [30–32].

Исследование студентов-добровольцев 1–2 курсов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России, включавшее оценку иммунитета, показателей кардиоритма, дыхания, центрального и периферического кровотока, электроэнцефалографии, зрительных вызванных потенциалов, работоспособности и психологического статуса, показало: влияние спелеотерапии на организм главным образом реализуется через внутрисистемные механизмы, затрагивая регуляторные звенья на уровне вагосимпатического взаимодействия [33].

Сердечно-сосудистая система отражает адаптационные перестройки на действие аэроионов, однако реакция сердца неоднозначна и преимущественно проявляется напряжением регуляторных систем даже после завершения полного курса. Напротив, дыхательная система реагирует наиболее позитивно: аэроионы способствуют восстановлению и поддержке легочной ткани, положительно влияют на сурфактантную систему. Установлено, что спелеотерапия восстанавливает вегетативный баланс и запускает специфические и неспецифические реакции иммунной защиты. Отмечено достоверное снижение ситуативной тревожности по шкале Спилбергера — Ханина после курса спелеотерапии. По параметрам зрительных вызванных потенциалов улучшаются скорость проведения зрительного сигнала, первичной обработки и анализа зрительной информации. Таким образом, курс спелеотерапии ведет к наращиванию резервов нейроиммуноэндокринной системы, определяемых исходным психофизиологическим статусом, и активирует, а впоследствии снижает активность стресс-реализующих систем. Повышение активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы свидетельствует о восстановлении баланса ее отделов [34, 35].

Положительный эффект зарегистрирован и при комбинации спелеотерапии с легочной реабилитацией, тренировками на выносливость и силовыми нагрузками у пожилых лиц с хронической дыхательной патологией. Так, с марта 2018 г. по декабрь 2019 г. на базе бальнеологического курорта «Величка» (Польша) 51 пациент старшего возраста с хроническими заболеваниями легких прошел трехнедельную программу реабилитации в подземных соляных камерах на глубине 135 м. До курса и после него проводились тест с четырьмя квадратами (FSST) и измерение окружности грудной клетки. Средняя подвижность грудной клетки достоверно увеличилась ($p \leq 0,05$) с 4,5 ± 0,5 см до 5,4 ± 4,7 см. Следовательно, сочетание спелеотерапии с легочной реабилитацией и физическими тренировками значимо улучшило динамическое равновесие и экскурсию грудной клетки пожилых пациентов с хронической легочной патологией [36].

Многочисленные литературные данные подтверждают высокую эффективность спелеотерапии в комплексном лечении и профилактике бронхиальной астмы. В 2022 г. Эфендиевой Н.И. (Баку, Азербайджан) проведено исследование с участием 80 детей в возрасте от 5 до 18 лет с атопической бронхиальной астмой: 50 из них получали спелеотерапию, 30 — только базисную терапию. В ряде случаев функция внешнего дыхания оценивалась спирометрически, клинические симптомы — по опроснику АСТ (тест по контролю над астмой). В группе, получавшей спелеотерапию, при легком течении заболевания дневные симптомы сократились в 2,9 раза, ночные — в 5,2 раза, показатель АСТ вырос на 24,1 ± 0,2 балла ($p < 0,001$). При среднетяжелом течении дневные симптомы уменьшились в 2,7 раза ($p < 0,001$), ночные — в 3,0 раза, прирост АСТ составил 23,1 ± 0,3 балла. После курса спелеотерапии зафиксировано улучшение параметров легочной функции [37].

Дополнительное включение в базисный медикаментозный комплекс сеансов спелеотерапии (наземная спелеокамера, 10–15 процедур по 40–50 минут) в период ремиссии бронхиальной астмы позволило более значимо улучшить бронхиальную проводимость, эффективнее снизить риск кардиоваскулярных осложнений и повысить толерантность к физическим нагрузкам. Включение спелеолечения в программу медицинской

реабилитации больных бронхиальной астмой способствовало сокращению частоты приступов удушья, уменьшению потребности в бронхолитиках и улучшению показателей бронхиальной проходимости [38].

У детей с бронхиальной астмой включение спелеокамеры в реабилитационную программу также обеспечивало существенное улучшение самочувствия и клинических показателей [39]. После курса гало- и спелеотерапии у детей возрастали медианы жизненной емкости легких, форсированной жизненной емкости легких, объема форсированного выдоха за 1-ю секунду и скоростных параметров функции внешнего дыхания (МОС25, МОС50, МОС75, МОС25–75). Авторы связывают улучшение бронхиальной проходимости с уменьшением воспалительных изменений слизистой дыхательных путей под сочетанным действием факторов искусственной спелеосреды [40].

Включение спелеотерапии в программу реабилитации часто болеющих острыми респираторными вирусными инфекциями дошкольников показало восстановление мукоцилиарного транспорта (по данным назоцитограммы), достоверное снижение уровня нейтрофилов, улучшение показателей местного иммунитета (секреторного иммуноглобулина А), фагоцитарная активность нейтрофилов достоверно повышалась, особенно в группе детей, проходивших реабилитацию совместно с матерью [41, 42].

Объективная оценка результатов лечения в подземных спелеоклиматических камерах и тысячах наземных стационаров свидетельствует о следующем: у подавляющего большинства пациентов улучшаются показатели внешнего дыхания, биохимические маркеры крови, иммунный ответ, значительно возрастает продолжительность ремиссии. Метод многогранен. Состояния, ранее считавшиеся противопоказаниями, в настоящее время при определенных условиях могут быть показанием, например, сохранение беременности с помощью спелеоклиматотерапии. Научный интерес вызывает способность природного сильвинита увеличивать содержание благородных газов и влияние «мягких» полевых составляющих в спелеоклиматических камерах. Наблюдаемые эффекты носят более сложный и тонкий характер, связанный на внутриклеточном уровне с пусковыми механизмами, генерируемыми чрезвычайно сложным по генезу природным сильвинитом [19].

Изучение особенностей действия солевого микроклимата показало, что для оптимизации длительности процедуры и сроков лечения, а также для достижения высокой результативности и безопасности метода необходимо дозировать концентрацию сухого аэрозоля с учетом характера респираторной и иной патологии [11]. Это диктует потребность в дальнейшем исследовании гигиенических нормативов и параметров микроклимата спелеокамер.

По мнению Разумова А.Н., Файнбурга Г.З., Бохана А.Н., многолетний опыт и научные исследования подтверждают высокую эффективность спелеотерапии и других физиотерапевтических методов, многие из которых имеют многовековые традиции и лечебную практику. Их действенность доказана не только клиническими испытаниями, но и их длительным успешным применением [43].

Вместе с тем при эксплуатации сильвинитовых спелеокамер далеко не всегда осуществляется гигиеническая оценка микроклиматических параметров, не учитываются дозовые нагрузки. Оценивается, как правило, исключительно терапевтический эффект, тогда как гигиенический аспект остается вне поля зрения.

При этом в России именно гигиенические нормативы служат главным инструментом оценки воздействия вредных производственных факторов на здоровье работников, и их превышение квалифицируется как нарушение санитарного законодательства [44].

Эффективность медицинского применения гало- и спелеоклиматических камер напрямую зависит от корректности построения режимов эксплуатации на базе результатов гигиенической оценки параметров среды [45].

Приоритетными гигиенически значимыми показателями для оценки качественных и количественных характеристик наземных галокамер выступают: стабильность микроклимата (температура, относительная влажность), присутствие мелкодисперсного соляного аэрозоля, отсутствие бактериального загрязнения и высокая концентрация аэроионов [46].

В частности, Николаевой Е.А. и Косяченко Г.Е. разработан метод управления гигиеническими параметрами спелеосреды в спелеостационаре, базирующийся на комплексном подходе. Он предусматривает создание системы мониторинга прямых и косвенных показателей состояния среды лечебной зоны, включая планирование и поэтапную реализацию профилактических мероприятий по сохранению качественного и количественного состава спелеобиотопа подземных отделений для долговременной эксплуатации объекта [47] (табл. 1).

Таблица 1. Показатели состояния спелеосреды лечебной зоны
Table 1. Indicators of the state of the speleological environment of the therapeutic zone

Прямые показатели / Direct indicators	Косвенные показатели / Indirect indicators
Комплекс гигиенических параметров спелеосреды / Complex of hygienic parameters of the speleological environment: • показатели микроклимата (температура воздуха, относительная влажность воздуха, подвижность воздуха) / microclimate indicators (air temperature, relative humidity, and air velocity); • содержание соляного аэрозоля в воздухе / the concentration of salt aerosol in the air;	• Оценка функций внешнего дыхания / assessment of respiratory functions; • субъективная оценка самочувствия / subjective assessment of well-being;

Окончание таблицы 1 / Table 1 End

Прямые показатели / Direct indicators	Косвенные показатели / Indirect indicators
• микробиологические показатели (общее количество микроорганизмов в 1 м^3 воздуха, общее количество микроорганизмов в 100 см^2 поверхности стен) / microbiological indicators (total number of microorganisms in 1 m^3 of air, total number of microorganisms in 100 cm^2 of wall surface); • ионный состав воздуха (отрицательного и положительного знака) / ionic composition of the air (negative and positive signs); • уровень звука / sound level; • искусственная освещенность / artificial lighting	• удовлетворенность пациентов качеством медицинских услуг / patient satisfaction with the quality of medical services

На основании полученных результатов оценки прямых и косвенных показателей состояния спелеосреды лечебной зоны спелеостационара определяются категории состояния спелеосреды (табл. 2). На основании категории состояния спелеосреды устанавливается и планируется необходимый комплекс мер по управлению параметрами спелеосреды [41].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективность спелеотерапии в лечении хронических неинфекционных заболеваний подтверждена многочисленными исследованиями. Установлено, что гигиенические параметры внутренней среды спелеокамер — воздух, насыщенный аэрозолями с высокой концентрацией положительных и, что особенно важно, отрицательных аэроионов натрия, магния, хлора и других элементов, пониженная температура в сочетании с повышенной влажностью, а также слабый естественный радиационный фон — формируют комплексное благоприятное воздействие на организм человека, способствуя сохранению и укреплению здоровья лиц с хронической неинфекционной патологией.

Проведенный анализ литературных источников показывает, что применение спелеотерапии обеспечивает положительные результаты при лечении и профилактике широкого круга неинфекционных заболеваний, включая бронхиальную астму у взрослых и детей, атопический дерматит и нейродермит (аллергической и не-

Таблица 2. Категории состояния спелеосреды лечебной зоны
Table 2. Categories of the state of the speleological environment of the therapeutic zone

Характеристики (параметры) / Characteristics (parameters)	Категории состояния спелеосреды лечебной зоны / Categories of the state of the speleological environment of the therapeutic zone		
	Оптимальная / Optimal	Удовлетворительная / Satisfactory	Неудовлетворительная / Unsatisfactory
Гигиенические параметры факторов среды / Hygienic parameters of environmental factors	Соответствуют гигиеническим нормативам / Comply with hygiene standards	Соответствуют гигиеническим нормативам / Comply with hygiene standards	Не соответствуют гигиеническим нормативам / They do not comply with hygiene standards
Показатели функции внешнего дыхания / Indicators of the function of external respiration	Не имеют отрицательной динамики после курса спелеотерапии / They do not have negative dynamics after a course of speleotherapy	Не имеют отрицательной динамики после курса спелеотерапии / They do not have negative dynamics after a course of speleotherapy	Имеют устойчивую отрицательную динамику после курса спелеотерапии / They have a steady negative trend after a course of speleotherapy
Коэффициент субъективной оценки самочувствия / The coefficient of subjective assessment of well-being	0,34–1,0	0,2–0,33	0,19 и менее / 0.19 and less
Коэффициент субъективной оценки удовлетворенности пациентами качеством медицинских услуг / Coefficient of subjective assessment of patients' satisfaction with the quality of medical services	0,6–1,0	0,2–0,59	0,19 и менее / 0.19 and less

аллергической этиологии, легкой и средней степени тяжести вне обострения), поллиноз, аллергический риносинусит и хронический обструктивный бронхит (вне обострения), вульгарный псориаз, хронический генерализованный катаральный гингивит, нарушения регуляции функций центральной нервной системы, вегетососудистые дисфункции, состояния после аортокоронарного шунтирования и синдром хронической усталости. Наряду с этим отмечена эффективность сочетанного применения спелеотерапии с легочной реабилитацией, тренировками на выносливость и силовыми нагрузками у пожилых пациентов с хронической дыхательной патологией. Включение спелеотерапии в программы реабилитации часто болеющих острыми респираторными вирусными инфекциями дошкольников продемонстрировало улучшение показателей местного иммунитета.

Таким образом, спелеолечение оказывает многосистемное благоприятное влияние на дыхательную, нервную, сердечно-сосудистую и иммунную системы. Вместе с тем сохраняется потребность в дальнейших исследованиях гигиенических характеристик и микроклиматических параметров спелеокамер, предусматривающих оценку их воздействия на различные половозрастные и профессиональные группы населения, а также на лиц, проходящих санаторно-курортное лечение и реабилитацию.

С учетом вышеизложенного сохраняет свою актуальность задача разработки конкретных мер и программ, направленных на предупреждение рисков развития наиболее распространенных болезней системы кровообращения и их осложнений.

Однако при применении сильвинитовых спелеокамер гигиеническая оценка микроклимата проводится не в полном объеме, а дозы воздействия зачастую не учитываются. Оценка ограничивается преимущественно терапевтическим результатом, тогда как гигиенический аспект остается вне поля зрения.

В связи с этим назрела необходимость разработки метода, ориентированного на создание современной и доступной системы гигиенического мониторинга качества спелеосреды. Такая система должна базироваться на единых подходах к отбору проб и измерению факторов среды, а также предусматривать разработку и при необходимости реализацию корректирующих и профилактических мероприятий, обеспечивающих поддержание качественных и количественных характеристик спелеосреды в пределах гигиенически допустимых значений.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Стромилова Алена Алексеевна, врач-эпидемиолог, эпидемиологический отдел управления по координации деятельности филиалов, научный сотрудник, отдел изучения механизмов действия физических факторов, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.
E-mail: stromilovaaa@nmicrk.ru, helen31bel@yandex.ru;
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-7034-2372

Яковлев Максим Юрьевич, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник, отдел изучения механизмов действия физических факторов, заместитель директора по стратегическому развитию, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, профессор кафедры общей гигиены, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет).
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5260-8304

Митрохин Олег Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, директор, Институт общественного здоровья им. Ф.Ф. Эрисмана, заведующий кафедрой общей гигиены, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет).
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6403-0423

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: Стромилова А.А. — научное обоснование, методология, написание черновика рукописи, редактирование рукописи, верификация и анализ данных; Яковлев М.Ю. — методология, руководство проектом, курация данных, обеспечение материалов для исследования; Митрохин О.В. — руководство проектом, курация данных, обеспечение материалов для исследования.

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

Конфликт интересов. Яковлев М.Ю. — член редакционной коллегии журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

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

ADDITIONAL INFORMATION

Alena A. Stromilova, Epidemiologist, Epidemiological Department of the Office for Branch Operations, Researcher, Department for the Study of the Mechanisms of Action of Physical Factors, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.
E-mail: stromilovaaa@nmicrk.ru, helen31bel@yandex.ru;
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-7034-2372

Maxim Yu. Yakovlev, D.Sc. (Med.), Chief Researcher, Department for the Study of the Mechanisms of Action of Physical Factors, Deputy Director for Strategic Development, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology; Professor at the Department of General Hygiene, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5260-8304

Oleg V. Mitrokhin, D.Sc. (Med.), Professor, Director, F.F. Erisman Institute of Public Health, Head of the Department of General Hygiene, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6403-0423

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: Stromilova A.A. — scientific justification, methodology, writing the manuscript draft, editing the manuscript, data verification and analysis; Yakovlev M.Yu. — methodology, project management, data curation, provision of materials for the study; Mitrokhin O.V. — project management, data curation, provision of materials for the study.

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

Disclosure. Yakovlev M.Yu. — Member of Editorial Board 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. Образцова Т.Н., Корюкина И.П., Репецкая М.Н. Спелеоклиматотерапия в лечении детей с аллергодерматозами в дошкольном учреждении курорта Усть-Качка / В кн.: Труханов А.И. и др. Лечение в спелеоклиматической камере «Палеозойский грот». М.: Медафарм Сити, 2005; 61–64. [Obraztsova T.N., Koryukina I.P., Repetskaya M.N. Speleoclimatotherapy in the treatment of children with allergic dermatoses in a preschool institution of the Ust-Kachka resort. In: Trukhanov A.I. et al. (eds.) Treatment in the "Paleozoic Grotto" speleoclimatic chamber. M.: Medafarm City LLC, 2005; 61–64 (In Russ.).]
2. Краскевич Д.А., Щербаков Д.В., Жернов Ю.В. и др. Система мер по уменьшению пластикового загрязнения и потенциального воздействия на здоровье человека (обзор литературы). Медицина труда и экология человека. 2024; 3: 113. https://doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10307 [Kraskevich D.A., Shcherbakov D.V., Zhernov Yu.V., et al. A system of measures to reduce plastic pollution and potential impact on human health (literature review). Occupational Medicine and Human Ecology. 2024; 3: 113. https://doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10307 (In Russ.).]
3. Попова А.Ю., Брагина И.В., Смоленский В.Ю. и др. Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека. Руководство Р 1.2.3156-13. Разработано Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Том 1.2. Гигиена, токсикология, санитария. Москва. 2014; 6 [Popova A.Yu., Bragina I.V., Smolenskii V.Yu., et al. Assessment of toxicity and hazard of chemicals and their mixtures for human health. Guidelines R 1.2.3156-13. Developed by the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing. Vol. 1.2. Hygiene, toxicology, sanitation. Moscow. 2014; 6 (In Russ.).]
4. Митрохин О.В. Гигиена: учебник. Под ред. О.В. Митрохина. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2024; 408 с. [Mitrokhin O.V. Hygiene: textbook. Ed. by O.V. Mitrokhin. M.: GEOTAR-Media, 2024; 408 p. (In Russ.).]
5. Митрохин О.В., Матвеев А.А., Ермакова Н.А., Белова Е.В. Оценка факторов риска возникновения алиментарно-зависимых заболеваний студентов в связи с условиями питания. Анализ риска здоровью. 2019; 4: 69–76. https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.07 [Mitrokhin O.V., Matveev A.A., Ermakova N.A., Belova E.V. Assessing risk factors that can cause alimentary-dependent diseases among students in relation to their nutrition. Health Risk Analysis. 2019; 4: 69–76. https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.07 (In Russ.).]
6. Драпкина О.М., Концевая А.В., Калинина А.М. и др. Профилактика хронических неинфекционных заболеваний в Российской Федерации. Национальное руководство 2022. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2022; 21(4): 3235. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2022-3235 [Drapkina O.M., Kontsevaya A.V., Kalinina A.M., et al. Prevention of chronic non-communicable diseases in the Russian Federation. National guidelines. 2022. Cardiovascular Therapy and Prevention. 2022; 21(4): 3235. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2022-3235 (In Russ.).]
7. Файнбург Г.З., Исаевич А.Г. Открытие, которое изменило мир (о роли Пермской науки в рождении и применении сильвинитовой спелеоклиматотерапии). Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2023; 1: 59–66. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2023.1.7 [Faynburg G.Z., Isaevich A.G. The discovery that changed the world (about the role of Permian science in the birth and application of silvinite speleoclimatotherapy). Perm Federal Research Centre Journal. 2023; 1: 59–66. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2023.1.7 (In Russ.).]
8. Мизин В.И., Яновский Т.С., Ежов В.В., Царев А.Ю. Синдромно-ориентированная медицинская физиотерапевтическая реабилитация при болезнях системы кровообращения на климатическом курорте. Вестник физиотерапии и курортологии. 2022; 3(16): 22 [Mizin V.I., Yanovsky T.S., Ezhov V.V., Tsarev A.Yu. Syndrome-oriented medical physiotherapeutic rehabilitation in diseases of blood circulation system at the climatic health resort. Herald of physiotherapy and health resort therapy. 2022; 3(16): 22 (In Russ.).]
9. Кардашов Е.А. Влияние 10-дневного курса спелеотерапии на сердечно-сосудистую, респираторную системы человека и его психологическое состояние. Молодежный инновационный вестник. 2023; 12(2): 373. [Kardashov E.A. The influence of a 10-day course of speleotherapy on the human cardiovascular and respiratory systems and his psychological state. Youth Innovation Bulletin. 2023; 12(2): 373 (In Russ.).]
10. Левченко П.А., Дубовик Н.Н., Делендик Р.И. Опыт применения метода спелеотерапии на базе государственного учреждения «Республиканская больница спелеолечения». Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2014; 6: 28 [Levchenko P.A., Dubovik N.N., Delendik R.I. Our experience with the application of the speleotherapeutic treatment based at the state healthcare facility "republican speleotherapeutic hospital". Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy. 2014; 6: 28 (In Russ.).]
11. Кириченко Л.В., Баранников В.Г., Дементьев С.В. Клинико-физиологическое обоснование лечения экологически зависимых заболеваний у детей с применением соляных экранов из природного сильвинита. Пермский медицинский журнал. 2008; 25(1): 126–128. [Kirichenko L.V., Barannikov V.G., Dementiev S.V. Clinicophysiological basing of treatment of ecologically-dependent diseases in children using natural silvinit salt screens. Perm Medical Journal. 2008; 25(1): 126–128 (In Russ.).]
12. Урясьев О.М., Исаева И.А., Рондалева Н.А. Общая физиотерапия. Учебное пособие для обучающихся по специальности Лечебное дело. Рязань. 2021; с. 120, 121 [Uryasyev O.M., Isaeva I.A., Rondaleva N.A. General Physiotherapy. A textbook for students in the speciality of General Medicine. Ryazan. 2021; pp. 120, 121 (In Russ.).]
13. Семилетова В.А. Спелеотерапия: статистический обзор статей за 2017–2022 годы. Международный журнал медицины и психологии. 2022; 5(6): 109–117. [Semiletova V.A. Speleotherapy: a statistical review of articles for 2017–2022. International Journal of Medicine and Psychology. 2022; 5(6): 109–117 (In Russ.).]
14. Червинская А.В. Искусственный микроклимат соляных пещер в практике санаторно-курортных и оздоровительных учреждений. Курортные ведомости. 2002; 1(10): 36–37. [Chervinskaya A.V. Artificial microclimate of salt caves in the practice of health resort and wellness institutions. Kurortnye Vedomosti. 2002; 1(10): 36–37 (In Russ.).]
15. Debevec V. Speleotherapy. Encyclopedia of Caves and Karst Science. John Gunn. Routledge, 2003.
16. Файнбург Г.З. Спелеотерапия — лечение подземным воздухом. Введение в аэровалеологию: Воздушная среда и здоровье человека. 2-е изд., испр. и доп. Пермь: ПГТУ, 2005; 104 с. [Fainburg G.Z. Speleotherapy — treatment with underground air. In: Introduction to aerovaleology: Air environment and human health. 2nd ed., rev. and add. Perm: PGTU, 2005; 104 p. (In Russ.).]

17. Жарин В.А., Метельский С.М., Решетникова Н.В., Федорович С.В. Спелеотерапия: прошлое и настоящее. Военная медицина. 2013; 1: 48–53 [Zharin V.A., Metelsky S.M., Reshetnikova N.V., Fedorovich S.V. Speleotherapy: past and present. Military Medicine. 2013; 1: 48–53 (In Russ.).]
18. Делендик Р.И., Чекан В.Л. Становление и развитие спелеотерапии в мировой практике. Медицинский журнал. 2021; 4: 12–17. https://doi.org/10.51922/1818-426X.2021.4.12 [Delendik R.I., Chekan V.L. Formation and development of speleotherapy in world practice. Medical Journal. 2021; 4: 12–17. https://doi.org/10.51922/1818-426X.2021.4.12 (In Russ.).]
19. Семилетова В.А., Дорохов Е.В., Булгакова Я.В. Влияние кратковременного воздействия спелеотерапии на соотношение ритмов электроэнцефалограммы здорового человека. Экология человека. 2023; 30(3): 223–230. https://doi.org/10.17816/humeco192536 [Semiletova V.A., Dorohov E.V., Bulgakova Ya.V. Effects of short-term speleotherapy exposure on the bioelectric activity of a healthy brain. Human Ecology. 2023; 30(3): 223–230. https://doi.org/10.17816/humeco192536 (In Russ.).]
20. Mętel S., Kostrzon M., Adamiak J., et al. The influence of speleotherapy combined with pulmonary rehabilitation on functional fitness in older adults — preliminary report. Ther Adv Respir Dis. 2020; 14: 1753466620926952. https://doi.org/10.1177/1753466620926952
21. Rogula-Kozłowska W., Kostrzon M., Rogula-Kopiec P., Badyda A.J. Particulate matter in the air of the underground chamber complex of the wieliczka salt mine health resort. Adv Exp Med Biol. 2017; 955: 9–18. https://doi.org/10.1007/5584_2016_176
22. Разумов А.Н., Файнбург Г.З., Бохан А.Н. О методах доказательности эффективного воздействия природных лечебных факторов физиотерапии. В кн.: VI Научно-практическая конференция «Разумовские чтения». Курорты России — ключевой элемент здоровья нации и стабильности экономического потенциала страны. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2022; 99(5–2): 50–51. https://doi.org/10.17116/kurort2022990529 [Razumov A.N., Fainburg G.Z., Bokhan A.N. On the methods of evidence for the effectiveness of natural therapeutic factors in physiotherapy. In: VI Scientific and Practical Conference "Razumovsky Readings". Resorts of Russia — a key element of the nation's health and stability of the country's economic potential. Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy. 2022; 99(5–2): 50–51. https://doi.org/10.17116/kurort2022990529 (In Russ.).]
23. Верихова Л.А. Спелеотерапия в России (Теория и практика лечения хронических заболеваний респираторного тракта в подземной сильвинитовой спелеолечебнице и наземных сильвинитовых спелеоклиматических камерах). Пермь: ПГМедА, ПГТУ, 2000; 231 с. [Verikhova L.A. Speleotherapy In Russia (Theory and practice of treatment of chronic respiratory tract diseases in the underground sylvinite speleotherapeutic hospital and ground sylvinite speleoclimatic chambers). Perm: PGMA, PGTU, 2000; 231 p. (In Russ.).]
24. Дублянский В.Н., Катаев В.Н., Лавров И.А. и др. (редколлегия). Пещеры. Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 22. Пермь: Пермский государственный университет, 1990; с. 96. [Dublyansky V.N., Kataev V.N., Lavrov I.A., et al. (editorial board). Peshchery (Caves): Interuniversity collection of scientific papers. Issue 22. Perm: Perm State University, 1990; p. 96 (In Russ.).]
25. Разумов А.Н., Корюкина И.П., Туев А.В. и др. Современная спелеоклиматотерапия. Пермь: ПГМА, ПГТУ, 2005; с. 15. [Razumov A.N., Koryukina I.P., Tuyev A.V., et al. Modern speleoclimatotherapy. Perm: PGMA, PGTU, 2005; p. 15 (In Russ.).]
26. Бохан А.Н., Владимирский Е.В., Горбунов Ю.В. и др. Объективная оценка применения спелеоклиматических камер из природного сильвинита в профилактике и лечении. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2021; 98(3–2): 51–52. [Bokhan A.N., Vladimirsky E.V., Gorbunov Yu.V., et al. Objective assessment of the use of speleoclimatic chambers made of natural sylvinite in prevention and treatment. Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy. 2021; 98(3–2): 51–52 (In Russ.).]
27. Ипанова О.П. Спелеоклиматотерапия: методики и эффективность применения. В кн.: Материалы Российской научно-практической школы-семинара. Москва-Пермь, 2002; с. 28–32. [Ipanova O.P. Speleoclimatotherapy: methods and effectiveness of application. In: Proceedings of the Russian Scientific and Practical School-Seminar. Moscow-Perm, 2002; pp. 28–32 (In Russ.).]
28. Агаджанян Н.А., Дорохов Е.В., Жоголева О.А. и др. Экологическая обусловленность применения спелеоклиматотерапии как метода профилактики бронхолегочных заболеваний. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2008; 4: 57–62. [Agadzhanyan N.A., Dorokhov E.V., Zhogoleva O.A., et al. Ecological reasons for using speleoclimatotherapy as a method of prophylactics of bronchopulmonary diseases. RUDN Journal of Medicine. 2008; 4: 57–62 (In Russ.).]
29. Дорохов Е.В., Горбатенко Н.П., Павлова Е.А., Япрынцева О.А. Возможности спелеоклиматотерапии в коррекции показателей вариабельности сердечного ритма у здоровых лиц с разным уровнем личностной тревожности. Экология человека. 2013; 10: 60–64 [Dorokhov E.V., Gorbatenko N.P., Pavlova E.A., Yapryntseva O.A. Possibilities of speleoclimatotherapy in the correction of heart rate variability in healthy individuals with different levels of personal anxiety. Human Ecology. 2013; 10: 60–64 (In Russ.).]
30. Кириченко Л.В., Баранников В.Г. Минералотерапия заболеваний органов дыхания. Сибирский медицинский журнал. 2012; 111(4): 99–102 [Kirichenko L.V., Barannikov V.G. Mineral therapy of respiratory diseases. Siberian Medical Journal. 2012; 111(4): 99–102 (In Russ.).]
31. Рязанова Е.В. Гигиеническая оценка условий минералопрофилактики населения в современных устройствах из природного сильвинита: диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук, Пермь, 2014; с. 16. [Ryazanova E.V. Hygienic assessment of mineral prophylaxis conditions for the population in modern devices made of natural sylvinite: dissertation for the degree of Candidate of Medical Sciences. Perm, 2014; p. 16 (In Russ.).]
32. Киреенко Л.Д., Баранников В.Г., Елькин В.Д. и др. Физиолого-гигиеническое обоснование лечения дерматологических больных с применением экранов из природного сильвинита. Пермский медицинский журнал. 2009; 26(1): 82–87 [Kireenko L.D., Barannikov V.G., Elkin V.D., et al. Physiological and hygienic rationale for the treatment of dermatological patients using screens made of natural sylvinite. Perm Medical Journal. 2009; 26(1): 82–87 (In Russ.).]
33. Семилетова В.А., Дорохов Е.В. Изменение состояния регуляторных систем организма по параметрам кожной проводимости и вариативности сердечного ритма у взрослого здорового человека под влиянием спелеоклиматотерапии. Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2021; 4: 107–110 [Semiletova V.A., Dorokhov E.V. Changes in the state of regulatory systems of the body according to skin conductance and heart rate variability in healthy adults under the influence of speleoclimatotherapy. Journal of Volgograd State Medical University. 2021; 4: 107–110 (In Russ.).]
34. Агаджанян Н.А., Дорохов Е.В., Жоголева О.А., Горбатенко Н.П. Адаптогенное влияние спелеотерапии на организм здорового человека. Вестник восстановительной медицины. 2009; 8(1): 5–8 [Agadzhanyan N.A., Dorokhov E.V., Zhogoleva O.A., Gorbatenko N.P. Adaptogenic effect of speleotherapy on the body of a healthy person. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2009; 8(1): 5–8 (In Russ.).]
35. Семилетова В.А., Точенова У.В., Панкова С.М. Изменение параметров зрительных вызванных потенциалов на вспышку у взрослых здоровых лиц при кратковременном влиянии спелеоклимата. Современные вопросы биомедицины. 2026; 10(1(36)). https://doi.org/10.24412/2588-0500-2026_10_01_18 [Semiletova V.A., Tochenova U.V., Pankova S.M. Change in parameters of flash visual evoked potentials in healthy adult subjects under short-term speleoclimate influence. Modern Issues of Biomedicine. 2026; 10(1(36)). https://doi.org/10.24412/2588-0500-2026_10_01_18 (In Russ.).]
36. Дорохов Е.В., Семилетова В.А. Спелеотерапия как метод санологического воздействия на организм здорового человека. В кн.: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Агаджаняновские чтения». М.: Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, 2023; с. 121 [Dorokhov E.V., Semiletova V. A. Speleotherapy as a method of sanological impact on the body of a healthy person. In: Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "Aghajanian Readings". M.: Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, 2023; p. 121 (In Russ.).]

37. Mętel S., Kostrzon M., Adamiak J. Dynamic Balance and Chest Mobility of Older Adults after Speleotherapy Combined with Pulmonary Rehabilitation, Endurance and Strength Training-A Prospective Study in Chronic Respiratory Diseases. Int J Environ Res Public Health. 2022; 19(18): 11760. https://doi.org/10.3390/ijerph191811760

38. Щербинская Е.С., Синякова О.К., Семушина Е.А., Федорович С.В. Современные подходы в немедикаментозных методах коррекции состояний организма на примере спелеотерапии в профпатологической практике. Медицина труда и экология человека. 2017; 2: 20–23 [Shcherbinskaya E.S., Sinyakova O.K., Semushina E.A., Fedorovich S.V. Modern approaches in non-drug methods of correcting body conditions on the example of speleotherapy in occupational pathology practice. Occupational Medicine and Human Ecology. 2017; 2: 20–23 (In Russ.).]

39. Пономарева А.В., Распертов М.М., Яковлев М.Ю., Фесюн А.Д. Инновационные методы междисциплинарного подхода медицинской реабилитации у детей с бронхиальной астмой. Вестник восстановительной медицины. 2021; 20(4): 50–56 [Ponomareva A.V., Raspertov M.M., Yakovlev M.Yu., Fesyun A.D. Innovative Methods of the Interdisciplinary Approach to Medical Rehabilitation in Children with Bronchial Asthma. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2021; 20(4): 50–56 (In Russ.).]

40. Николаева Е.А., Косяченко Г.Е. Оценка показателей функции внешнего дыхания у детей до и после курса наземной гало- и спелеотерапии. Здоровье и окружающая среда. 2018; 28: 103–107 [Nikolaeva E.A., Kosyachenko G.E. Assessment of external respiratory function parameters in children before and after a course of ground-based halo- and speleotherapy. Health and Environment. 2018; 28: 103–107 (In Russ.).]

41. Эфендиева Н.И. Влияние спелеотерапии на клинико-функциональные показатели у детей с бронхиальной астмой. Азербайджанский медицинский журнал. 2023; 4: 35–40 [Efendiyeva N.I. The influence of speleotherapy on clinical and functional parameters in children with bronchial asthma. Azerbaijan Medical Journal. 2023; 4: 35–40 (In Russ.).]

42. Вавилова В.П., Нечаева И.А., Вавилов А.М. и др. Эффективность современных немедикаментозных методов реабилитации дошкольников, часто болеющих острыми респираторными вирусными инфекциями. Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2019; 17(3): 308–313 [Vavilova V.P., Nechaeva I.A., Vavilov A.M., et al. The effectiveness of modern non-drug rehabilitation methods for preschool children with frequent acute respiratory viral infections. Journal of the Grodno State Medical University. 2019; 17(3): 308–313 (In Russ.).]

43. Шалыгин Л.Д. Природные лечебные факторы и средства в медицинской практике. Руководство для врачей. М.: РАМН, 2014; с. 82–86. [Shalygin L.D. Natural therapeutic factors and means in medical practice. A guide for doctors. Moscow: Russian Academy of Medical Sciences, 2014; pp. 82–86. (In Russ.).]

44. Федорович Г.В. Санитарно-гигиеническая оценка микроклимата рабочих мест. Безопасность и охрана труда. 2015; 1: 64 [Fedorovich G.V. Sanitary and hygienic assessment of workplace microclimate. Occupational Safety and Health. 2015; 1: 64 (In Russ.).]

45. Стромилова А.А., Яковлев М.Ю., Митрохин О.В. Гигиеническое обоснование эффективности применения спелеотерапии в комплексном лечении и профилактике хронических неинфекционных заболеваний. Врач. 2026; (8): 144–145. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-08-XII-International-Congress-Balneotherapy [Stromilova A.A., Yakovlev M.Yu., Mitrokhin O.V. Hygienic justification of the effectiveness of speleotherapy in the complex treatment and prevention of chronic non-communicable diseases. Vrach. 2026; (8): 144–145. https://doi.org/10.29296/25877305-2026-08-XII-International-Congress-Balneotherapy (In Russ.).]

46. Николаева Е.А., Тишкевич Г.И., Косяченко Г.Е. Анализ гигиенических характеристик спелеосреды наземных гало- и спелеоклиматических камер. Здоровье и окружающая среда. 2016; 26: 187–190 [Nikolaeva E.A., Tishkevich G.I., Kosyachenko G.E. Analysis of hygienic features of speleo environment of above ground halo and speleo chambers. Health and Environment. 2016; 26: 187–190 (In Russ.).]

47. Николаева Е.А., Косяченко Г.Е. Метод управления гигиеническими параметрами факторов спелеосреды в подземных отделениях ГУ «Республиканская больница спелеолечения». Инструкция по применению № 028-1221. Минск: Министерство здравоохранения Республики Беларусь, 2022; 14 с. [Nikolaeva E.A., Kosyachenko G.E. Method for managing hygienic parameters of speleoenvironment factors in the underground departments of the Republican Hospital of Speleotherapy. Instruction for Use No. 028-1221. Minsk: Ministry of Health of the Republic of Belarus, 2022; 14 p. (In Russ.).]

Экспертное мнение / Expert Opinion
DOI: https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-124-134

Эволюция от восстановительной медицины к здоровому долголетию на примере курортной индустрии

Труханов А.И.[1,2,3,*]

[1] *Центр исследований и разработок Курорта Мрия Сбер, Ялта, Россия*
[2] *Научный Совет «Здоровое долголетие» индустрии здоровья Сбер, Москва, Россия*
[3] *Автономное некоммерческое объединение «Национальная академия активного долголетия», Москва, Россия*

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Новое научное и социальное направление деятельности «Биология старения и медицина здорового долголетия» и соответствующие технологические и методологические разработки создают предпосылки к созданию новой индустрии экономики, которая призвана увеличить показатель «ожидаемая продолжительность здоровой жизни» до возраста более 70 лет, продлить активное профессиональное и социальное долголетие.

ЦЕЛЬ. Анализ предпосылок для создания новой индустрии экономики, которая призвана увеличить ожидаемую продолжительность здоровой жизни, и ее интеграции в систему клинического здравоохранения.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ. Научно-методической основой медицины здорового долголетия могут стать наработки и практический опыт, накопленный в рамках медицинской специальности «Физическая и реабилитационная медицина», которая использует принципы Международной классификации функционирования Всемирной организации здравоохранения и биопсихосоциальную модель для оценки функций и качества жизни.

Предложения построены на основе анализа международного и отечественного опыта создания профильных центров и подготовки кадров в области восстановительной медицины.

Особенностью нового научного направления является мультидисциплинарное взаимодействие между генетикой, микробиологией, иммунологией как фундаментальными науками и клиническими специальностями, такими как терапия, кардиология, неврология, эндокринология, дерматология и другими.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Медицина здорового долголетия является главным вектором и практической основой для будущего развития курортной индустрии, предлагающей программы и услуги контроля возрастных изменений организма, их ранней диагностики и коррекции, управления скоростью старения органов и систем, предупреждения развития хронических возрастзависимых заболеваний, разработки научно обоснованных протоколов управления биовозрастом и формирования культуры ответственного отношения к собственному здоровью.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: превентивная и персонализированная медицина, физиология, генетика, микробиология, иммунология, физическая и реабилитационная медицина, междисциплинарная медицина, медицина здорового долголетия

Для цитирования / For citation: Труханов А.И. Эволюция от восстановительной медицины к здоровому долголетию на примере курортной индустрии. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(5):124–134. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-124-134 [Trukhanov A.I. Evolution from Rehabilitation Medicine to Healthy Longevity: As Illustrated by the Health-Resort Industry. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):124–134. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-124-134 (In Russ.).]

* **Для корреспонденции:** Труханов Арсений Ильич, E-mail: arseniy.trukhanov@mriyaresort.com

Статья получена: 06.03.2026
Статья принята к печати: 06.09.2026
Статья опубликована: 23.10.2026

© 2026, Труханов А.И.
Эта статья открытого доступа по лицензии CC BY-NC-SA 4.0. Издательство: ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

Evolution from Rehabilitation Medicine to Healthy Longevity: As Illustrated by the Health-Resort Industry

Arseniy I. Trukhanov[1,2,3,*]

[1] *Research and Development Center of the Mriya Sber Resort, Yalta, Russia*
[2] *Healthy Longevity Scientific Council of the Sber Health Industry, Moscow, Russia*
[3] *National Academy of Active Longevity Autonomous Non-Profit Association, Moscow, Russia*

ABSTRACT

INTRODUCTION. The new scientific and social field called 'biology of ageing and medicine for healthy longevity', together with the associated technological and methodological developments, is paving the way for the creation of a new economic sector designed to increase 'expected healthy life expectancy' to over 70 years and to extend active professional and social longevity.

AIM. To analyze the prerequisites for the creation of a new economic sector designed to increase 'healthy life expectancy', and its integration into the clinical healthcare system.

MAIN PROVISIONS. The scientific and methodological basis for the medicine of healthy longevity could be drawn from the know-how and practical experience accumulated within the medical specialty of physical and rehabilitation medicine, which employs the principles of the WHO's International Classification of Functioning (ICF) and the biopsychosocial model to assess functioning and quality of life.

The proposals stem from an analysis of both international and domestic experiences in creating specialist centers and staff training in rehabilitation medicine.

A distinctive feature of this emerging field is a multidisciplinary interaction between genetics, microbiology, and immunology — as fundamental sciences — and clinical specialties such as therapy, cardiology, neurology, endocrinology, dermatology, and others.

CONCLUSION. The medicine of healthy longevity is the main vector and practical foundation for the future development of the health resort industry, which offers programs and services for monitoring age-related changes in the body, their early diagnosis and correction, managing the rate of aging of organs and systems, preventing the development of chronic age-related diseases, developing scientifically grounded protocols for managing biological age, and encouraging a culture of responsible self-care regarding one's health.

KEYWORDS: preventive and personalized medicine, physiology, genetics, microbiology, immunology, physical and rehabilitation medicine, interdisciplinary medicine, healthy longevity medicine

For citation: Trukhanov A.I. Evolution from Rehabilitation Medicine to Healthy Longevity: As Illustrated by the Health-Resort Industry. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(5):124–134. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-5-124-134 (In Russ.).

* **For correspondence:** Arseniy I. Trukhanov, E-mail: arseniy.trukhanov@mriyaresort.com

Received: 06.03.2026
Accepted: 06.09.2026
Published: 23.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

Быстрый прогресс последних трех десятилетий подвел геронауку к той черте, когда антивозрастные интервенции на людях становятся реальностью.

Joseph C.P. Kruempel
"Computational tools for geroscience"

Новое научное и социальное направление деятельности «Биология старения и медицина здорового долголетия» и соответствующие технологические и методологические разработки создают предпосылки к созданию новой индустрии экономики, которая призвана увеличить ожидаемую продолжительность здоровой жизни до возраста более 70 лет, продлить активное профессиональное и социальное долголетие.

Благодаря развитию высоких медицинских технологий, в том числе в области физической и реабилитационной медицины, а также повышению качества жизни, в ведущих странах мира с развитой экономикой сформировалась тенденция постоянного увеличения доли населения в возрасте 65 лет и старше, что к 2030 г. может привести к показателю в 25 % и выше от общей численности населения этих стран. Это явление приводит к увеличению расходов государств на медицинское и социальное обеспечение, росту распространенности неинфекционных возрастзависимых хронических заболеваний, таких как сердечно-сосудистые, неврологические, онкологические и другие, а также к сокращению доли трудоспособного населения.

Следствием этих процессов явилось введение в государственную статистику большинства стран в XXI в. показателя Healthy Life Expectancy, который отражает среднюю ожидаемую продолжительность здоровой жизни, то есть жизни без тяжелых хронических заболеваний и ограничений. Как правило, этот показатель на 10–12 лет ниже показателя средней ожидаемой продолжительности жизни и отражает общее состояние здоровья населения, социального обеспечения и экономического развития государства. В государственную статистику Российской Федерации данный показатель был включен приказом Росстата от 25.02.2019 № 95[1].

[1] Приказ Федеральной службы государственной статистики от 25.02.2019 № 95 «Об утверждении методики расчета показателя "Ожидаемая продолжительность здоровой жизни (лет)"».

Значение этого показателя в Российской Федерации в 2024 г. составило 61,7 года.

Целью нового медицинского и социального направления деятельности «Медицина здорового долголетия» и соответствующих технологических и методологических разработок является создание новой индустрии экономики, которая призвана увеличить ожидаемую продолжительность здоровой жизни до 70 лет и более, снизить расходы государства и населения на лечение возрастзависимых заболеваний, создать условия для здоровой и счастливой жизни без болезней, повысить ее качество, продлить активное профессиональное и социальное долголетие. Актуальность этой задачи была подтверждена в Указе Президента Российской Федерации «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации»[2], в рамках которого переход к персонализированной, предиктивной и профилактической медицине отнесен к числу ключевых направлений научно-технологического развития. Выполнение данной задачи и соответствующих федеральных проектов вселяет уверенность, что к 2035 г. будет достигнут показатель 70+ лет здоровой жизни, и страна войдет в список 30 ведущих стран мира по этому показателю и станет одной из первых стран, в которой медицина здорового долголетия станет национальным приоритетом.

ЦЕЛЬ

Анализ предпосылок для создания новой индустрии экономики, которая призвана увеличить ожидаемую продолжительность здоровой жизни, и ее интеграции в систему клинического здравоохранения.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Истоки

Первым этапом развития направления «Медицина здорового долголетия» является восстановительная, предиктивная, превентивная медицина.

Главным научным источником нового направления «Медицина здорового долголетия» стали исследования отечественных ученых в области профессиональной медицины и прежде всего авиационной и космической медицины в 60–80-е гг. XX в. [1]. В их работах были развиты и апробированы при подготовке советских космонавтов понятия функциональных и адаптационных резервов, «качество» и «количество здоровья», методы его измерения, экология и психофизиологические условия труда, в том числе в экстремальных условиях. В 1998 г. Разумовым А.Н. [1] была предложена концепция и научная специальность «Восстановительная медицина», в основу которой вошло понятие «здоровье здорового человека». В дальнейшем эволюция и практическое внедрение научных подходов в области восстановительной медицины привели к созданию в 2023 г. Союза организаций и специалистов «Здоровье Здоровых», а в 2024 г. — общероссийского общественного движения «Здоровье Здоровых».

В ноябре 2000 г. для развития и продвижения службы восстановительной медицины, объединяющей медицинскую реабилитацию, санаторно-курортное лечение и профилактику, было создано некоммерческое партнерство «Объединение специалистов восстановительной медицины (диагностика, восстановление, реабилитация)», в состав учредителей которого вошли медицинские и восстановительные центры профессиональных управлений федеральных ведомств — ФСБ России, МВД России, Минобороны России, ФМБА России, МЧС России, Минздрава России, а также компаний «Газпром» и «Российские железные дороги».

Начиная с 1998 г., в Москве, Сочи, Кисловодске, Иркутской области, Дагестане состоялось более 20 научных конференций, посвященных актуальным вопросам методологии и технологиям восстановительной медицины, основам активного профессионального долголетия [2–7].

Первым шагом к созданию будущего направления «Медицина здорового долголетия» стал Национальный конгресс по медицине антистарения, прошедший в 2010 г., на котором были предложены и обсуждены такие понятия, как «биомедицина», «трансляционная медицина», «активное профессиональное долголетие» и «социальное долголетие». По итогам данного конгресса было сформулировано определение, что медицина здорового долголетия — это междисциплинарное направление, объединяющее специалистов в области фундаментальной медицины (физиологии, генетики, микробиологии, иммунологии, геронтологии) и клинической медицины (кардиологии, неврологии, онкологии, травматологии и ортопедии, клинической психологии, дерматологии и др.).

Сотрудничество с зарубежными экспертами и участие в профильных конгрессах позволили сделать вывод о возможности использования методологии физической и реабилитационной медицины, опирающейся на принципы Международной классификации функционирования Всемирной организации здравоохранения, в качестве методологической базы для будущего направления «Медицина здорового долголетия».

Формирование отечественного научного сообщества началось с создания Национального клуба медицины антистарения. В 2008 г. специалисты клуба впервые посетили Конгресс Европейской ассоциации антивозрастной медицины (European Society of Anti-Aging Medicine, ESAAM), европейский филиал Американской академии антивозрастной медицины. В рамках созданного научного сообщества в 2010 г. совместно с некоммерческим партнерством «Национальный геронтологический центр» была издана монография «Медицина антистарения: фундаментальные основы» [8], а в 2012 г. — «Anti-age medicine: наука оставаться молодым» [9]. В подготовке этих изданий приняло участие более 20 российских ученых и специалистов (геронтологи, биологи, психологи, генетики, экологи и др.). Ими были предложены подходы к повышению качества жизни на основе достижений биомедицины и цифровой медицины, применению существующих лекарственных препаратов в качестве средств геропротекции, мобилизации функциональных резервов [10].

[2] Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

Развитие направления «Медицина здорового долголетия» продолжилось в 2014 г., когда была зарегистрирована автономная некоммерческая организация «Национальная академия активного долголетия».

Результатом успешного международного сотрудничества стало проведение европейских конгрессов в России: в 2016 г. Европейский конгресс ESAAM прошел в Санкт-Петербурге [11], а в 2019 г. — на базе Клиники персонализированной медицины «Ланцетъ» (рис. 1) в Геленджике [12].

Научные работы членов сообщества восстановительной медицины и активного долголетия в 2010–2018 гг. послужили фундаментом для будущего направления «Медицина здорового долголетия» [13–16]. Практическая апробация современных технологий и методов здорового долголетия была проведена: в Центре профессиональной медицины (Технопарк г. Зеленоград) в 2010–2012 гг.; на базе Клиники активного долголетия в 2012–2014 гг. [17, 18]; в Центре персонализированной медицины клиники в 2018–2019 гг. [19–21]; в Институте активного долголетия в 2018–2019 гг.

Итогом первого этапа апробации 2010–2019 гг. и обобщением проведенных исследований и практических наработок стал первый Национальный конгресс Vademecum 4P-Medicine, посвященный возможностям превентивной медицины и ее интеграции в систему отечественного здравоохранения. Конгресс состоялся в апреле 2019 г. в Москве при поддержке Минздрава России.

На первом этапе развития медицины здорового долголетия в 2010–2020 гг. были апробированы и вошли в практику следующие технологии и методы:

- биомаркеры возрастных изменений [22];
- формулы для оценки биовозраста отдельных органов или систем организма [23];
- понятия «генетический паспорт» [24] и «предиктивная медицина»;
- профиль микробиоты по Осипову Г.А., функциональные продукты питания, генетический паспорт микробиоты — метагеном, новый класс препаратов для коррекции микробиоты — метабиотики [23, 25];
- иммунологический профиль технологии ЭЛИ-тест, молекулярная диспансеризация, тканеспецифичные аутоантитела по Полетаеву А.Б. [21];
- микроэлементный статус, центр биотической медицины по Скальному А.В. [26].

Эти методы дополнили ранее использовавшиеся в клинической медицине профили, такие как гормональный, липидный, метаболический, оксидативный [17, 18].

Инновационный подход к ранней диагностике и превенции заболеваний, основанный на данных молекулярно-генетических исследований, получил название «предиктивная медицина», а в дальнейшем был дополнен понятием «прецизионная медицина». Становление данного направления в России связано с работами профессора Щербо С.Н. [27].

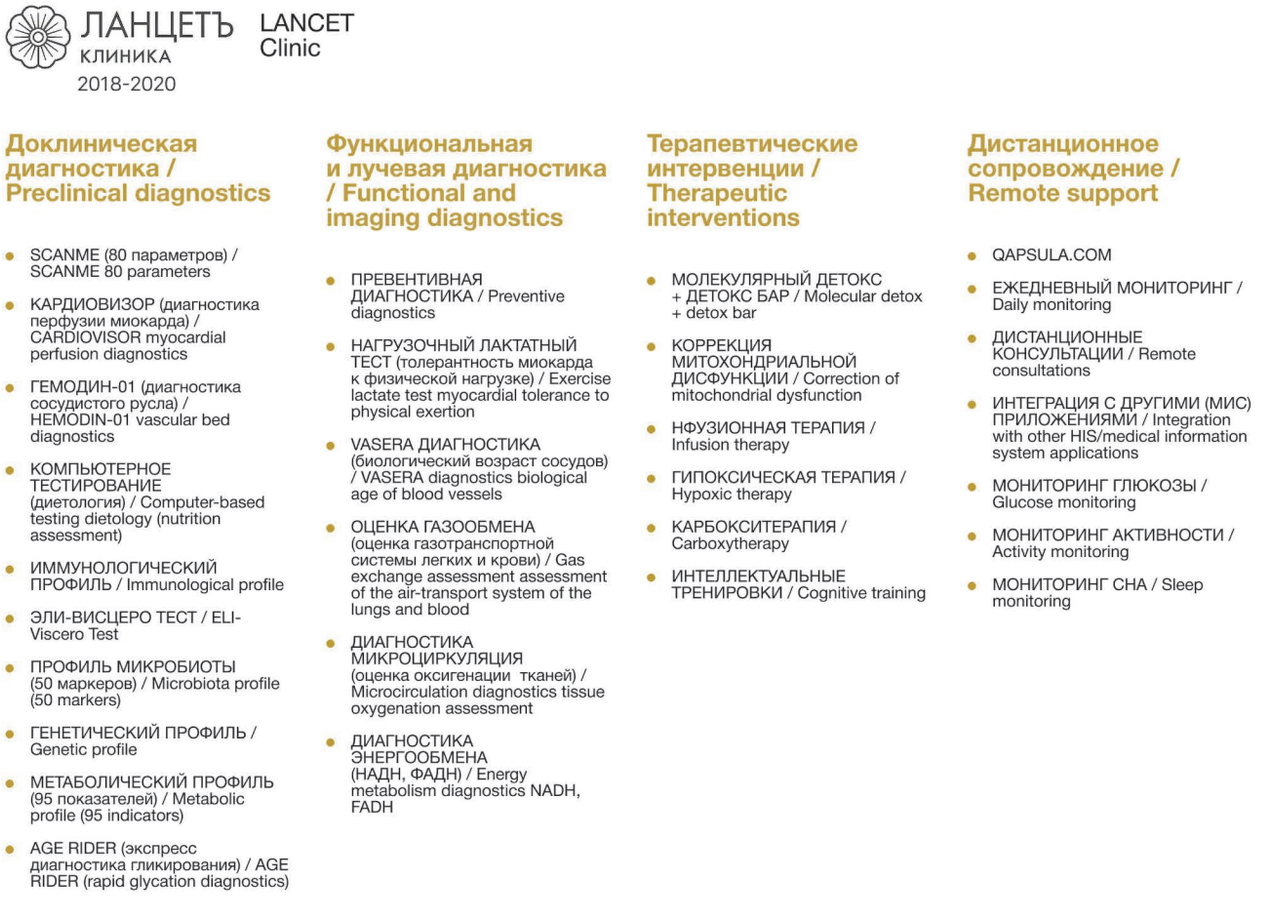


Рис. 1. Клиника персонализированной медицины
Fig. 1. Personalized Medicine Clinic

На коммерческой основе было создано несколько образовательных платформ по превентивной медицине, которые предложили образовательные модули по 18–36 часов. В каждой программе — 8–12 модулей преимущественно с преподаванием онлайн, дистанционно. Было подготовлено несколько тысяч специалистов, которые составили основу новых клиник превентивной, интегративной, антивозрастной медицины в различных регионах России.

В большинстве случаев в превентивную медицину для получения сертификатов приходили молодые врачи, не имеющие клинического опыта, что ограничивало их возможности персонализированного сопровождения пациентов.

Среди молодежной аудитории получило распространение понятие «биохакинг», которое предусматривает широкий спектр анализов для оценки возрастных изменений в организме, а также активное применение витаминов и физических методов для персональной коррекции этих изменений. Основу таких протоколов составляют цифровые платформы, мобильные приложения, гаджеты и трекеры, диагностирующие состояние здоровья в режиме реального времени [28, 29].

Одним из примеров такого подхода является путь, пройденный одним из первых российских биохакеров Скакуном С. [20]. Опыт, получаемый такими энтузиастами, нельзя игнорировать или запрещать; следует извлекать из него как отрицательные, так и положительные выводы и использовать их в общении с молодой аудиторией 25–40 лет, которая все больше интересуется своим здоровьем и методами контроля за ним. Эта аудитория, по нашим оценкам, в ближайшие 10 лет составит до 30 % потребителей индустрии здорового долголетия.

Среди государственных документов, разработанных в этот период, следует отметить приказ Минздрава России, утверждающий концепцию предиктивной, превентивной и персонализированной медицины[3] и проект Национальной технологической инициативы «Хелснет», в котором были определены будущие контуры развития направления «Превентивная медицина» и «Здоровое долголетие»[4]. Задачи, решаемые по этой программе, были рассчитаны на три этапа и предполагали создание в России до 3 тыс. центров превентивной медицины до 2035 г. [15].

Целевыми задачами и метриками, на которые делала акцент превентивная медицина на первом этапе, были управление качеством жизни на доклиническом этапе, когда формирующееся заболевание может быть предотвращено до перехода в хроническую и патологическую стадию, продление жизни до максимального предела (120–150 лет). Нередко на практике использовались любые возможные методы, омолаживающие организм или, как минимум, кожные покровы, сдерживающие процессы старения без соответствующего научного и методологического обоснования.

Одними из немногих регулирующих инструментов на этом этапе стали экспертные сообщества и профессиональные ассоциации, например, автономное некоммерческое объединение «Национальная академия активного долголетия», которое проводило ежегодные конгрессы с приглашением представителей академического сообщества и главных специалистов Минздрава России. С 2015 по 2017 г. тематические номера журнала «Вестник восстановительной медицины» были посвящены вопросам современной персонифицированной превентивной медицины [20, 30].

По итогам дискуссий экспертное сообщество сформулировало следующее определение: **превентивная медицина** — это комплекс мероприятий, направленных на предупреждение как физических, так и психофизиологических и психосоматических болезней и состояний до их перехода в хроническую форму, спровоцированных факторами окружающей среды, генетической предрасположенностью или образом жизни. **Меры превентивной медицины** включают регулярные углубленные медицинские обследования с учетом возраста пациента, назначение коррекционной терапии, как правило, на 60–90 дней, скрининг для оценки эффекта терапии с количественной оценкой уровня здоровья (биовозраста), рекомендации по изменению образа жизни, физической и ментальной активности для снижения риска развития хронических возрастзависимых заболеваний.

Персонализированная медицина, 2020–2025 гг.

Второй этап развития направления восстановительной медицины следует определять как этап персонализированной медицины.

Персонализированная медицина соответствует медицинской модели здравоохранения, при которой учитываются фенотип и генотип пациента (молекулярные профили, медицинские изображения, функциональные параметры, образ жизни и др.) для построения правильной терапевтической стратегии для конкретного пациента, в правильное время и/или определения предрасположенностей к заболеваниям и назначения своевременно таргетированных превентивных терапий.

В этот период в целом ряде ведущих медицинских российских вузов были созданы центры персонализированной медицины, как правило, в области кардиологии и онкологии, а также в федеральных центрах, таких как ГНЦ РФ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии им. академика И.И. Дедова» Минздрава России (Москва), ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России (Санкт-Петербург).

Появились первые центры по научной тематике «Персонализированная медицина и здоровое долголетие», такие как:

- Научно-исследовательский институт биологии старения Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского.
- Институт биологии старения и медицины здорового долголетия с клиникой предиктивной меди-

[3] Приказ Минздрава Российской Федерации от 24.04.2018 № 186 «Об утверждении концепции предиктивной, превентивной и персонализированной медицины».

[4] «Дорожная карта» Национальной технологической инициативы «Хелснет» утверждена решением Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России 20.12.2016.

цины ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского».

- Клиника трансляционной медицины Российского геронтологического научно-клинического центра — обособленного структурного подразделения ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава Российской Федерации.
- Образовательное частное учреждение ДПО «Институт междисциплинарной медицины».
- Центр биоэлементологии и экологии человека на базе Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова.

Для подготовки будущих врачей медицины здорового долголетия на базе ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского» разработана и запущена первая в России образовательная программа, в рамках которой уже прошли обучение более 300 специалистов.

В апреле 2026 г. на базе Института биологии старения и медицины здорового долголетия с клиникой предиктивной медицины, входящего в ФГБНУ РНЦХ им. академика Б.В. Петровского, был открыт первый в России модельный центр медицины здорового долголетия.

Правительство Российской Федерации распоряжением от 30.06.2026 № 1675-р[5] присвоило ФГБНУ РНЦХ им. академика Б.В. Петровского статус национального медицинского исследовательского центра по направлению медицинской деятельности «Медицина здорового долголетия».

Накопленный опыт международного сотрудничества и участия в зарубежных конференциях ведущих российских ученых в области медицины здорового долголетия позволил подготовить два фундаментальных издания, которые можно рассматривать как предложения к созданию «дорожной карты» этого нового направления в медицине на период до 2030 г. [31, 32].

В написании первой монографии [31] приняли участие ведущие европейские профессора, которые преподают соответствующие авторские курсы в своих университетах: профессор Vittorio Calabrese (Италия), профессор Manuel Castillo (Испания), профессор Claus Muss (Швейцария, Австрия), профессор Stathis Gonos (Греция).

Это позволяет данное издание рассматривать как учебник и практическое руководство.

Во второй монографии обсуждаются перспективы развития направления «Здоровое долголетие» с участием экспертов из Европы, США, Канады и азиатских стран.

В апреле 2026 г. в рамках международной кооперации по линии ассоциации International Longevity Alliance была опубликована монография «Healthy Longevity: Policies and Practices», определяющая основные направления международного научного сотрудничества по созданию центров здорового долголетия [33]. Это позволило создать целостную программу научных и практических подходов к вопросам терминологии, направлениям исследований, практическим рекомендациям по физической активности, питанию, персонализированным программам сопровождения пациентов, а также познакомиться с существующими образовательными программами по медицине здорового долголетия, чтобы взять все лучшее для будущих российских образовательных программ.

Следует отметить опыт международной конференции в Израиле. Она проходит ежегодно, начиная с 2023 г., и носит амбициозное название Longevity Nation [34]. В конференции принимают участие все израильские университеты, и в каждом из них создана научная лаборатория по изучению механизмов старения, причем каждая из лабораторий изучает отдельный механизм из двенадцати базовых, известных на сегодня. Существует ряд национальных программ в различных ведомствах и министерствах: науки и технологий, медицины, социального обеспечения, иностранных дел (международная кооперация). В 2023 г. на базе Тель-Авивского университета открыта первая государственная университетская клиника «Здоровое долголетие».

В августе 2025 г. Минздравом Объединенных Арабских Эмиратов был утвержден первый национальный стандарт по клинике здорового долголетия[6]. Одним из ведущих научных и клинических центров в мире на сегодня считается Центр здорового долголетия Национального университета Сингапура.

Опыт зарубежных коллег будет полезен российским специалистам федеральных и региональных программ по медицине здорового долголетия.

В Российской Федерации особенно насыщенным событиями стал май 2025 г., в рамках которого прошли несколько национальных конгрессов, в том числе Конгресс Национальной ассоциации геронтологов и гериатров «Технологии долголетия» (12–14 мая, Москва).

В мае состоялась регистрация новой ассоциации «Национальная ассоциация специалистов и клиник персонализированной медицины», учредителями которой стали ведущие профессиональные сообщества: автономное некоммерческое объединение «Национальная академия активного долголетия», образовательное частное учреждение дополнительного профессионального образования «Институт междисциплинарной медицины», некоммерческое партнерство содействия развитию превентивной медицины, союз организаций и специалистов в сфере управления здоровьем «Здоровье Здоровых», Национальная ассоциация лабораторной, персонализированной и трансляционной медицины.

В состав президиума и правления Ассоциации вошли более 35 экспертов, созданы 10 рабочих групп по основным направлениям методологии здорового долголетия. Целью их деятельности является подготовка предложений для проектов нормативных и методичес-

[5] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.06.2026 № 1675-р «Об утверждении перечня медицинских организаций, которым присваивается статус национального медицинского исследовательского центра по направлению медицинской деятельности».

[6] Department of Health of the United Arab Emirates. Healthy Longevity Medicine Clinic Standard, DOH/SD/HLMCS/HCF/V1/2024. Available from: https://www.doh.gov.ae/en/search?q=DOH%2FSD%2FHLMCS%2FHCF%2FV1%2F2024 (Accessed May 21, 2026).

ких материалов, которые могут стать основой для регулирующих федеральных норм. Первые редакции таких документов планируется представить до конца 2026 г. и обсудить их на научных конференциях.

Наиболее важным событием в профессиональной среде стало проведение Форума «Россия и мир: тренды здорового долголетия» (27–28 мая 2025 г.), на котором было предложено Минздраву Российской Федерации рассмотреть вопрос о введении новой врачебной должности врача медицины здорового долголетия. В мае 2026 г. должность врача медицины здорового долголетия была официально введена приказом Минздрава Российской Федерации от 14.05.2026 № 434н[7] для медицинских организаций.

Принятые на государственном уровне решения и документы знаменовали начало развития третьего этапа индустрии здорового долголетия с 2026 г. по 2035 г.

Будущее здорового долголетия

Принятые по состоянию на середину 2026 г. решения, отраженные в указах Президента России и нормативных правовых актах Правительства Российской Федерации, создают юридическую основу для развития новой индустрии здорового долголетия. Для реализации данной цели предусматривается ряд системных мероприятий, объединяющих усилия ведомств, а также профессиональных сообществ специалистов и добровольных объединений граждан под девизом «Здоровое долголетие». Среди них:

- создание новой жизненной философии: жить долго для своего удовольствия и на благо общества, активное профессиональное и социальное долголетие;
- определение экономических показателей (метрик) и моделей, которых можно достичь на горизонте 10–15 лет при увеличении жизненной способности работать дольше и увеличении пенсионного возраста для ряда отраслей и профессий. При этом главным индикатором должен быть показатель ожидаемой продолжительности здоровой жизни, который коррелирует с возможностью жить без болезней и трудиться без возрастных ограничений;
- выбор типов организаций и учреждений, которые составят основу будущих центров здорового долголетия. Очевидно, что это будут не только классические медицинские учреждения, такие как поликлиника, больница и санаторий;
- определение экономической модели создания и функционирования будущих центров;
- создание перечня специалистов, которые составят основу будущих организаций;
- разработка системы подготовки новых кадров, при этом возможно возникновение новых специальностей, причем не только медицинского профиля;
- разработка новых образовательных стандартов и программ, прежде всего для врачей, решающих задачи «управления возрастом» пациента на основе научно доказанных и апробированных протоколов и методических рекомендаций, согласованных с профессиональными сообществами. Подготовлены примеры таких образовательных модулей на 378 и 576 часов в рамках сотрудничества Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, Научного Совета «Здоровое долголетие» индустрии здоровья Сбер, Национальной ассоциации специалистов и клиник персонализированной медицины (Москва);
- проведение научных исследований для поиска и разработки интервенций и методов терапии, влияющих на коррекцию возрастных изменений организма, в том числе с применением уникальных растительных компонентов, а также с использованием классических и традиционных методов восточной и народной медицины на основе доказательной базы и методических рекомендаций;
- проведение культурных и общественных мероприятий, установление социальных контактов для пропаганды здорового и активного долголетия;
- разработка новых технологий, методов, алгоритмов контроля возрастных изменений организма (преимущественно в режиме реального времени, без посещения медицинского учреждения), сертификация этих методов (рис. 2);
- определение возрастных диапазонов, региональной и этнической специфики для построения правильной модели оценки биовозраста органов и систем как основы персонализации медицинских назначений и здорового образа жизни (рис. 3).

Выполнение поставленных задач в определенные временные рамки можно рассматривать как основу «дорожной карты» для будущей индустрии здорового долголетия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Медицина здорового долголетия, опирающаяся на международное и междисциплинарное сотрудничество, является основой для будущего развития индустрии здорового долголетия.

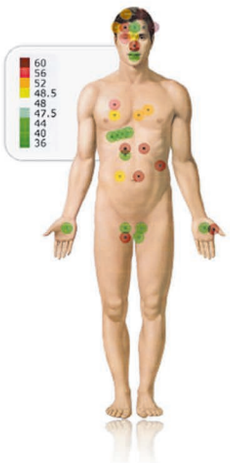
Она предусматривает программы и услуги контроля возрастных изменений организма, раннюю диагностику и коррекцию, управление скоростью старения органов и систем, предупреждение развития хронических возрастзависимых заболеваний, а также предусматривает новые социальные, культурные и страховые услуги.

2. Оказание услуг должно носить, безусловно, персонализированный характер и учитывать пол, возраст, регион проживания, этническую принадлежность и социальные контакты пациента. Основа такого подхода заложена в биопсихосоциальной модели и реализована в документе Всемирной организации здравоохранения «Международная классификация функционирования» в 2001 г. Данный документ также является основой медицинской специальности «Врач физической и реабилитационной медицины» [35] и принципиально отличается от системы Международной классификации болезней. В медицине здорового долголетия необходимо ориентироваться на уровень функциональных и адаптационных резервов человека и на его реальный биологический, а не календарный возраст. Очевидно,

[7] Приказ Минздрава Российской Федерации от 14.05.2026 № 434н «Об утверждении номенклатуры должностей медицинских работников и фармацевтических работников».

Нозологии хронических возраст-зависимых заболеваний / Nosologies of chronic age-related diseases

- Болезнь Альцгеймера / Alzheimer's disease
- Болезнь Паркинсона / Parkinson's disease
- Катаракта / Cataract
- Дистрофия сетчатки / Retinal degeneration
- Канцерогенез / Carcinogenesis
- Атеросклероз / Atherosclerosis
- Тромбоз / Thrombosis
- Гипертония / Hypertension
- Ишемическая болезнь сердца / Coronary heart disease
- Инфаркт / Myocardial infarction
- Инсульт / Stroke
- Остеопороз / Osteoporosis
- Остеоартрит / Osteoarthritis
- Саркопения / Sarcopenia
- Сахарный диабет 2 типа / Type 2 diabetes mellitus



Функциональные системы и методы / Functional systems and methods

- Методы оценки биологического возраста / Biological age assessment methods
- Антропологические маркеры / Anthropological markers
- Функциональные тесты, связанные с долголетием / Functional tests related to longevity
- Маркеры состояния иммунной системы / Markers of immune system status
- Маркеры воспаления / Inflammation markers
- Генетические маркеры долголетия / Genetic markers of longevity
- Эпигенетические маркеры долголетия / Epigenetic markers of longevity
- Микробиота долголетия / Longevity-associated microbiota
- Гормональный и цитокиновый профиль / Hormonal and cytokine profile
- Метаболический профиль / Metabolic profile
- Психо-физиологические маркеры старения / Psychophysiological markers of aging
- Диагностика легочной функции / Pulmonary function diagnostics
- Функция печени / Liver function
- Функция почек и выделительной системы / Kidney and excretory system function
- Состояние сердечно-сосудистой системы / Cardiovascular system status
- Состояние желудочно-кишечного тракта / Gastrointestinal tract status
- Состояние опорно-двигательного аппарата (суставов, костей, мышц) / Musculoskeletal system status
- Режим дня / Daily routine
- Диета / Diet
- Характер физических нагрузок / Pattern of physical activity

Рис. 2. 3D-модель возрастных изменений организма
Fig. 2. 3D-model of age-related changes in the body



- **Персонализация** (построение индивидуального трека здорового долголетия) / **Personalization** (building an individual healthy longevity track)
- **Интегративный подход:** ментальное и физическое здоровье и осознанное управление / **Integrative approach:** mental and physical health and conscious management
- Инновационные технологии мониторинга и поддержки **(ИИ)** / Innovative monitoring and support technologies **(AI)**
- **Скрининг-диагностика биовозраста / Biological age screening diagnostics**
- **Формирование нового образа жизни на основе персонализации питания, физической активности, качества сна / Formation of a new lifestyle based on personalized nutrition, physical activity, and sleep quality**
- «Крымское Долголетие», уникальные **нелекарственные методы** оздоровления (гидролаты, чайные напитки, продукты виноделия) / "Crimean Longevity": unique **non-pharmaceutical** wellness methods hydrolates, tea beverages, winemaking products

Рис. 3. Структура проекта «Мой биовозраст»
Fig. 3. The structure of the "My Bio-age" project

что у людей одинакового календарного возраста потенциал к здоровому долголетию будет разный, исходя из генетической предрасположенности и образа жизни, окружающей среды. Задача системы здравоохранения — построить для каждого человека, желающего жить долго, его индивидуальный «трек» здорового долголетия и обеспечить всеми средствами и услугами, позволяющими пройти этот путь.

3. Для реализации этого пути предстоит мобилизовать и скоординировать усилия науки, медицины, образования, социальной сферы, спорта и культуры, возможности больших данных и искусственного интеллекта, а также учитывать, что Российская Федерация обладает значительными географическими и природными возможностями для реализации потенциала человека к здоровому долголетию.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Труханов Арсений Ильич, кандидат технических наук, доктор биологических наук, руководитель, Центр исследований и разработок курорта Мрия, председатель, Научный Совет «Здоровое долголетие» индустрии здоровья Сбер, председатель правления, автономное некоммерческое объединение «Национальная академия активного долголетия».
E-mail: arseniy.trukhanov@mriyaresort.com;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6398-6549

Вклад автора. Автор данного экспертного мнения подтверждает соответствие своего авторства согласно международным критериям ICMJE.

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках научного исследования «Биовозраст», утвержденного на заседании Научного Совета «Здоровое долголетие» индустрии здоровья Сбер от 26.01.2024 с участием экспертов профессора Москалева А.А. и профессора Иванченко М.В.

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

ADDITIONAL INFORMATION

Arseniy I. Trukhanov, PhD (Tech.), D.Sc. (Biol.), Head of the Research and Development Center of Mriya Resort; Chairman, Healthy Longevity Scientific Council of the Sber Health Industry; Chairman of the Board, National Academy of Active Longevity Autonomous Non-Profit Association.
E-mail: arseniy.trukhanov@mriyaresort.com;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6398-6549

Author Contributions. The author of this expert opinion confirms that his authorship complies with the international criteria of ICMJE.

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

Funding. The work was carried out as part of the scientific research "Biovozrast", approved at the meeting of the Scientific Council "Healthy Longevity" of the Sber Health Industry on January 26, 2024, with the participation of experts Professor Moskalev A.A. and Professor Ivanchenko M.V.

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. Разумов А.Н., Пономаренко В.А., Пискунов В.А. Здоровье здорового человека. Москва: Медицина. 1996; 413 с. [Razumov A.N., Ponomarenko V.A., Piskunov V.A. Health of the healthy. Moscow: Medicine. 1996; 413 p. (In Russ.).]
2. Быков А.Т., Питерская Я.А., Труханов А.И. Коррекция кардиореспираторного сопряжения технологией биоуправления при психофизиологической дезадаптации. Вестник восстановительной медицины. 2007; 2(20): 79–81. [Bykov A.T., Piterskaya Ya.A., Trukhanov A.I. Correction of cardiorespiratory coupling using biofeedback technology in psychophysiological maladaptation. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2007; 2(20): 79–81 (In Russ.).]
3. Панкова Н.Б., Дубовой Р.М., Скальный А.В. и др. Изменение показателей сердечно-сосудистой системы и системы нейровегетативной регуляции на фоне индивидуальной коррекции элементного статуса человека. Вестник восстановительной медицины. 2008; 5а: 50–54. [Pankova N.B., Dubovoy R.M., Skalny A.V., et al. Changes in the parameters of the cardiovascular system and the neurovegetative regulation system against the background of individual correction of the elemental status of a person. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2008; 5a: 50–54 (In Russ.).]
4. Семашко Л.В., Панкова Н.Б. Влияние занятий по системе психофизической адаптации к высоким психоэмоциональным и физическим нагрузкам на результаты выполнения функциональных нагрузочных проб. Вестник восстановительной медицины. 2011; 2(42): 63–68. [Semashko L.V., Pankova N.B. The influence of classes based on the system of psychophysical adaptation to high psychoemotional and physical stress on the results of functional stress tests. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2011; 2(42): 63–68 (In Russ.).]
5. Панкова Н.Б., Архипова Е.Н., Фесенко А.Г. и др. Влияние коррекции элементного статуса на динамику функционального состояния организма девушек-регбисток в соревновательный период (по результатам полисистемного мониторинга). Вестник восстановительной медицины. 2011; 5(45): 60–66. [Pankova N.B., Arkhipova E.N., Fesenko A.G., et al. The impact of elemental status correction on the dynamics of the functional state of the body of female rugby players during the competitive period (based on the results of multisystem monitoring). Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2011; 5(45): 60–66 (In Russ.).]
6. Евтушенко А.В., Захарьящева О.В., Крутько В.Н., Мамиконова О.А. Комплекс компьютерных систем для активного долголетия. Вестник восстановительной медицины. 2011; 1(41): 66–71. [Evtushenko A.V., Zakharyashcheva O.V., Krutko V.N., Mamikonova O.A. Complex of computer systems for active longevity. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2011; 1(41): 66–71 (In Russ.).]
7. Олескин А.В., Шендеров Б.А. Биополитический подход к реабилитологии: потенциальная роль микробной нейрохимии. Вестник восстановительной медицины. 2013; 1(53): 60–67. [Oleskin A.V., Shenderov B.A. A biopolitical approach to rehabilitation: the potential role of microbial neurochemistry. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2013; 1(53): 60–67 (In Russ.).]

8. Донцов В.И., Крутько В.Н., Труханов А.И. Медицина антистарения. Москва: URSS, Красанд. 2010; 678 с. [Dontsov V.I., Krutko V.N., Trukhanov A.I. Anti-aging medicine. Moscow: URSS, Krasand. 2010; 678 p. (In Russ.).]
9. Коллектив авторов под ред. А.И. Труханова. Anti-age medicine: наука оставаться молодым. Москва: АСВОМЕД. 2012; 695 с. [Collective of authors, under the editorship of Arseniy Trukhanov. Anti-age medicine: the science of staying young. Moscow: ASVOMED. 2012; 695 p. (In Russ.).]
10. Жученко А.А.-мл. Средоулучшающие технологии и активное долголетие. Вестник восстановительной медицины. 2016; 1(71): 48–54. [Zhuchenko A.A., Jr. Environment-improving technologies and active longevity. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2016; 1(71): 48–54 (In Russ.).]
11. Национальная Академия Активного Долголетия. V Европейский Конгресс по превентивной, регенеративной и антивозрастной медицине ECOPRAM. Санкт-Петербург, 8–10 сентября 2016 г. Доступно на: https://naad-med.ru/event-5 (Дата обращения 23.06.2026) [National Academy of Active Longevity. V European Congress on Preventive, Regenerative, and Anti-Aging Medicine ECOPRAM. St. Petersburg, September 8–10, 2016. Available from: https://naad-med.ru/event-5 (Accessed June 23, 2026) (In Russ.).]
12. Национальная Академия Активного Долголетия. VI Европейский Конгресс по превентивной, регенеративной и антивозрастной медицине ECOPRAM. Геленджик, 4–7 октября 2019 г. Доступно на: https://naad-med.ru/event-22 (Дата обращения 23.06.2026) [National Academy of Active Longevity. VI European Congress on Preventive, Regenerative, and Anti-Aging Medicine ECOPRAM. Gelendzhik, October 4–7, 2019. Available from: https://naad-med.ru/event-22 (Accessed June 23, 2026) (In Russ.).]
13. Шендеров Б.А. Роль митохондрий в профилактической, восстановительной и спортивной медицине. Вестник восстановительной медицины. 2018; 1(83): 21–31. [Shenderov B.A. Role of mitochondria in preventive, restorative and sports medicine. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2018; 1(83): 21–31 (In Russ.).]
14. Дубовой Р.М., Панкова Н.Б., Карганов М.Ю. и др. Влияние коррекции элементного статуса на характер основных метаболических процессов в организме человека. Вестник восстановительной медицины. 2008; 5а: 24–27. [Dubovoy R.M., Pankova N.B., Karganov M.Yu., et al. The effect of elemental status correction on the nature of the main metabolic processes in the human body. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2008; 5a: 24–27 (In Russ.).]
15. Труханов А.И., Чудаков С.Ю. Роль превентивной медицины в социальной политике государства. Вестник восстановительной медицины. 2017; 1(77): 8–17. [Trukhanov A.I., Chudakov S.U. The role of preventive medicine in the social policy of the government. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2017; 1(77): 8–17 (In Russ.).]
16. Рахманин Ю.А., Бобровницкий И.П. Научные и организационно-методологические основы интеграции медицины окружающей среды, экологии человека и практического здравоохранения в целях обеспечения активного долголетия человека. Вестник восстановительной медицины. 2017; 1(77): 2–7. [Rakhmanin Yu.A., Bobrovnitsky I.P. Scientific and organizational-methodological bases of integration of environmental medicine, and human ecology of health care in order to ensure the active human longevity. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2017; 1(77): 2–7 (In Russ.).]
17. De Luca C., Mikhal'Chik E.V., Suprun M.V., et al. Skin antiageing and systemic redox effects of supplementation with marine collagen peptides and plant-derived antioxidants: A single-blind case-control clinical study. Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2016; 2016: 4389410. https://doi.org/10.1155/2016/4389410
18. Lubrano C., Specchia P., Gnessi L., et al. Integrated haematological profiles of redox status, lipid, and inflammatory protein biomarkers in benign obesity and unhealthy obesity with metabolic syndrome. Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2015; 2015: 490613. https://doi.org/10.1155/2015/490613
19. Kulikov V.P., Tregub P.P., Osipov I.S., Trukhanov A.I. Hypercapnic hypoxia as a potential means to extend life expectancy and improve physiological activity in mice. Biogerontology. 2019; 20(5): 677–686. https://doi.org/10.1007/s10522-019-09821-6
20. Труханов А.И., Скакун С.Г., Гречко А.В. Современная роль персонифицированной цифровой медицины в развитии медицинской реабилитации. Вестник восстановительной медицины. 2018; 1(83): 2–13. [Trukhanov A.I., Skakun S.G., Grechko A.V. The role of digital medicine in the development of personalized preventive rehabilitation. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2018; 1(83): 2–13 (In Russ.).]
21. Полетаев А.Б., Труханов А.И., Гречко А.В. Молекулярный состав плазмы крови и состояние организма человека в норме и патологии. Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2019; 1(2): 37–42. https://doi.org/10.36425/2658-6843-19185 [Poletaev A.B., Trukhanov A.I., Grechko A.V. Molecular composition of blood plasma and condition of human organism at the normal and pathological state. Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation. 2019; 1(2): 37–42. https://doi.org/10.36425/2658-6843-19185 (In Russ.).]
22. Гильмутдинова И.Р., Кудряшова И.С., Костромина Е.Ю. и др. Современные подходы диагностики и коррекции биомаркеров старения. Вестник восстановительной медицины. 2021; 20(6): 96–102. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-6-96-102 [Gilmutdinova I.R., Kudryashova I.S., Kostromina E.Yu., et al. Modern Approaches to Diagnostics and Correction of Aging Biomarkers. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2021; 20(6): 96–102. https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-6-96-102 (In Russ.).]
23. Безродный С.Л., Шендеров Б.А. Кишечная микробиота как источник новых биомаркеров старения. Вестник восстановительной медицины. 2015; 2(66): 40–47. [Bezrodnyi S.L., Shenderov B.A. Intestinal microbiota as a source of novel biomarkers of ageing. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2015; 2(66): 40–47 (In Russ.).]
24. Баранов В.С., Баранова Е.В., Иващенко Т.Э., Асеев М.В. Геном человека и гены «предрасположенности». Введение в предиктивную медицину. Санкт-Петербург: Интермедика. 2000; 271 с. [Baranov V.S., Baranova E.V., Ivashchenko T.E., Aseev M.V. The human genome and predisposition genes. Introduction to predictive medicine. St. Petersburg: Intermedika. 2000; 271 p. (In Russ.).]
25. Шендеров Б.А., Синица А.В., Захарченко М.М. Метабиотики: вчера, сегодня, завтра. Санкт-Петербург: Крафт. 2017; 79 с. [Shenderov B.A., Sinitsa A.V., Zakharchenko M.M. Metabiotics: yesterday, today, tomorrow. St. Petersburg: Kraft. 2017; 79 p. (In Russ.).]
26. Афтанас Л.И., Березкина Е.С., Бонитенко Е.Ю. и др. Элементный статус населения России. Том 1. Санкт-Петербург: Медкнига «ЭЛБИ-СПб». 2010; 414 с. [Aftanas L.I., Berezkina E.S., Bonitenko E.Yu., et al. Elemental status of the population of Russia. Volume 1. St. Petersburg: Medkniga "ELBI-SPb". 2010; 414 p. (In Russ.).]
27. Щербо С.Н., Щербо Д.С. Персонализированная медицина: монография, в 7 т. Том 1. Биологические основы. Москва: Российский ун-т дружбы народов. 2016; 222 с. [Shcherbo S.N., Shcherbo D.S. Personalized medicine: monograph, in 7 volumes. Volume 1. Biological foundations. Moscow: Peoples' Friendship University of Russia. 2016; 222 p. (In Russ.).]
28. Юскаева Г.И., Мирзаева Л.И. Цифровизация в медицине и здравоохранении России. Восстановительные биотехнологии, профилактическая, цифровая и предиктивная медицина. 2025; 2(2): 5–9. [Yuskayeva G.I., Mirzayeva L.I. Digitalization in medicine and healthcare in Russia. Restorative biotechnologies, preventive, digital and predictive medicine. 2025; 2(2): 5–9 (In Russ.).]
29. McIntyre R.L., Rahman M., Vanapalli S.A., et al. Biological Age Prediction from Wearable Device Movement Data Identifies Nutritional and Pharmacological Interventions for Healthy Aging. Front Aging. 2021; 2: 708680. https://doi.org/10.3389/fragi.2021.708680
30. Научная сессия АНО «Национальная Академия Активного Долголетия», 21–22 декабря 2016 г. Вестник восстановительной медицины. 2017; 1(77): 133–134. [Scientific session of the ANO "National Academy of Active Longevity", December 21–22, 2016. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2017; 1(77): 133–134 (In Russ.).]

31. Trukhanov A., Chan M. Handbook of anti-aging medicine. European Wellness Academy. 2022; 760 p. ISBN 978-1-6629-3020-1. https://doi.org/10.69669/ic6892
32. Trukhanov A., Chan M., Nalapko Yu. Handbook on Longevity Medicine: The Road Map. European Wellness Academy. 2024; 314 p. https://doi.org/10.69669/wn5724
33. Stambler I., editor. Healthy Longevity: policies and practices. Springer Cham. 2026; 574 p. ISBN 978-3-032-20005-1. https://doi.org/10.1007/978-3-032-20006-8
34. Longevity Nation conference. Bar-Ilan University, Israel. Available from: https://longevitynation.org/ (Accessed June 23, 2026).
35. Иванова Г.Е., Труханов А.И. Глобальные перспективы развития медицинской реабилитации. Вестник восстановительной медицины. 2017; 6(82): 2–6. [Ivanova G.E., Trukhanov A.I. Global prospects for the development of medical rehabilitation. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2017; 6(82): 2–6 (In Russ.).]

Пост-релиз / Press release

Итоги I Всероссийского конгресса с международным участием «Питание — путь к здоровью нации»

В Ставропольском крае завершился I Всероссийский конгресс с международным участием «Питание — путь к здоровью нации» — масштабное событие, собравшее около 2000 экспертов из многих регионов России. На площадке конгресса встретились диетологи, нутрициологи, терапевты, научные сотрудники профильных НИИ, представители органов управления здравоохранением и эксперты в области общественного здоровья.

Организаторами конгресса выступили Министерство здравоохранения Российской Федерации и Правительство Ставропольского края. Оператор Конгресса — ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России (ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России).

Здоровье человека на всех этапах жизни напрямую зависит от питания

В пленарном заседании конгресса в качестве модератора и спикера принял участие Министр здравоохранения Российской Федерации Михаил Альбертович Мурашко. Он подчеркнул, что здоровье человека непосредственно связано с питанием, начиная от грудного вскармливания и заканчивая старшим возрастом.



Рис. 1. Выступление Министра здравоохранения Российской Федерации М.А. Мурашко
Fig. 1. Speech by M.A. Murashko, Minister of Health of the Russian Federation

Министр отметил, что сегодня к числу национальных целей, определенных Президентом Российской Федерации, относятся народоприумножение и здоровое долголетие, поэтому программа конгресса включает все разделы, касающиеся формирования здоровья человека, его поддержания, а также вопросы здорового долголетия и сохранения трудоспособности.

Особое внимание было уделено лечебному питанию. Михаил Альбертович подчеркнул, что пациенты с хроническими заболеваниями нуждаются в особом рационе:

«Сегодня хронические неинфекционные заболевания определяют более 3/4 смертей во всем мире. И многие из них сегодня совершенно четко можно предотвратить. Комбинация питания, лечебных процедур и медикаментозной терапии — это синергия для достижения успеха в борьбе с хроническими неинфекционными заболеваниями».

Министр обозначил, что одним из ожидаемых практических результатов конгресса должна стать разработка национальных рекомендаций по питанию:

«В качестве результата мы хотели бы видеть в следующем году разработку национальных рекомендаций по питанию как руководство для консультирования медицинскими работниками как пациента, так и гражданина, имеющего хорошее здоровье, для того чтобы предотвратить возникновение заболеваний».

Смена парадигмы и роль санаторно-курортного комплекса

Генеральный директор ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России Наталия Николаевна Зубарева подчеркнула уникальность события: конгресс прошел впервые и задал принципиально новый вектор обсуждения роли питания в укреплении здоровья населения.



Рис. 2. Выступление д.э.н., доцента, генерального директора ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России Н.Н. Зубаревой
Fig. 2. Speech by N.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

Наталия Николаевна отметила, что сегодня происходит смена парадигмы питания для здоровья. Санаторно-курортным организациям важно учитывать современные тенденции, озвученные на конгрессе, и интегрировать их в повседневную практику. В связи с этим ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России проводит системную работу по повышению квалификации сотрудников и обучению пациентов.

«Мы организуем повышение квалификации для своих специалистов: не только для сотрудников пи-

щеблока, диетических сестер, но и для медицинских работников всех категорий без исключения. В рамках работы Школ здоровья в санаториях НМИЦ реабилитации и курортологии Минздрава России затрагиваются темы здорового питания и после пребывания пациента в санаторно-курортной организации. Проходят обучение и наши специалисты, и наши пациенты. Мы очень надеемся, что этот интегрированный процесс даст тот самый синергетический эффект, который пациент увезет к себе домой», — заключила Наталия Зубарева.

Практические результаты

Среди главных результатов конгресса — формирование согласованных рекомендаций по интеграции принципов рационального питания. На секционных заседаниях и круглых столах были представлены результаты крупных исследований по оценке пищевого статуса населения и эффективности диетологических вмешательств. Практико-ориентированные доклады продемонстрировали успешные региональные кейсы по внедрению образовательных программ для пациентов и формированию среды, поддерживающей здоровое питание в медицинских и социальных учреждениях.

Важным итогом конгресса стала выработка предложений по развитию междисциплинарного взаимодействия: от научных центров до центров здорового долголетия. Участники подчеркнули необходимость системной работы по повышению грамотности населения в вопросах питания и формированию устойчивых моделей пищевого поведения.

Results of the 1st Russian Congress with international participation "Healthy Diet — a Path to National Health"

The First Russian Congress with international participation "Healthy Diet — a Path to National Health" has recently concluded in the Stavropol Territory. This large-scale event brought together around 2,000 experts from many regions of Russia. The venue welcomed dietitians, nutritionists, general practitioners, researchers from dedicated research institutes, as well as representatives from healthcare authorities and public health experts.

The Congress was organized by the Ministry of Health of the Russian Federation and the Government of the Stavropol Territory. The event is managed by the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

Human health at all stages of life is directly linked to nutrition

Mikhail Albertovich Murashko, Minister of Health of the Russian Federation, took part in the plenary session of the Congress both as a moderator and a speaker. He highlighted the critical connection between human health and nutrition, emphasizing its importance from breastfeeding in infancy to maintaining health in old age.

The Minister noted that today's national goals set by the President of the Russian Federation include population growth and healthy longevity. Consequently, the congress program covers all aspects of health promotion, healthy longevity, and the preservation of working capacity.

Special attention was paid to medical nutrition. Mikhail Albertovich emphasized that patients with chronic diseases require a special diet:

"*Today, chronic non-communicable diseases account for over three-quarters of all deaths worldwide. A considerable number of these diseases are now recognized as preventable. Combining nutrition, therapeutic treatments and drug therapy creates a synergy that is key to success in the fight against chronic non-communicable diseases.*"

The Minister stated that one of the expected practical outcomes of the congress should be the development of national nutrition guidelines:

"*Ideally, we would like national nutrition guidelines to be developed next year as a manual for healthcare professionals counseling patients and healthy citizens on disease prevention.*"

Paradigm shift and the role of the health-resort complex

Natalia Nikolaevna Zubareva, Director General of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, emphasized the uniqueness of the event: the congress was held for the first time and set a fundamentally new direction for discussing the role of nutrition in strengthening public health. Natalia Nikolaevna noted that a paradigm shift is currently taking place in the field of nutrition for health. It is important for health resort operators to take into account the latest trends highlighted at the congress and to integrate them into their day-to-day practice. In this regard, the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Russia is engaged in systematic efforts to improve staff skills and educate patients.

"*We organize further training for our specialists — not only for catering staff and dietary nurses, but also for healthcare professionals of all categories without exception. As part of the Health Schools program at sanatoriums affiliated with the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology of the Russian Ministry of Health, healthy nutrition education extends beyond the patient's stay. Both our specialists and patients participate in this training. W highly anticipate that this integrated process will create a lasting synergy that patients can easily maintain at home,*" — said Natalia Zubareva.

Practical results

One of the key outcomes of the congress is the development of consensus recommendations for incorporating the principles of rational nutrition. The findings of extensive studies on assessing the nutritional status of the population and the effectiveness of dietary interventions were presented at sectional meetings and round tables. Practice-oriented presentations demonstrated successful regional case studies on implementing educational programs for patients and creating an environment that supports healthy eating in healthcare and social care settings.

A key outcome of the congress was the formulation of proposals for developing interdisciplinary collaboration: from research centers to centers for healthy longevity. The participants emphasized the need for systematic efforts to improve the population's nutritional literacy and to foster sustainable patterns of eating behavior.

Благодарность рецензентам журнала «Вестник восстановительной медицины»

Acknowledgements to All Our Reviewers from Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal

Каждая статья, поступившая в научно-практический рецензируемый журнал «Вестник восстановительной медицины», проходит двойное слепое рецензирование. Экспертное мнение рецензентов позволяет авторам статей получить ценные комментарии и замечания, которые могут быть использованы для улучшения и расширения подаваемых к публикации материалов.
Редакция Журнала «Вестник восстановительной медицины» выражает глубокую признательность и благодарность следующим рецензентам статей:

Each article submitted to Bulletin of Rehabilitation Medicine, an academic and practical peer-reviewed journal undergoes double-blind peer review. We are grateful to our reviewers for offering their expert opinion, which has provided valuable comments and remarks that the authors of the articles can use to improve and expand the materials submitted for publication.
The Editorial Board of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal would like to express its immense appreciation and gratitude to the following article reviewers:

Агасарову Льву Георгиевичу
Ансоковой Марьяне Аркадьевне
Апхановой Татьяне Валерьевне
Бадтиевой Виктории Асланбековне
Беловой Людмиле Анатольевне
Бердюгину Кириллу Александровичу
Буйловой Татьяне Валентиновне
Васильевой Валерии Александровне
Герасименко Марине Юрьевне
Гильмутдиновой Лире Талгатовне
Гущиной Надежде Витальевне
Гришечкиной Ирине Александровне
Голиковой Анне Николаевне
Даминову Вадиму Дамировичу
Дудинской Екатерине Наильевне
Заборовой Виктории Александровне
Ежову Владимиру Владимировичу
Еремушкину Михаилу Анатольевичу
Ерёмину Петру Серафимовичу
Князевой Татьяне Александровне
Ковлену Денису Викторовичу
Коновой Ольге Михайловне
Кончуговой Татьяне Венедиктовне
Костенко Елене Владимировне
Котенко Наталье Владимировне
Крюковой Ирине Викторовне
Кузюковой Анне Александровне
Курнявкиной Елене Алексеевне
Макаровой Марине Ростиславовне
Маркову Павлу Александровичу
Марченковой Ларисе Александровне
Мжельскому Александру Анатольевичу
Назаровой Кристине Михайловне
Одарущенко Ольге Ивановне
Пёховой Яне Геннадьевне
Поберской Валентине Александровне
Погорельцевой Оксане Александровне
Рассуловой Марине Анатольевне
Рачину Сергею Андреевичу
Рожковой Елене Анатольевне
Сапелкину Сергею Викторовичу
Сичинаве Нино Владимировне
Скворцову Дмитрию Владимировичу
Смоленскому Андрею Вадимовичу
Стяжкиной Елене Михайловне
Туровининой Елене Фаридовне
Фролкову Виталию Константиновичу
Хан Майе Алексеевне
Чигареву Алексею Анатольевичу
Шейко Геннадию Евгеньевичу
Юровой Ольге Валентиновне
Яковлеву Максиму Юрьевичу
Яснецову Виктору Владимировичу
Яшкову Александру Владимировичу

Спасибо за проделанную работу!
Надеемся на сотрудничество с Вами в будущем.

Thank you so much for all your hard work!
We really hope we can work with you again in the future.