



Учредители: Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии

Поддержка: Национальная ассоциация экспертов по санаторно-курортному лечению

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

ТОМ 24,
№ 4. 2025
VOL. 24 (4)
2025

Вестник

восстановительной медицины

Bulletin of Rehabilitation Medicine
Vestnik Vosstanovitel'noj Mediciny



9772078 196008

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

Подписной индекс: 71713 | www.vvvr.ru

ВЕСТНИК ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЫ

Том 24, № 4-2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

КОНЧУГОВА Т.В., д.м.н., проф., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия
УГО КАРРАРО, проф., Падуанский университет, Падуа, Италия

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

АГАСАРОВ Л.Г., д.м.н., проф., Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, 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., д.м.н., проф., член-корр. РАН, 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

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

ЕЖОВ В.В., д.м.н., проф., Научно-исследовательский институт физических методов лечения, медицинской климатологии и реабилитации им. И.М. Сеченова, Ялта, Россия

КИЗЕЕВ М.В., к.м.н., Санаторий «Решма», Решма, Ивановская область, 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., проф., 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 Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

СИЧИНАВА Н.В., д.м.н., Московский научно-практический центр медицинской реабилитации восстановительной спортивной медицины 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., Московский научно-практический центр медицинской реабилитации восстановительной спортивной медицины 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 государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, 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, Самара, Россия

Денис БУРЖУА, 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, Порту, Португалия

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

Стелла ОДОБЕСКУ, проф., Институт неврологии и нейрохирургии, 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, проф., Мадридский университет Комплутенсе, Мадрид, Испания

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

БАДТИЕВА В.А., д.м.н., проф., член-корр. РАН, Московский научно-практический центр медицинской реабилитации восстановительной спортивной медицины 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., д.м.н., проф., академик РАН, Национальный исследовательский центр кардиологии Минздрава России, Москва, Россия

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

ГРЕЧКО А.В., д.м.н., проф., член-корр. РАН, 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., д.м.н., проф., академик РАН, Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины Минздрава России, Москва, Россия

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

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

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

МОКРЫШЕВА Н.Г., д.м.н., проф., член-корр. РАН, Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии Минздрава России, Москва, Россия

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

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

ОНИЩЕНКО Г.Г., д.м.н., проф., академик РАН, Российская академия наук, Москва, Россия

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

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

РАХМАНИН Ю.А., д.м.н., проф., академик РАН, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

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

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

ХАБРИЕВ Р.У., д.м.н., проф., академик РАН, 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. © ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России. Журнал распространяется по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International www.creativecommons.org.

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 04.08.2025. Выход в свет 08.08.2025. Формат 640x900 1/8. Бумага мелованная 115 г/м². Печать офсетная. Тираж 1000 экз. Заказ № 20250620.

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

BULLETIN OF REHABILITATION MEDICINE

Vestnik Vosstanovitel'noj Mediciny

Vol. 24, No. 4-2025

EDITOR-IN-CHIEF

NATALIA N. ZUBAREVA, D.Sc. (Econ.), Docent, 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, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, 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, D.Sc. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Kuban State Medical University, Sochi, Russia

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

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

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

Vladimir V. EZHOV, D.Sc. (Med.), Professor, A.I. Sechenov Research Institute of Physical Methods of Treatment, Medical Climatology and Rehabilitation, Yalta, Russia

Mikhail V. KIZEEV, Ph.D. (Med.), Sanatorium Reshma, Reshma, Ivanovo region, Russia

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

Olga M. KONOVA, D.Sc. (Med.), Docent, 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, Ph.D. (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.), Professor, 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, Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

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

Vladimir V. KHRAMOV, D.Sc. (Med.), Professor, V.I. Razumovskiy Saratov State Medical 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, Professor, Claude Bernard University Lyon 1, Lyon, France

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

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

Stella ODOBESKU, Professor, National 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, Professor, Complutense University of Madrid, Madrid, Spain

EDITORIAL COUNCIL

Victoria A. BADTIEVA, Corresponding Member 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, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, Izmerov Research Institute of Occupational Medicine, Moscow, Russia

Andrey V. GRECHKO, Corresponding Member 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, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, 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, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, 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 for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russia

Gennady G. ONISHCHENKO, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, Russian Academy of Education, 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, D.Sc. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, 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, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, 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, Ph.D. (Philol.), National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

EDITOR

Tatyana 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.

© National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

The journal is distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License www.creativecommons.org.

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 04.08.2025.

Published 08.08.2025.

640x900 1/8 format.

Coated paper 115 g/m².

Offset printing.

Circulation 1000 copies. Order No. 20250620.

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

СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРА

СТАТЬИ

- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 10
- Научные исследования и практические инструменты современной курортологии: вклад в реализацию национальных целей развития России в среднесрочной перспективе**
Зубарева Н.Н., Камкин Е.Г.
- ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ** 19
- Перспективы развития арктической и субарктической климатических зон Российской Федерации: обзор**
Бобровницкий И.П., Нагорнев С.Н., Парфёнов А.А., Гришечкина И.А., Яковлев М.Ю., Марченкова Л.А., Попов А.И., Семенова И.В., Гурьевская Е.А., Гореликова О.Н., Зубарева Н.Н.
- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 32
- Гериатрическая реабилитация у пациентов с сахарным диабетом и старческой астенией: субанализ исследования ПОСТСКРИПТУМ**
Рунихина Н.К., Малая И.П., Онучина Ю.С., Лузина А.В., Шарашкина Н.В., Остапенко В.С., Мхитарян Э.А., Лысенков С.Н., Арефьева М.С., Попов Е.Е., Арефьева А.А., Дудинская Е.Н., Котовская Ю.В., Ткачева О.Н.
- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 44
- Сравнительная эффективность сухого иглокальвания и глубокого фрикционного массажа при миофасциальном болевом синдроме: оригинальное исследование**
Конита Д.И., Арсиад А., Ариянди А., Абдулла М.М., Харсиад А.Р.А.
- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 54
- Реабилитация пациентов с ишемическим инсультом с применением виртуальной реальности: проспективное рандомизированное исследование**
Туровина Е.Ф., Плотников Д.Н.
- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 67
- Реакция боли, связанной с пункцией артериовенозной фистулы, на различные методы криотерапии у пациентов, находящихся на гемодиализе: рандомизированное контролируемое исследование**
Хоним С.Ф., Хамед Н., Эль-Хашаб С.О., Эль-Моатасем А.М.
- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 76
- Интерmittирующая стимуляция тета-вспышками первичной моторной коры в коррекции двигательных нарушений при болезни Паркинсона: рандомизированное контролируемое исследование**
Коцоев Г.А., Федотова Е.Ю., Бакулин И.С., Пойдашева А.Г., Лагода Д.Ю., Забирова А.Х., Супонева Н.А.
- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 89
- Ультраструктурный анализ митохондрий в клетках коры надпочечников крыс при действии электромагнитного излучения и питьевой минеральной воды**
Королев Ю.Н., Никулина Л.А., Михайлик Л.В.
- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 96
- Стандартизованные подходы к медицинской фотографии в практической деятельности врача – травматолога-ортопеда: диагностическое исследование**
Василевич С.В.
- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 113
- Влияние ишемического инсульта на зрительные функции: ретроспективное исследование**
Марфина Т.В., Кончугова Т.В., Апханова Т.В., Агасаров Л.Г., Мухина А.А., Марченкова Л.А.
- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 121
- Биофункционализация альгинатного гидрогеля магнитными наночастицами: результаты экспериментального исследования**
Марков П.А., Ерёмин П.С., Торлопов М.А., Мартаков И.С., Михайлов В.И.

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

130

Безопасность и терапевтические результаты манипуляций на шейном отделе позвоночника высокоскоростной низкоамплитудной манипуляции в клинической практике: обзор
Нуграха Р., Раили Р.В., Нурхалим Л.И., Рахма С., Фахриана Ш.Г.

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

141

Усовершенствованная аппаратная пневмокомпрессия с имитацией мануального лимфодренажа в реабилитации пациентов с лимфедемой, связанной с раком груди: обзор
Апханова Т.В., Кончугова Т.В., Мусаева О.М., Морунова В.А., Васильева В.А., Щербакова О.А., Агасаров Л.Г., Назарова К.М., Марченкова Л.А.

ДИССЕРТАЦИОННАЯ ОРБИТА

156

Когнитивная реабилитация при рассеянном склерозе: эффективность и потенциал технологий виртуальной реальности. Обзор
Широлапов И.В., Захаров А.В., Романчук Н.П., Комарова Ю.С., Сергеева М.С., Шишкина А.А., Хивинцева Е.В., Шарафутдинова И.А.

В ЦЕНТРЕ ВНИМАНИЯ

168

XI Международный конгресс «Санаторно-курортное лечение»

CONTENTS

ARTICLES

- ORIGINAL ARTICLE 10
- Scientific Research and Practical Tools of Contemporary Balneology: Contribution to the Implementation of Russia's National Medium-Term Development Goals**
Natalia N. Zubareva, Evgeny G. Kamkin
- REVIEW 19
- Development Prospects for the Arctic and Subarctic Climate Zones of the Russian Federation: a Review**
Igor P. Bobrovnikskii, Sergey N. Nagornev, Andrey A. Parfenov, Irina A. Grischechkina, Maxim Yu. Yakovlev, Larisa A. Marchenkova, Andrei I. Popov, Irina V. Semenova, Ekaterina A. Gurevskaya, Olga N. Gorelikova, Natalia N. Zubareva
- ORIGINAL ARTICLE 32
- Geriatric Rehabilitation with Diabetes Mellitus and Frailty: A Subanalysis of POSTSCRIPTUM Study**
Nadezda K. Runikhina, Irina P. Malaya., Yulia S. Onuchina, Alexandra V. Luzina, Natalia V. Sharashkina, Valentina S. Ostapenko, Elen A. Mkhitarian, Sergey N. Lysenkov, Mariia S. Arefeva, Evgeny E. Popov, Arina A. Arefeva, Ekaterina N. Dudinskaya, Yulia V. Kotovskaya, Olga N. Tkacheva
- ORIGINAL ARTICLE 44
- Comparative Effectiveness of Dry Needling and Deep Friction Massage in Myofascial Pain Syndrome: an Original Research**
Dies I. Qonita, Aryadi Arsyad, Andi Ariyandy, Meutiah M. Abdullah, Andi Rizky A. Hasyar
- ORIGINAL ARTICLE 54
- Rehabilitation of Patients with Ischemic Stroke Using Virtual Reality: a Prospective Randomized Study**
Elena F. Turovinina, Dmitriy N. Plotnikov
- ORIGINAL ARTICLE 67
- Response of Arteriovenous Fistula Puncture-Related Pain to Different Cryotherapy Applications in Hemodialysis Patients: a Randomized Controlled Study**
Sara F. Ghoneem, Nagwa Hamed, Sahier O. El-Khashab, Alaa M. El-Moatasem
- ORIGINAL ARTICLE 76
- Intermittent Theta Burst Stimulation of the Primary Motor Cortex in the Correction of Motor Symptoms in Parkinson's Disease: a Randomized Controlled Study**
Georgii A. Kotsoev, Ekaterina Yu. Fedotova, Ilya S. Bakulin, Alexandra G. Poydasheva, Dmitry Yu. Lagoda, Alfiia Kh. Zabirova, Natalia A. Suponeva
- ORIGINAL ARTICLE 89
- Ultrastructural Analysis of Mitochondria in Rat Adrenal Cortex Cells Exposed to Electromagnetic Radiation and Drinking Mineral Water**
Yury N. Korolev, Lyudmila A. Nikulina, Lyubov V. Michailik
- ORIGINAL ARTICLE 96
- Standardized Approaches to Medical Photography in the Practical Activity of a Traumatologist and Orthopedic Surgeon: a Diagnostic Study**
Sergey V. Vasilevich
- ORIGINAL ARTICLE 113
- Impact of Ischaemic Stroke on Visual Function: a Retrospective Study**
Tatyana V. Marfina, Tatiana V. Konchugova, Tatiana V. Apkhanova, Lev G. Agasarov, Anastasiya A. Mukhina, Larisa A. Marchenkova
- ORIGINAL ARTICLE 121
- Use of Magnetic Nanoparticles for Biofunctionalization of Alginate Hydrogel: Experimental Study Findings**
Pavel A. Markov, Petr S. Eremin, Mikhail A. Torlopov, Ilia S. Martakov, Vasily I. Mikhaylov

REVIEW

130

Safety and Therapeutic Outcomes of Cervical High-Velocity Low-Amplitude Manipulation in Clinical Practice: a Review

Rahmat Nugraha, Rizky Wulandari Ramli, Latifa Insani Nurhalim, Sitti Rahma, Sri G. Fahriana

REVIEW

141

Advanced Pneumatic Compression Device with Simulated Manual Lymphatic Drainage in Rehabilitation of Patients with Breast Cancer Related Lymphedema: a Review

Tatiana V. Apkhanova, Tatiana V. Konchugova, Olga M. Musaeva, Valentina A. Morunova, Valeriia A. Vasileva, Olesya A. Shcherbakova, Lev G. Agasarov, Kristina M. Nazarova, Larisa A. Marchenkova

DISSERTATION ORBIT

156

Cognitive Rehabilitation in Multiple Sclerosis: Effectiveness and Potential of Virtual Reality Technologies. A review

Igor V. Shirolapov, Alexander V. Zakharov, Natalia P. Romanchuk, Yuliya S. Komarova, Mariya S. Sergeeva, Anna A. Shishkina, Elena V. Khivintseva, Irina A. Sharafutdinova

IN THE FOCUS OF ATTENTION

168

XI International Congress "Health Resort Treatment"

Научные исследования и практические инструменты современной курортологии: вклад в реализацию национальных целей развития России в среднесрочной перспективе

 Зубарева Н.Н.^{1,*},  Камкин Е.Г.²

¹ Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

² Министерство здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Санаторно-курортный комплекс (СКК) Российской Федерации может с успехом реализовать актуальные треки современности. Достижения российской курортологии общепризнаны во всем мире, так как связаны с доказательными подходами к разработке лечебных методик и комплексных программ с использованием природных лечебных ресурсов.

ЦЕЛЬ. Анализ текущей структуры и роли основных элементов СКК, его ресурсного и научного потенциала, созданных в процессе построения преемственности санаторно-курортного лечения (СКЛ) с оказанием качественной и доступной первичной и специализированной медицинской помощи населению России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Использовались инструменты медико-статистического анализа развития инфраструктуры, коечного фонда, ресурсов для СКЛ в России; методология SWOT-анализа сильных и слабых сторон СКК России; теоретические основы менеджмента и научные подходы по общественному здоровью и организации здравоохранения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. При проведении анализа, релевантного текущей ситуации развития санаторно-курортных организаций (СКО) России, выявлены некоторые тенденции и проблемы, с которыми столкнулась курортология страны в последние годы. В настоящее время отмечается усиление рисков изменения традиционного правового статуса лечебно-оздоровительных местностей, курортов и курортных территорий. Имеются и другие нерешенные вопросы, связанные с недостаточным развитием инфраструктуры, цифровизации, обеспеченностью кадрами и др. В то же время следует отметить многие сильные стороны российской курортологии, в первую очередь, связанные с высоким научно-методическим сопровождением и внедрением в санаторно-курортную практику новейших эффективных немедикаментозных технологий. В ближайшее время потребуются разработка стратегических направлений развития СКК до 2036 г., которые приведут к развитию новых возможностей курортологии для формирования ответов на современные вызовы общественного здоровья населения страны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Для достижения национальных целей развития России в среднесрочной перспективе большое значение имеет СКК. Накопленный в течение многих десятилетий опыт применения природных лечебных ресурсов в различных лечебно-профилактических и реабилитационных программах подтверждает возможности СКЛ в сохранении населения и укреплении здоровья людей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: санаторно-курортный комплекс, природные лечебные ресурсы, национальные цели развития

Для цитирования / For citation: 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.).]

* Для корреспонденции: Зубарева Наталия Николаевна, E-mail: zubarevann@nmicr.ru

Статья получена: 19.06.2024
Статья принята к печати: 18.07.2025
Статья опубликована: 16.08.2025

Scientific Research and Practical Tools of Contemporary Balneology: Contribution to the Implementation of Russia's National Medium-Term Development Goals

 Natalia N. Zubareva^{1,*},  Evgeny G. Kamkin²

¹ National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

² Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Health resort complex (HRC) of the Russian Federation has the potential to successfully implement the topical tracks of our time. The achievements of Russian balneology are universally recognized all over the world, as they are associated with evidence-based approaches to the development of therapeutic techniques and complex programs using natural therapeutic resources.

AIM. Analysis of the current structure and role of the main elements of the health resort complex, its resource and scientific potential, created in the process of building the continuity of health resort treatment (HRT) with the provision of quality and affordable primary and specialized medical care to the population of Russia.

MATERIALS AND METHODS. The tools used were medical and statistical analysis of the development of infrastructure, bed stock, resources for health resort treatment in Russia; SWOT-analysis methodology of strengths and weaknesses of the Russian health care system; theoretical foundations of management and scientific approaches to public health and health care organization.

RESULTS AND DISCUSSION. The analysis relevant to the current situation of development of health resort organizations in Russia has shown some trends and problems faced by the balneology of the country in recent years. Currently, there is an increase in the risks of changing the traditional legal status of therapeutic and recreational areas, resorts and resort territories. There are other unresolved issues related to insufficient development of infrastructure, digitalization, staffing, and others. At the same time, one should note many strengths of Russian balneology, primarily related to high scientific and methodological support and introduction of the latest effective non-medication technologies into health resort practice. In the near future it will be necessary to develop strategic objectives for the development of the health resort complex up to 2036, that will lead to the development of new opportunities of balneology to provide answers to the current challenges of public health of the country's population.

CONCLUSION. To achieve Russia's national development goals in the medium term, the health resort complex is of great importance. The experience accumulated over many decades in the application of natural therapeutic resources in various therapeutic, preventive and rehabilitation programs confirms the potential of health resort treatment in preserving the population and strengthening people's health.

KEYWORDS: health resort complex, natural therapeutic resources, national development goals

For citation: 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.).

* **For correspondence:** Natalia N. Zubareva, E-mail: zubarevann@nmicrk.ru

Received: 19.06.2024

Accepted: 18.07.2025

Published: 16.08.2025

ВВЕДЕНИЕ

В указе Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309¹ определены семь национальных целей, на реализацию которых должна быть направлена деятельность всех субъектов управления в системе здравоохранения страны.

Методология построения системы устойчивого развития любого общества невозможна без определения целей развития, ключевых направлений всего народного хозяйства, отдельных отраслей, сфер деятельности. В последнее время отдельные российские ученые (Измайлова М.А., 2021; Пушкарев И.Ю., 2020) вслед за комплексными зарубежными исследованиями (2018–2020 гг.) описывают методические подходы, в которых

особое место отводится отраслям, формирующим человеческий капитал, сферам сбережения здоровья населения [1–3].

Санаторно-курортный комплекс (СКК) Российской Федерации может с успехом реализовать актуальные треки современности.

СКК включает совокупность объектов и видов деятельности, обеспечивающих лечение, оздоровление и медицинскую реабилитацию граждан, профилактику заболеваний на основе использования природных лечебных ресурсов. В среднесрочной перспективе важно выявить и использовать сильные стороны, возможности СКК с тем, чтобы определить круг актуальных научно-практических задач его развития.

Достижения российской курортологии общепризнаны во всем мире, так как связаны с доказательными подходами к разработке лечебных методик и комплексных программ с использованием природных лечебных ресурсов. Только за 2003–2024 гг. было проведено

1 Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года»

порядка 2300 научных изысканий в этой области. Полученные на основании проведенных рандомизированных клинических исследований результаты представляют собой доказательную базу для включения методов санаторно-курортного лечения (СКЛ) в клинические рекомендации. За последние 15 лет профильными научными организациями и кафедрами вузов было разработано и внедрено в практику свыше 400 новых и усовершенствованных медицинских технологий СКЛ и оздоровления, проведены многочисленные исследования по оценке эффективности применения природных лечебных ресурсов (ПЛР) и опубликовано более 5 тысяч научных трудов.

ЦЕЛЬ

Анализ текущей структуры и роли основных элементов СКК, его ресурсного и научного потенциала, созданных в процессе построения преемственности СКЛ с оказанием качественной и доступной первичной и специализированной медицинской помощи населению России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовались инструменты медико-статистического анализа развития инфраструктуры, коечного фонда, ресурсов для СКЛ в России; применялись механизмы системного подхода при анализе результатов научных исследований свойств природных лечебных ресурсов в программах лечения (оздоровления, реабилитации) разных нозологий у разных поло-возрастных групп населения России; использовалась методология SWOT-анализа сильных и слабых сторон СКК России (возможностей и угроз); теоретические основы менеджмента и научные подходы по общественному здоровью и организации здравоохранения.

Были выдвинуты следующие гипотезы:

1. В перспективном развитии здравоохранения может потребоваться уточнение направлений планирования СКЛ, оздоровительных, реабилитационных программ для всех половозрастных групп населения Рос-

сии, которые учитывают его сильные (слабые) стороны, возможности и угрозы.

2. Для роста эффективности СКЛ граждан в среднесрочной перспективе экспертное сообщество, организаторы здравоохранения, медицинская общественность могут уточнить целеполагание, миссию, видение развития курортного дела страны для достижения национальных целей развития Российской Федерации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Санаторно-курортная отрасль является одним из ключевых субъектов реализации национальных целей развития России, а значит имеет все возможности внести свой вклад в сбережение населения страны. В первую очередь это может быть обеспечено за счет повышения доступности и качества СКЛ, эффективного использования природных лечебных ресурсов, развития лечебно-оздоровительных местностей, курортов, курортных регионов и реализации их лечебно-оздоровительного туристического потенциала.

Факторами внешней среды, влияющими на результаты реализации текущих и среднесрочных задач развития любой отрасли, являются экологические, социальные, управленческие [4].

При этом о необходимости релевантности задач развития отдельных подсистем и объектов здравоохранения приоритетным национальным целям начали говорить со времен реализации национальных проектов 2006–2014 гг. Так, в работах Матненко А.С. (2007); Афанасьева М.П., Шаш Н.Н. (2014) раскрываются особенности программно-целевого метода управления и финансирования государственных проектов и программ [5, 6].

При проведении анализа развития санаторно-курортных организаций (СКО) России выявлены некоторые тенденции и проблемы, с которыми столкнулась курортология страны в последние годы.

Слабые стороны (риски развития) и сильные стороны СКЛ на современном этапе могут быть представлены следующими обобщениями (табл. 1).

Таблица 1. SWOT-анализ развития санаторно-курортного комплекса России (составлено авторами)
Table 1. SWOT analysis of the development of the health-resort complex in Russia (compiled by the authors)

Сильные стороны / Strengths	Слабые стороны / Weaknesses
Рост внутреннего туризма и мобильности граждан в регионах России; новые направления въездного туризма / Growth of domestic tourism and mobility of citizens in Russian regions; new destinations for inbound tourism	Сокращение платежеспособного населения, снижение доли населения трудоспособного возраста / Decrease in solvent population, decrease in the share of working-age population
Научно-практический потенциал советской курортологии, база научно обоснованных методов СКЛ, преемственность со специализированной медицинской помощью / The scientific and practical potential of Soviet balneology, the framework of evidence-based methods of health resort treatment, continuity with specialized medical care	Материально-техническая база, профили коечного фонда и, как следствие, предложение услуг не адаптированы под новые потребности населения в санаторно-курортных и реабилитационных услугах / Facilities and resources, bed stock profiles and, as a consequence, service offers are not adapted to the new needs of the population in health resort and rehabilitation services
Российские аппараты для физических методов, отечественные природные лечебные ресурсы / Russian devices for physical methods, domestic natural therapeutic resources	Маркетинговые практики, цифровые сервисы для отдыхающих /Marketing practices, digital services for vacationers

Возможности / Opportunities	Угрозы / Threats
Расширение программ выходного дня, программ для семей и молодежи, расширение амбулаторных услуг / Expansion of weekend programs, programs for families and youth, expansion of outpatient services	Спад спроса на традиционные услуги, неготовность менеджмента к инновационным решениям / Decline in demand for "traditional" services, unwillingness of management to innovative solutions
Развитие науки, вовлечение и удержание молодых ученых; поиск новых возможностей для использования природных лечебных ресурсов / Development of science, involvement and retention of young scientists; search for new opportunities to use natural therapeutic resources	Недостаточная «табельная» оснащенность основными средствами / Insufficient «standard» equipment of fixed assets
Мотивация патентной деятельности и внедрений в практику результатов клинических исследований / Motivation of patent activity and introduction of clinical research results into practice	Дефицит квалифицированных кадров (медицинских, административных) для эффективной деятельности / Shortage of qualified personnel (medical, administrative) for effective work

Сокращение традиционного пациентопотока въездного туризма в Российской Федерации, сокращение населения трудоспособного возраста в регионах России, изменение потребности в санаторно-курортных и реабилитационных услугах в условиях современной демографической ситуации являются новыми вызовами для развития СКК.

В то же время в таблице 1 отмечено и объективное наличие сильных сторон развития СКО, выделены возможности для роста результативности методов СКЛ.

Одним из важнейших элементов СКК являются лечебно-оздоровительные местности и курорты с расположенными на их территории природными лечебными ресурсами и инфраструктурой для осуществления деятельности по СКЛ и организации отдыха населения, туристической и рекреационной деятельности.

В настоящий момент по данным Государственного реестра курортного фонда Российской Федерации (Реестр курортного фонда) насчитывается 252 лечебно-оздоровительные местности (курорта, курортного региона). Данные о границах округов санитарной (горно-санитарной) охраны имеются лишь у 203 курортов, и еще меньше (в 123 случаях) информации о курортах внесено в Единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН). На момент создания Реестра курортного фонда в 2007 г. лечебно-оздоровительных местностей, курортов, курортных регионов было 280. Количественная разница отчасти связана с изменениями способов формирования границ вновь создаваемых курортов, пересмотром смысловых определений и статусов лечебно-оздоровительных местностей, курортов в последние годы¹. Согласно современным нормативным документам, курорт обязан обладать не только ПЛР, но и организациями СКЛ, медицинской реабилитации

1 Постановление Правительства Российской Федерации от 19 июня 2024 г. № 822 «Об утверждении Правил признания территории лечебно-оздоровительной местностью федерального значения, курортом федерального значения или курортным регионом, Правил признания территории лечебно-оздоровительной местностью регионального значения или курортом регионального значения и Правил установления, изменения границ и упразднения лечебно-оздоровительной местности, курорта или курортного региона»

и иной курортной инфраструктурой. Местность же может не располагать всеми вышеперечисленными объектами, но имеет при этом потенциал организации курорта, так как содержит в границах своей территории природный лечебный ресурс².

К 2030 г. ставится задача окончательно закрепить статус и границы 100 % лечебно-оздоровительных местностей, курортов, курортных регионов³.

Наряду с лечебно-оздоровительными местностями ПЛР также являются одними из основных элементов СКК. Согласно данным Реестра курортного фонда, на территории страны имеется 1472 учтенных ПЛР, включающих минеральную воду, лечебные грязи, лечебные газы и прочее. Лишь 726 таких ресурсов, или менее 49 %, имеют специальные-медицинские заключения, и только 4 из них — со статусом бессрочные.

Среднесрочными перспективными направлениями работы в рамках исследования ПЛР являются: определение их новых свойств и активное использование в санаторно-курортной деятельности и медицинской реабилитации. Это является одним из инструментов реализации национальной цели по сохранению населения, укреплению здоровья и повышения благополучия людей. Задачи обоснованного использования потенциала ПЛР коррелируются с национальной целью обеспечения «экологического благополучия», в которой ставится задача устойчивого развития особо охраняемых при-

2 Приказ Минздрава России от 27 марта 2024 г. № 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»

3 Федеральный закон от 4 августа 2023 г. № 469-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах», отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных положений законодательных актов Российской Федерации»

родных территорий и создание условий для экологического туризма. Лечебно-оздоровительные программы, реализуемые в СКЛ, основываются как на применении традиционных методик с использованием ПЛР, так и на комплексном использовании инновационных физиотерапевтических, рефлексотерапевтических, кинезиологических технологий. Эти вопросы актуализируются для СКК в свете реализации задач национальной цели «технологическое лидерство» [7].

В среднесрочной перспективе потребуется рост доли внедренных в клиническую практику результатов прикладных научных исследований, проводимых в интересах здравоохранения путем биомедицинских и когнитивных технологий. К 2036 г. удельный вес внебюджетных источников в структуре затрат на научно-исследовательские работы (научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы) должен приблизиться к 43 % [8].

Рост мобильности граждан внутри страны и популярность отдыха в российских регионах создает новые возможности и для развития медицинского туризма, и для реализации программ оздоровления граждан России. По данным Реестра курортного фонда, в 2024 г. в СКО зафиксировано почти 7,33 млн размещенных лиц, что на 110 тыс. больше, чем в 2022 г. (фиксировалось 7,22 млн человек). Задачей на 2030 г. является достижение 9-миллионной отметки по количеству отдыхающих. Стратегически важным для Российской Федерации на протяжении в предстоящие годы (2025–2036 гг.) будет привлечение иностранных граждан для СКЛ, медицинской реабилитации, оздоровления. Партнерство России с приграничными государствами, странами БРИКС связывает развитие санаторно-курортного сектора с национальной целью «Туризм и гостеприимство» и Федеральным проектом «Туристическая привлекательность страны». К 2030 г. количество туристических поездок по территории Российской Федерации должно составить 140 млн единиц, а численность иностранных граждан, размещенных в коллективных средствах размещения, — 16 млн человек [9].

Наличие интереса к сотрудничеству в сфере курортологии наблюдается со стороны Республик: Казахстан, Южная Осетия, Беларусь, Таджикистан, Туркменистан и др.

В контексте данных целевых установок важными задачами развития СКК являются изучение потребности пациентов (отдыхающих), включая иностранных; ревизия существующих программ СКЛ, оздоровления и медицинской реабилитации.

В состав СКК, безусловно, включены организации, оказывающие услуги по СКЛ, и связанные с этим объекты размещения, а также научные и образовательные организации в сфере курортного дела. Данные организации являются основной клинической и ресурсной базой для применения ПЛР.

В настоящее время, по данным Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения (Росздравнадзор), лицензии на осуществление медицинской деятельности при СКЛ имеют 2263 организации. В Реестре курортного фонда насчитывается 1736 СКО. По сравнению с 2023 г. это рост, тогда состояло на учете в Реестре курортного фонда 1734 организации. При этом, по данным официальной статистики, таких организаций 1704.

Из общего количества 152 организации, или чуть менее 9 %, имеют федеральную собственность. 25 % всех СКО по Реестру курортного фонда, или 404 и 38 соответственно, имеют собственность субъектов Российской Федерации и муниципалитетов. Почти 66 % всех СКО, или 1142 организации, представлены иными формами собственности. Федеральными округами, то есть лидерами по количеству СКО являются: Центральный округ, имеющий 173 государственных и 161 частную организацию, Южный округ со 122 государственными и 297 частными санаториями и Приволжский федеральный округ, имеющий 117 и 223 организации, соответственно.

Как известно, в среднесрочной перспективе системе здравоохранения страны потребуется решение задач федерального проекта «Продолжительная и активная жизнь», включенного в реализацию национальной цели «сохранение населения, укрепление здоровья и повышение благополучия людей». Можно отметить следующие важные индикаторы по задачам данного проекта: ежегодный рост (на 10 % по сравнению с предыдущим годом) числа лиц с болезнями системы кровообращения без острых сердечно-сосудистых событий; в региональных медицинских подразделениях (созданных, оснащенных) наблюдается не менее 85 % больных с сахарным диабетом 1-го и 2-го типов от числа лиц, подлежащих диспансерному наблюдению [10].

В течение десятилетий на базе СКО проводилось успешное восстановление пациентов после сосудистых катастроф. Так, установлено, что пациенты, перенесшие инфаркт миокарда, прошедшие программы медицинской реабилитации в СКО, имели 10,5 дней временной нетрудоспособности, 8 % повторных случаев инфаркта и 22 % случаев повторных госпитализаций против 43,5 дней временной нетрудоспособности, 12 % случаев повторных инфарктов и 41 % случаев повторной госпитализации соответственно у лиц, не прошедших санаторно-курортный этап долечивания [11].

В настоящее время продолжается внедрение научно обоснованных методов реабилитации пациентов с социально значимыми заболеваниями и последствиями травм и операций в СКО, имеющих лицензию на проведение медицинской реабилитации.

Представляется важным огромный профилактический потенциал СКК. К 2035 г. доля граждан, ведущих здоровый образ жизни (ЗОЖ), должна будет составлять не менее 14,8 %. Организационным механизмом государства в этой части становятся мероприятия по обновлению модели центров здоровья, оснащению их оборудованием для выявления факторов риска развития заболеваний, динамическому наблюдению за состоянием здоровья гражданами с выявленными факторами риска, а также по углубленному изучению и коррекции рационов питания населения в субъектах Российской Федерации. Вклад программ СКЛ в рост доли граждан, приверженных ЗОЖ, трудно переоценить, а одним из последних инструментов, реализуемых в направлении обновления модели работы СКО с населением (отдыхающими) по профилактике заболеваний, развитию навыков ЗОЖ можно считать совместный проект ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России и ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической ме-

дицины» Минздрава России по организации кабинетов ЗОЖ в санаториях. Предполагается организация 3-недельных интерактивных программ (6 занятий в неделю) для отдыхающих по отказу от курения, алкоголя; профилактике ожирения и навыкам здорового питания; техникам борьбы со стрессом и физической активности. Организационно-методические подходы в пилотном режиме в начале 2025 г. будут реализованы в СКО, подведомственных ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

Структура коечного фонда для СКЛ граждан в России охватывает в настоящий момент 395,83 тыс. круглосуточных коек, насчитывается 685 СКО, расположенных в разных регионах России, которые имеют профиль «болезни системы кровообращения», 532 организации — профиль «болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ» и 676 организаций — для СКЛ болезней органов пищеварения. В 927 организациях СКК осуществляют профильное СКЛ и медицинскую реабилитацию пациенты с болезнями костно-мышечной системы. Коечный фонд для лечения болезней органов дыхания развернули 966 СКО и 818 организаций оказывают лечение, оздоровление, медицинскую реабилитацию для лиц, имеющих болезни центральной (периферической) нервной системы [12].

Номерной фонд СКО насчитывает 155,57 тыс. номеров, только около 4 %, или немногим более 6,14 тыс. номеров доступны для инвалидов. В 2024 г. в 1,3 раза увеличилось по сравнению с 2023 г. количество развернутых коек в санаториях, санаториях-профилакториях, грязе- и бальнеолечебницах, курортных поликлиниках: с 217,6 до 273,12 тыс. коек. Такие койки составляют почти 69 % всего коечного фонда. Более 63,33 тыс. круглосуточных коек, или 16 % всего коечного фонда, функционируют на базе санаторных оздоровительных лагерей круглогодичного действия и в санаториях для детей.

Анализ коечного фонда свидетельствует о больших лечебно-реабилитационных возможностях СКО. Сеть СКО России должна динамично развиваться, совершенствуя качество и доступность программ СКЛ для лиц с заболеваниями различного клинического профиля и для жителей всех субъектов Российской Федерации. При этом имеется проблема несоответствия около 15 % всего коечного фонда, или 48,7 тыс. коек, номенклатуре СКО и другим лицензионным критериям.

Требуется унификация подходов к работе коечного фонда всех СКО субъектов Российской Федерации для роста производительности труда медицинских работников, удовлетворения потребности в отдыхе, оздоровлении, лечении и медицинской реабилитации разных половозрастных групп населения страны. Параллельно с этими задачами федеральная и региональная сеть СКО с 2025 г. в 100 % количестве включается в реализацию национальной цели «устойчивая и динамичная экономика», принимая меры по росту производительности труда на основе контроля загрузки коечного фонда, увеличения оборота койки [13].

Дополнительным инструментом развития сети и профилей санаториев России в ближайшие годы становится направление участников специальной военной операции после специализированной медицинской помощи с учетом состояния их здоровья в СКО. В России насчи-

тывается 585 СКО, имеющих лицензию на осуществление медицинской деятельности при оказании специализированной медицинской помощи по медицинской реабилитации.

Удовлетворение многообразных потребностей жителей России, которые выступают драйвером развития СКК, накладывает определенные требования ко всей инфраструктуре санаториев. По данным Реестра курортного фонда, в настоящий момент 32,3 % составляет общий процент износа зданий и 48 % — общий процент износа медицинского оборудования.

Развитие материально-технической базы СКК сопряжено с национальной целью «инфраструктура для жизни» и с задачами федерального проекта «Модернизация коммунальной инфраструктуры». Предусматривается замена, модернизация основного оборудования и переход на энергосберегающие технологии во многих секторах экономики страны [14].

В среднесрочной перспективе развития СКК России потребуются обеспечить соответствие уровня материально-технической базы СКО требованиям порядков оказания профильной медицинской реабилитации, контрольных значений качества инженерной инфраструктуры и энергосбережения. Соблюдение таких требований будет способствовать разработке комплексных целевых программ сочетания СКЛ и медицинской реабилитации, в том числе для жителей новых субъектов Российской Федерации.

Ученые в области организации здравоохранения, такие как Стародубо В.И., Пивень Д.В (2006), Райсберг Б.А., Кузьмина Н.Б., Шиленко Ю.В (2000), Шишкин С.В., Власов В.В., Боярский С.Г. (2017), Полуниин А., Мохов А.А. (2021), единодушны во мнении, что методы управления в системе здравоохранения должны опираться на общие принципы теории менеджмента, медицинскую статистику и экономические инструменты [15–18].

Безусловно, важнейшей составляющей обеспечения высокого качества оказания медицинской помощи в СКО является профессиональная подготовка всех сотрудников, работающих в санаторно-курортной отрасли. Кадровый состав организаций, осуществляющих СКЛ (оздоровление) населения страны, согласно данным Реестра курортного фонда, укомплектован на 94 % от потребности врачебными кадрами, включает 10 тыс. 558 врачей (на 1942 человека меньше, чем было в 2023 г.). Укомплектованность средним медицинским персоналом составляет 81 %, или 27 тыс. 351 человек (ниже почти на 5,6 тыс. по сравнению с 2023 г.). В СКО трудятся 768 человек из числа немедицинского персонала, укомплектованность которых составляет 80 %. Укомплектованность врачебных должностей СКО, подведомственных Минздраву России, составляла на начало 2025 г. 72,5 %, должностей среднего медицинского персонала — 80,9 % [19].

Социальные, экономические и образовательные треки в кадровой политике здравоохранения не должны приводить к дисбалансу медицинских кадров для СКО как по специальностям, так и в разрезе возрастной дифференциации. Действенными мерами уменьшения кадрового дефицита в СКО могут стать: привлечение врачей и среднего медицинского персонала на работу вахтовым методом (периодическая или сезонная работа) в те регионы, где остро ощущается нехватка меди-

цинского персонала; введение регионами и ведомствами дополнительных мер социальной поддержки медицинских работников (например, компенсация за наем (аренду) жилья).

Отметим в этой связи, что Шипова В.М., Елдашев С.А., Абаев З.М., Юркин Ю.Ю. (2004) отмечают важность исследования эффективности использования кадрового потенциала медицинских организаций, от которой зависят все объемно-финансовые показатели деятельности. Такие исследователи, как Габуева Л.А., Павлова Н.Ф., Зубарева Н.Н., в 2018 г. отмечают важность ведомственных и корпоративных управленческих технологий поддержания здоровья как основы формирования человеческого капитала [20, 21].

В СКК, как и в целом в системе здравоохранения страны, требуют совершенствования:

- инструменты привлечения, вовлечения, удержания основного медицинского и немедицинского штатного состава СКО;
- образовательные модули на программах подготовки (переподготовки): для врачей физической и реабилитационной медицины, медицинских сестер по реабилитации, специалистов по физической реабилитации; для специалистов по организации здравоохранения и общественному здоровью;
- функции работников отделов кадров с акцентом на компетенции по управлению персоналом.

При реализации кадровой политики важным направлением является развитие практик наставничества и вклад молодых научных кадров в исследования по СКЛ. Такое направление имеет стратегическое значение в свете национальной цели «Реализация потенциала каждого человека, развитие его талантов, воспитание патриотичной и социально ответственной личности». У данного направления есть индикатор, связанный с ростом доли молодых людей, вовлеченных в мероприятия, направленные на профессиональное развитие [19].

Медицинские кадры повышают уровень профессиональных знаний на протяжении всей своей деятельности. При этом создание научных школ, обмен опытом и совершенствование технологий СКЛ ставит новые задачи для привлечения и удержания молодых талантливых и творческих медиков в организации. Большое значение этом в плане имеют массовые мероприятия широкой направленности: образовательные мастер-классы, стратегические сессии с проектными решениями, научно-практические конференции и пр. Молодые научные кадры, составляя потенциал современной курортологии, показывают вовлеченность в решение практических вопросов лечения и оздоровления пациентов с использованием природных лечебных ресурсов. Они имеют все возможности активно реализовать свои творческие способности в жизни современной СКО благодаря участию в научно-практических конференциях, школах молодых ученых, подготовке протоколов клинических апробаций, заявок на гранты и диссертационных исследований.

К 2030 г. посредством национальной цифровой платформы «Здоровье» ставится задача обеспечения персонализированного (индивидуального) подхода к лечению пациентов, что позволит сократить сроки не-

эффективного пребывания пациента на койке, сделать доступным проактивный мониторинг состояния своего здоровья.

Для всего медицинского и административно-управленческого персонала современной СКО требованием времени, во многом определенном запросами пациентов, становится цифровая грамотность, работа с социальными сетями и цифровыми сервисами. Информатизация и цифровизация сервисов для отдыхающих (пациентов) в СКО — это вклад в реализацию национальной цели «Цифровая трансформация государственного и муниципального управления, экономики и социальной сферы» [22].

За предыдущий период развития СКК были проведены мероприятия по информатизации, связанные с улучшением инфраструктуры СКО, внедрением и совершенствованием медицинских информационных систем, развитием Государственного реестра курортного фонда Российской Федерации.

В большинстве СКО внедрены и функционируют медицинские информационные системы. Есть положительный опыт коммуникаций с отдыхающими в социальных сетях. Есть удачные практики цифрового маркетинга, бронирования и покупки путевок (услуг) и пр. Однако говорить о системности, массовости и эффективности подобных практик для принятия управленческих решений пока, к сожалению, не приходится. К серьезным проблемам цифровой трансформации в СКО можно отнести те факты, что медицинские информационные системы реализованы на различных платформах и имеют разный уровень интеграции бизнес-процессов. Кроме того, базовые бизнес-процессы, реализуемые в СКО, разрознены и не стандартизированы, что приводит к возникновению ряда операционных проблем. Вышесказанное свидетельствует о фрагментации информационных систем в масштабе регионов и отдельных организаций. Единой работы с большими данными, которые становятся основой управления в социальной сфере, пока на таких платформах построить нельзя. В связи с этим требуется всестороннее развитие цифровизации и информатизации процессов в деятельности СКО, что создаст новые возможности эффективных коммуникаций с отдыхающими (пациентами) на цифровых платформах. Последние дают новые маркетинговые инструменты для привлечения населения разных субъектов на оздоровительные, санаторно-курортные и реабилитационные программы.

Таким образом, проведенный анализ состояния СКК Российской Федерации свидетельствует о его высоком ресурсном и научном потенциале, необходимости разработки стратегических направлений развития СКК до 2036 г., что приведет к развитию новых возможностей курортологии для формирования ответов на современные вызовы общественного здоровья населения страны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материалы и методы, результаты исследования в целом подтверждают первоначальные гипотезы, выдвинутые в статье. Действительно, в перспективном развитии здравоохранения может потребоваться уточнение направлений планирования СКЛ, оздоровительных и реабилитационных программ для всех полувоз-

растных групп населения России, которые учитывают сильные (слабые) стороны, возможности и угрозы.

При этом усиление рисков изменения традиционно-го правового статуса лечебно-оздоровительных местностей, курортов и курортных территорий, наряду с изменением правил получения разрешений (медицинских заключений) на использование ПЛР в комплексных программах СКЛ разных групп населения с различной патологией здоровья, может составлять проблемы для развития отдельных организаций СКК. Имеются и другие нерешенные вопросы, связанные с недостаточным развитием инфраструктуры, цифровизации, обеспеченностью кадрами и др.

Следует отметить многие сильные стороны российской курортологии, в первую очередь связанные с высоким научно-методическим сопровождением и внедрением в санаторно-курортную практику новейших эффективных немедикаментозных технологий, что позволяет в комплексе с ПЛР получить длительные стойкие клинические эффекты у пациентов различного клинического профиля.

Рост мобильности граждан внутри страны и популярность отдыха в российских регионах создают новые возможности не только для развития медицинского туризма, но и для программ разной продолжительности оздоровления, реабилитации граждан России. Кроме того, стратегически важным для Российской Федерации направлением в предстоящие годы (2025–2036 гг.) будет привлечение жителей из стран-партнеров России и из приграничных государств.

Очевидно, что для роста эффективности СКЛ граждан в среднесрочной перспективе экспертное сообщество, организаторы здравоохранения, медицинская общественность должны уточнить целеполагание, миссию, видение развития курортного дела страны для достижения национальных целей развития Российской Федерации. В ближайшее время потребуются разработка стратегических направлений развития СКК до 2036 г., которые приведут к развитию новых возможностей курортологии для формирования ответов на современные вызовы общественного здоровья населения страны.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Зубарева Наталия Николаевна, доктор экономических наук, доцент, директор, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

E-mail: zubarevann@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4872-3377>

Камкин Евгений Геннадьевич, кандидат медицинских наук, заместитель Министра здравоохранения Российской Федерации, Министерство здравоохранения Российской Федерации.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1358-110X>

Вклад автора. Авторы данного исследования 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 вер-

сию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: Зубарева Н.Н. — научное обоснование, методология, написание черновика рукописи; проверка и редактирование рукописи; Камкин Е.Г. — проверка и редактирование рукописи.

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

Конфликт интересов. Зубарева Н.Н. — директор ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России, главный редактор журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные авторы декларируют отсутствие других 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.), Docent, Director, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

E-mail: zubarevann@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4872-3377>

Evgeny G. Kamkin, Ph.D. (Med.), Deputy Minister of Health of the Russian Federation, Ministry of Health of the Russian Federation.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1358-110X>

Author Contributions. All authors acknowledge authorship according to the ICMJE international criteria (all authors made significant contributions to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version

before publication). Special contributions: Zubareva N.N. — conceptualization, methodology, writing — original draft, writing — review & editing; Kamkin E.G. — writing — review & editing.

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

Disclosure. Zubareva N.N. — Director of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Editor-in-Chief of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal. The other 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. Измайлова М.А. Устойчивое развитие как новая составляющая корпоративной социальной ответственности. МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2021; 12 (2): 100–113. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2021.12.2.100-113> [Izmailova M.A. Sustainable Development as a New Component of Corporate Social Responsibility. MIR (Modernization. Innovation. Research). 2021; 12(2): 100–113. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2021.12.2.100-113> (In Russ.)]

2. Пушкарев И.Ю. Совершенствование инструментов моделирования устойчивого развития корпоративного сектора промышленности. Экономика и управление предприятиями и отраслями. Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Барнаул. 2021: 28 с. [Pushkarev I.Y. Improving modeling tools for the sustainable development of the corporate industry sector. Economics and management of enterprises and industries. Diss. Ph.D. (Econ.). Barnaul. 2021; 28 p. (In Russ.)]
3. Цели устойчивого развития (ЦУР) ООН. Доступно на: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (Дата обращения 24.04.2025). [Sustainable Development Goals UN. Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (Accessed 24.04.2025) (In Russ.)]
4. Российский институт директоров (РИД). Исследование «ESG вопросы в практике российских публичных компаний». 2021. Доступно на: <http://rid.ru/issledovaniya> (Дата обращения 24.04.2025). [Russian Institute of Directors (RID). ESG issues in the practice of Russian public companies Study. 2021. Available at: <http://rid.ru/issledovaniya> (Accessed 24.04.2025) (In Russ.)]
5. Матненко А.С. Приоритетные национальные проекты как метод и форма бюджетной деятельности государства. Реформы и право. 2007; 1: 35–44. [Matnenko A.S. Priority national projects as a method and form of budgetary activity of the state. Reforms and law. 2007; 1: 35–44 (In Russ.)]
6. Афанасьев М.П., Шаш Н.Н. Российские бюджетные реформы: от программ социально-экономического развития до государственных программ Российской Федерации. Вопросы государственного и муниципального управления. 2014; 2: 48–64. <https://doi.org/10.17323/1999-5431-2014-0-2-48-64>. [Afanasyev M.P., Shash N.N. Russian budgetary reforms: from programs of social and economic development to state programs of the Russian Federation. Public Administration Issues. 2014; 2: 48–64. <https://doi.org/10.17323/1999-5431-2014-0-2-48-64> (In Russ.)]
7. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Национальные проекты «Здравоохранение» и «Демография». Доступно на: <https://minzdrav.gov.ru/poleznye-resursy/natsproektzdravoohranenie> (Дата обращения 24.04.2025). Ministry of Health of the Russian Federation. National projects "Healthcare" and "Demography". Available at: <https://minzdrav.gov.ru/poleznye-resursy/natsproektzdravoohranenie> (Accessed 24.04.2025) (In Russ.)]
8. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Доступно на: <https://digital.gov.ru/target/nacziionalnaya-programma-czifrovaya-ekonomika-rossijskoj-federaczii/> (Дата обращения 24.04.2025). Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation. The National program "Digital Economy of the Russian Federation". Available at: <https://digital.gov.ru/target/nacziionalnaya-programma-czifrovaya-ekonomika-rossijskoj-federaczii/> (Accessed 24.04.2025) (In Russ.)]
9. Министерство экономического развития Российской Федерации. Национальный проект «Туризм и гостеприимство». Доступно на: https://economy.gov.ru/material/directions/turizm/np_turizm_i_gostepriimstvo/ (Дата обращения 24.04.2025). National project "Tourism and Hospitality". Available at: https://economy.gov.ru/material/directions/turizm/np_turizm_i_gostepriimstvo/ (Accessed 24.04.2025) (In Russ.)]
10. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Национальный проект «Продолжительная и активная жизнь». Доступно на: <http://government.ru/rugovclassifier/917/about/> (Дата обращения 24.04.2025). Ministry of Health of the Russian Federation. National project "A Long and Active Life". Available at: <http://government.ru/rugovclassifier/917/about/> (Accessed 24.04.2025) (In Russ.)]
11. Санаторно-курортное лечение: национальное руководство. Краткое издание под ред. Разумова А.Н., Стародубова В.И., Пономаренко Г.Н. М.: ГЭОТАР-Медиа. (Серия «Национальные руководства»). 2022; 704 с. [Sanatorium treatment: national guidelines. A short edition edited by Razumova A.N., Starodubova V.I., Ponomarenko G.N. M.: GEOTAR-Media. (Series "National Guidelines"). 2022; 704 p. (In Russ.)]
12. Государственный реестр курортного фонда Российской Федерации. Доступно на: <https://kurort.minzdrav.gov.ru/> (Дата обращения 24.04.2025). [State Register of the Resort Fund of the Russian Federation. Available at: <https://kurort.minzdrav.gov.ru/> (Accessed 24.04.2025) (In Russ.)]
13. Правительство Российской Федерации. Заседание Правительства Российской Федерации. Доступно на: <http://government.ru> (Дата обращения: 24.04.2025). [The Government of the Russian Federation. Meeting of the Government of the Russian Federation. Available at: <http://government.ru> (Accessed 24.04.2025) (In Russ.)]
14. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Национальные проекты России. Доступно на: https://minobrnauki.gov.ru/nac_project/ (Дата обращения: 24.04.2025). Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. National projects of Russia. Available at: https://minobrnauki.gov.ru/nac_project/ (Accessed 24.04.2025) (In Russ.)]
15. Стародубов В.И., Пивень Д.В. Управление здравоохранением на современном этапе: проблемы, их причины и возможные пути решения: монография. Москва: Менеджер здравоохранения, 2006; 156 с. [Starodubov V.I., Piven D.V. Healthcare management at the present stage: problems, their causes and possible solutions: monograph. Moscow: Healthcare Manager, 2006; 156 p. (In Russ.)]
16. Райсберг Б.А., Кузьмина Н.Б., Шиленко Ю.В. Российское здравоохранение: вхождение в рынок. Под ред. Кучеренко В.З., Герасименко Н.Ф. М.: Инфра-М. 2000; 310 с. [Raizberg B.A., Kuzmina N.B., Shilenko Yu.V. Russian healthcare: entering the market. Edited by Kucherenko V.Z., Gerasimenko N.F. M.: Infra-M. 2000; 310 p. (In Russ.)]
17. Шишкин С.В., Власов В.В., Боярский С.Г. и др. Здравоохранение: современное состояние и возможные сценарии развития: доклад. Москва: НИУ ВШЭ. 2017. [Shishkin S.V., Vlasov V.V., Boyarskiy S.G., et al. Healthcare: current state and possible development scenarios: report. Moscow: Higher School of Economics. 2017 (In Russ.)]
18. Мохов А.А. Принципы правового регулирования государственной модели национального здравоохранения. Актуальные проблемы российского права. 2021; 16(3): 85–96. <https://doi.org/10.17803/10.17803/1994-1471.2021.124.3.085-096> [Mokhov A.A. Principles of Legal Regulation of the State Model of National Health Care. Actual Problems of Russian Law. 2021; 16(3): 85–96. <https://doi.org/10.17803/10.17803/1994-1471.2021.124.3.085-096>]
19. Министерство здравоохранения Российской Федерации (Минздрав России). Федеральный проект «Медицинские кадры». Доступно на: <https://xn--80aapampemchfmo7a3c9ehjxn-p1ai/new-projects/prodolzhitelnaya-i-aktivnaya-zhizn/meditsinskie-kadry/> (Дата обращения: 24.04.2025). [Federal project "Medical personnel". Available at: <https://xn--80aapampemchfmo7a3c9ehjxn-p1ai/new-projects/prodolzhitelnaya-i-aktivnaya-zhizn/meditsinskie-kadry/> (Accessed 24.04.2025) (In Russ.)]
20. Шипова В.М., Елдашев С.А., Абаев З.М., Юркин Ю.Ю. Планирование численности персонала учреждений здравоохранения при составлении штатного расписания (методические материалы). Москва: ГУ НИИИ Общественного здоровья РАМН. 2014; 55 с. [Shipova V.M., Eldashev S.A., Abaev Z.M., Yurkin Yu.Y. Planning the number of personnel of healthcare institutions when drawing up staffing (methodological materials). Moscow: State Research Institute of Public Health, Russian Academy of Medical Sciences, 2014; 55 p. (In Russ.)]
21. Габуева Л.А., Павлова Н.Ф., Зубарева Н.Н. Ведомственные и корпоративные управленческие технологии поддержания здоровья трудоспособного населения как основы формирования человеческого капитала. Финансовая экономика. Москва: 2018; 6(9): 1048–1053. [Gabueva L.A., Pavlova N.F., Zubareva N.N. Departmental and corporate management technologies for maintaining the health of the able bodied population as the basis for the formation of human capital. Financial economics. Moscow: 2018; 6(9): 1048–1053 (In Russ.)]
22. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Паспорт Федерального проекта «Цифровое государственное управление». Доступно на: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/pasport-federalnogo-proekta-tsifrovoe-gosudarstvennoe-upravlenie.pdf> (Дата обращения: 24.04.2025). [Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation. Passport of the Federal project "Digital Public Administration" Available at: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/pasport-federalnogo-proekta-tsifrovoe-gosudarstvennoe-upravlenie.pdf> (Accessed 24.04.2025) (In Russ.)]

Перспективы развития арктической и субарктической климатических зон Российской Федерации: обзор

 Бобровницкий И.П.^{1,2,3},  Нагорнев С.Н.⁴,  Парфёнов А.А.⁵,  Гришечкина И.А.^{5,*},
 Яковлев М.Ю.^{5,6},  Марченкова Л.А.⁵,  Попов А.И.⁵,  Семенова И.В.⁵,
 Гурьевская Е.А.⁵,  Гореликова О.Н.⁵,  Зубарева Н.Н.⁵

¹ Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневого, Красногорск, Россия

² Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии, Москва, Россия

³ Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва, Россия

⁴ Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации, Москва, Россия

⁵ Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

⁶ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет), Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. В настоящем обзоре приводится анализ климатогеофизических факторов арктической и субарктической зон Российской Федерации (РФ) и последствий их неблагоприятного влияния на здоровье. Описаны основные климатогеографические характеристики этих зон в РФ, представлен также перечень имеющихся природных лечебных ресурсов и действующих климатических и бальнеологических курортов.

ЦЕЛЬ. Обобщить сведения о климатических особенностях арктической и субарктической зон (климатических поясов), их влиянии на организм человека, имеющихся природных лечебных ресурсах, включая возможности их терапевтического воздействия.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА. Суровые климатогеографические условия полярной и приполярной зоны оказывают неблагоприятное влияние на организм пришлого и коренного населения, вызывают ряд специфических патологических состояний и повышают частоту возникновения и тяжесть течения многих заболеваний. Вместе с тем, в этих зонах имеются отдельные территории, богатые природными лечебными ресурсами (прежде всего минеральными водами, лечебными грязями), а также лечебным климатом. В связи с этим, особое значение приобретает необходимость дальнейшего изучения природных лечебных ресурсов, которые могут быть чрезвычайно востребованы с учетом высокой потребности у населения в оздоровлении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Отдельные регионы, расположенные в арктической и субарктической климатических зонах РФ, обладают природными лечебными ресурсами, которые, наряду с применением всего комплекса доставляемых из других курортных местностей природных лечебных ресурсов, могут быть в перспективе использованы в рамках оздоровления и профилактики неблагоприятного влияния факторов среды обитания (физических, химических, биологических, социальных) у населения, проживающего и работающего в сложных климатогеографических условиях арктической зоны Российской Федерации, включая малочисленные коренные народы Севера.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: климатолечение, арктическая и субарктическая климатические зоны России, Арктика, среда обитания

Для цитирования / For citation: Бобровницкий И.П., Нагорнев С.Н., Парфёнов А.А., Гришечкина И.А., Яковлев М.Ю., Марченкова Л.А., Попов А.И., Семенова И.В., Гурьевская Е.А., Гореликова О.Н., Зубарева Н.Н. Перспективы развития арктической и субарктической климатических зон Российской Федерации: обзор. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(4):19–31. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-19-31> [Bobrovnikskii I.P., Nagornev S.N., Parfenov A.A., Grishechkina I.A., Yakovlev M.Yu., Marchenkova L.A., Popov A.I., Semenova I.V., Guryevskaya E.A., Gorelikova O.N., Zubareva N.N. Development Prospects for the Arctic and Subarctic Climate Zones of the Russian Federation: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):19–31. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-19-31> (In Russ.).]

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

Статья получена: 28.02.2025

Статья принята к печати: 04.06.2025

Статья опубликована: 16.08.2025

Development Prospects for the Arctic and Subarctic Climate Zones of the Russian Federation: a Review

 Igor P. Bobrovnitskii^{1,2,3},  Sergey N. Nagornev⁴,  Andrey A. Parfenov⁵,
 Irina A. Grishechkina^{5,*},  Maxim Yu. Yakovlev^{5,6},  Larisa A. Marchenkova⁵,
 Andrei I. Popov⁵,  Irina V. Semenova⁵,  Ekaterina A. Gurevskaya⁵,
 Olga N. Gorelikova⁵,  Natalia N. Zubareva⁵

¹ National Medical Research Center of Surgery named after A. Vishnevsky, Krasnogorsk, Russia

² Institute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow, Russia

³ Institute for Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴ Central State Medical Academy of the Administrative Directorate of the President of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁵ National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

⁶ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. This review provides an analysis of the climatic and geophysical factors of the Arctic and Subarctic zones of the Russian Federation (RF) and the consequences of their adverse effects on health. The main climatic and geographic characteristics of these zones in the RF are described, and a list of available natural healing resources and operating climatic and balneological resorts is also presented.

AIM. To summarize information about the climatic features of the Arctic and Subarctic zones (climate zones), their impact on the human body, available natural healing resources, including the possibilities of their therapeutic effects.

MAIN CONTENT OF THE REVIEW. The harsh climatic and geographic conditions of the polar and subpolar zones have an adverse effect on the body of the migrant and indigenous population, cause a number of specific pathological conditions and increase the frequency and severity of many diseases. At the same time, in these zones there are certain territories rich in natural healing resources (primarily mineral waters, therapeutic muds), as well as a healing climate. In this regard, the need for further study of natural healing resources, which may be in great demand given the high need of the population for health improvement, is of particular importance.

CONCLUSION. Certain regions located in the Arctic and Subarctic climate zones of the Russian Federation have natural healing resources, the use of which, along with the use of the entire complex of natural healing resources delivered from other resort areas, can be used in the future within the framework of health improvement and prevention of the adverse effects of environmental factors (physical, chemical, biological, social) among the population, including small-numbered indigenous peoples of the North, living and working in the difficult climatic and geographical conditions of the Arctic zone of the Russian Federation.

KEYWORDS: climate treatment, Arctic and Subarctic climate zones of Russia, Arctic, habitat

For citation: Bobrovnitskii I.P., Nagornev S.N., Parfenov A.A., Grishechkina I.A., Yakovlev M.Yu., Marchenkova L.A., Popov A.I., Semenova I.V., Guryevskaya E.A., Gorelikova O.N., Zubareva N.N. Development Prospects for the Arctic and Subarctic Climate Zones of the Russian Federation: a Review. 2025; 24(4):19–31. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-19-31> (In Russ.).

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

Received: 28.02.2025

Accepted: 04.06.2025

Published: 16.08.2025

ВВЕДЕНИЕ

Потребность в новых природных энергоресурсах для развития промышленности и транспорта привела миллионы людей за последнее столетие из других, в том числе южных регионов в арктическую и субарктическую зоны Российской Федерации (РФ), которые территориально относятся к зоне северной Евразии. Нельзя относить климатические особенности арктической и субарктической зон к однозначно неблагоприятным [1–4]. На таких обширных территориях имеются районы с природными лечебными факторами, доступными как круглый год, так и сезонно, которые можно использовать для оздоровления жителей арктических регионов [5, 6].

В настоящее время продолжается поиск территорий, обладающих природными лечебными ресурсами, к которым в соответствии с действующими нормативно-

правовыми актами отнесены: минеральные воды, лечебные грязи, имеющие лечебные свойства полезные ископаемые и специфические минеральные ресурсы, лечебные природные газы, а также лечебный климат¹. В этой связи интересным и перспективным представляется рассмотрение возможностей арктических территорий РФ с точки зрения использующихся природных лечебных ресурсов, в рамках оздоровления.

¹ Федеральный закон от 4 августа 2023 г. № 469-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах», отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных положений законодательных актов Российской Федерации»

ЦЕЛЬ

Обобщить сведения о климатических особенностях арктической и субарктической зон (климатических поясов), их влиянии на организм человека, имеющихся природных лечебных ресурсах, включая возможности их терапевтического воздействия.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА***Климатогеофизические факторы арктической зоны Российской Федерации***

Климат холодной зоны Земли или высоких широт в Северном полушарии охватывает арктический пояс с Центральной Арктикой и субарктический пояс с районами севернее и южнее полярного круга (60° 33') [7, 8]. Климат формируется под влиянием комплекса факторов, к которым относят низкие температуры, низкую абсолютную и высокую относительную влажность, ветровой режим [9, 10]. Так, максимальный подъем Солнца над горизонтом составляет на уровне 80-й параллели (Новая земля) всего 33°, на уровне 70-й параллели (Тикси) — 43°, на уровне 60-й параллели (Санкт-Петербург) — около 53° с долгой зимой до 18 часов 30 минут, а зимой — 5 часов 30 минут. В результате этого вся полярная и приполярная зоны имеют небольшой приток солнечного тепла [10–12]. На границе арктической зоны РФ летние температуры воздуха в среднем составляют 10 °С. Минимальные температуры в районе полюса холода (Якутия) — –70 °С, а у Южного полюса — –90 °С. Для арктического климата характерны частые метели, сильные ветры (до 40 м/с), резкие колебания атмосферного давления. Во время сильного ветра трение воздуха о поверхность снежных полей повышает ионизацию воздуха. Продолжительность теплого времени на полюсах составляет около 1 месяца, а на побережье — 2–3 месяца [13, 14]. Период ультрафиолетового дефицита или ультрафиолетовых сумерек продолжается большую часть года. Полная ультрафиолетовая ночь в холодной обитаемой зоне длится 3–4 месяца. В этой зоне несколько повышена космическая радиация, часто возникают магнитные бури, полярные сияния [10].

Качество окружающей среды в арктической и субарктической зонах РФ также неоднородно, с наличием приоритетных загрязнителей в определенных районах, что обуславливает ряд заболеваний у коренного и пришлого населения на данных территориях [15–17].

Заболеваемость населения в арктической зоне Российской Федерации

Климатофизиология человека в географических условиях полярной и приполярной зон имеет свои особенности. Люди, долго живущие в арктической зоне, постепенно привыкают к своеобразному световому режиму и другим климатическим факторам, но многие исследователи при обследовании здоровых лиц приходят к выводу, что для проживающих в климате холодной зоны характерны удлинение периодов возбуждения и перевозбуждения центральной нервной системы в периоды полярного дня и ночи, склонность к гипотонии, брадикардии и увеличению основного обмена [18]. У жителей в арктической климатической зоне возникает ряд физиологически неблагоприятных симптомов или состояний, таких как гиподинамия, гиповитаминозы, микроэлементозы, гиперлипидемия, гипогликемия, гипоксия, имму-

нодефициты, гипертония в малом и большом кругах кровообращения, десинхронозы, сезонная депрессия, снижение физической работоспособности на холоде. Описаны специфические состояния, к которым относят циркумполярный гипоксический синдром, полярную одышку, синдром полярного напряжения, полярный адаптивный метаболический тип и др. [13, 18, 19].

Для арктической и субарктической климатических зон РФ характерны более высокие уровни заболеваемости и смертности населения. Среди населения чаще встречаются болезни системы кровообращения и органов дыхания, костно-мышечной и нервной систем, органов пищеварения, поражения зубов (кариес) и костей (рахит, остеопороз), медленное заживление ран, а также осложнения при беременности и тяжелое течение родов [13, 20].

У лиц, работающих в высоких широтах заболеваемость выше, чем у работающих в средней полосе России. При этом заболевания начинаются в относительно молодом возрасте, протекают тяжелее, острые формы болезней чаще переходят в хронические, выше риск появления сердечно-сосудистых заболеваний, чаще и в более раннем возрасте наблюдаются летальные исходы [13, 21–28]. В субъектах арктической зоны РФ чаще, чем в других регионах выявлен метаболически обусловленный диабет. Он носит транзиторный характер и легко может формировать клинические проявления сахарного диабета второго типа [29, 30].

Установлено, что у приезжих в арктическую зону РФ жителей чаще встречаются не только болезни органов дыхания, протекающие с определенными клиническими особенностями [31], но и происходит глубокая перестройка иммунной защиты на фоне чрезмерных требований, предъявляемых к организму. На фоне снижения иммунологической реактивности создаются условия для развития различных патологических процессов (общая онкологическая и инфекционно-воспалительная заболеваемость значительно выше у пришлого населения по сравнению с коренным) [32].

География арктической и субарктической климатических зон Российской Федерации

Арктическая и субарктическая климатические зоны РФ — это северная оконечность Европейской и Азиатской частей РФ, включающая в себя регионы, расположенные за Полярным кругом и в прилегающих северных широтах, расположенных вдоль побережья морей Северного Ледовитого океана: Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Площадь этого региона составляет порядка 2,2 миллионов квадратных километров, включающих 9 субъектов РФ. Эти регионы характеризуются суровым климатом, вечной мерзлотой и уникальной экосистемой [33].

Распространенность участков суши на большой площади позволяет арктической и субарктической климатическим зонам РФ захватывать несколько природных зон. Каждая из зон обладает своими характерными особенностями климата и растений [34–39].

На рисунке 1 представлены арктические и субарктические климатические зоны РФ, а также сектора этих поясов, отличающиеся по комплексу метеорологических элементов. Таблица 1 представляет основные климатические характеристики этих зон.

Таблица 1. Климатические характеристики арктической и субарктической зон Российской Федерации по сравнению с зонами умеренно-континентального климата
Table 1. Climatic features of the Arctic and Subarctic zones of the Russian Federation in comparison with the zones of temperate continental climate

Климатические пояса / Climate zones	Климатические области / Climatic regions	Качественная характеристика / Qualitative characteristics	Суммарная солнечная радиация (МДж/кв м год) / Total solar radiation (MJ/sq m year)	Сумма температур воздуха выше 10 °С / The sum of air temperatures is above 10 °C	Средняя годовая разность осадков и испаряемости (мм) / Average annual difference between precipitation and evaporation (mm)	Растительность (преобладающая) / Vegetation (predominant)
Арктический / Arctic	Атлантическая / Atlantic	Умеренно холодная / Moderately cold	2500	—	—	Тундровая / Tundra
Субарктический / Subarctic	Атлантическая / Atlantic	Умеренно холодная влажная / Moderately cold and humid	2700	200	> 200	Тундровая и лесотундровая / Tundra and forest-tundra
Умеренный / Moderate	Атлантико-арктическая / Atlantic-Arctic	Умеренно теплая, избыточно влажная / Moderately warm, excessively humid	3150–3350	800–1400	> 200	Таежная / Taiga
Умеренный / Moderate	Атлантико-континентальная европейская (лесная) / Atlantic-Continental European (forest)	Умеренно теплая, умеренно влажная / Moderately warm, moderately humid	3350–4200	1600–2400	100–200	Южнотаежная-лесостепная / Southern taiga-forest-steppe
Умеренный / Moderate	Континентальная западно-сибирская северная и центральная / Continental West Siberian Northern and Central	Умеренно теплая влажная / Moderately warm, humid	3150–4000	1000–1800	0–200	Таежная и подтаежная / Taiga and subtaiga



Рис. 1. Климатические зоны в пределах западной части евразийского континента на территории Российской Федерации (розовый и светло-фиолетовый цвета обозначают территории, входящие в арктическую климатическую зону Европейской и Азиатской частей Российской Федерации, светло-голубой цвет обозначает арктическую климатическую зону Европейской и Азиатской частей Российской Федерации, штриховкой обозначены зоны, потенциально подходящие для санаторно-курортного лечения пациентов)

Fig. 1. Climatic zones within the western part of the Eurasian continent on the territory of the Russian Federation (pink and light purple colors indicate territories included in the Arctic climate zone of the European and Asian parts of the Russian Federation, light blue color indicates the Arctic climate zone of the European and Asian parts of the Russian Federation, hatching indicates zones potentially suitable for health-resort treatment of patients)

Характеристика субарктической зоны Российской Федерации

Субарктический пояс (субарктическая зона РФ) — географический пояс в Северном полушарии, границы которого проходят вдоль арктического пояса на севере и умеренного пояса на юге.

Субарктический пояс — это регион в северном полушарии, расположенный непосредственно на юге от Арктики, занимающий части Аляски, Канады, Исландии, Скандинавии, Сибири и Шетландских островов. Лежит примерно между 60° и 70° северной широты.

К субарктическому поясу относятся территории РФ, расположенные за Полярным кругом в пределах Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири, а на северо-востоке все территории — к северу от 60° северной широты.

Ландшафт местности выражен горами, равнинами, болотистыми низинами и многочисленными озерами и реками. Растительный покров располагается очагами. Преобладают в данной местности лишайники и мхи в укрытых от ветров участках. Они и покрывают 1–3 % почв в зоне ледяных пустынь и до 65 % на границе тундр. На севере арктических пустынь обитают преимущественно лишайники: *Cladonia thomsonii* и др., *Nephroma parile*, *Parmelia fraudans*, *Parmelia saxatilis* и др., *Hypnales* и *Sphagnopsida* мхи. Отдельно можно выделить такие растения, как водоросли. Их насчитывают до 150 видов, они занимают подводные площади северных морей и Ледовитого океана. Некоторые из подводных разно-

видностей, например, *Laminaria*, известная как «морская капуста», имеют хозяйственное значение [35].

В субарктической зоне РФ преобладают тундры и лесотундры. В более холодной северной части выделяется тундровая зона (тундра), а в более теплой южной — лесотундровая зона (лесотундра). Лесной фонд составляет 371,9 миллионов гектаров, лесные земли — 296,2 миллионов гектаров, покрытая лесом территория — 273,6 миллионов гектаров. Красная книга России содержит следующие виды растений: *Anemone baicalensis*, *Megadenia rugmaea*, *Cypripedium macranthos*.

В данных зонах преобладает умеренно континентальный климат [11, 13]. Климат отличается продолжительной зимой, обильными осадками и нетипичным течением времен года. Для этих местностей не свойственна повсеместная вечная мерзлота. Продолжительность солнечного сияния составляет в среднем 50–170 дней в зависимости от регионов.

К востоку от Урала в арктической зоне РФ метеорологические элементы становятся более стабильными. Особенностью внутриконтинентальных участков арктической зоны РФ является высокая стабильность барических показателей (атмосферного давления), в связи с чем климат данных областей благоприятен для пациентов с болезнями системы кровообращения.

Особенностью западного сектора арктической зоны РФ является близость Баренцева моря, которая усиливает влияние теплового североатлантического тече-

ния. Температурный диапазон зимой составляет от –6 до –30 °С. Ветер носит муссонный характер: зимой приходят южные ветра с материка, тем самым принося сухую морозную погоду, а летом приходят северные ветра от Баренцева моря, в результате которых повышается влажность воздуха и стоит прохладная погода. Температурный диапазон в летний период составляет от +12 до +16 °С с максимальным зафиксированным значением +29 °С. Осадки различной интенсивности выпадают круглый год, распределяясь неравномерно. Тем самым сочетание низких температур, сильных ветров, осадков и повышенной влажности делает климат суровым, усиливая ощущение мороза. Высокая влажность обуславливает высокую частоту бронхолегочных, ревматологических и прочих заболеваний.

Поэтому основными лечебно-оздоровительными факторами в данном климатическом поясе выступают минеральные воды и кремнистые термальные источники, последние расположены в Магаданской области и представлены кремнистыми термальными водами хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатными натриевыми, используемыми наружно.

В арктической зоне находятся такие месторождения минеральных вод, как Янейтивисское (г. Воркута), Команюрское (г. Усинск), Марциальные воды (республика Карелия) и т. д. Группа источников Пым-Ва-Шор, расположенная на территории Ненецкого автономного округа, содержит 8 источников с температурой +18–+28 °С

и представлена слаботермальными маломинерализованными хлоридно-натриевыми водами. В Юганском районе Ханты-Мансийского автономного округа — Югра вскрыты йодобромные хлоридно-натриевые средне- и высокоминерализованные воды, использующиеся для бальнеологического применения. В Приморском районе Архангельской области функционируют скважины с сульфатно-хлоридными кальциево-натриевыми лечебно-столовыми и высокоминерализованными хлоридными кальциево-натриевыми водами для наружного применения. На старейшем курорте России «Марциальные воды», расположенном в Республике Карелия, добываются лечебно-столовые гидрокарбонатно-сульфатные магниевые-кальциевые железистые воды.

В арктическом поясе, включающем в себя атлантическую, сибирскую и тихоокеанскую территории, а также территории внутриарктической области, отсутствуют зарегистрированные санатории согласно данным государственного реестра курортного фонда РФ. В субарктическом поясе также санаторно-курортная деятельность не осуществляется [37–39].

Географический пояс в Северном полушарии, который обладает лечебно-оздоровительными факторами и является бальнеологически значимым, — это атлантико-арктическая область умеренного пояса [38–42]. В данных географических широтах осуществляют свою деятельность санаторно-курортные организации [36]. Сведения о них представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сведения о санаториях зон арктической и субарктической зон Российской Федерации [36]

Table 2. Information about sanatoriums in the Arctic and Subarctic zones of the Russian Federation [36]

Наименование / Name	Место расположения / Location	Природные лечебные ресурсы / Natural therapeutic resources
ООО «Санаторий «Марциальные воды» / Martial Waters Sanatorium, LLC	Республика Карелия, Кондопожский район, пос. Марциальные воды / The Republic of Karelia, Kondopoga district, Marcial Waters village	Минеральная вода (железистая сульфатная гидрокарбонатная магниевое-кальциевая, слабокислая) / Лечебная грязь (пресноводная слабосульфидная высокозолевая сапропелевая) / Mineral water (ferrous sulfate hydrocarbonate magnesium-calcium, slightly acidic) / Therapeutic mud (freshwater low-sulfide high-ash sapropelic)
АО «Лечебно-профилактическое учреждение естественного оздоровления «Клиника Кивач» / Kivach Clinic Medical and Preventive Institution of Natural Rehabilitation, Joint Stock Company (JSC)	Республика Карелия / The Republic of Karelia	Лечебный климат (умеренно континентальный) / Therapeutic climate (temperate continental)
АО «Санаторий «Белые ключи» / Belye Klyuchi Sanatorium, JSC	Республика Карелия, г. Петрозаводск / The Republic of Karelia, Petrozavodsk	Минеральная вода (слабоуглекислая маломинерализованная минеральная сульфатно-гидрокарбонатная кальциевая с повышенным содержанием кремниевой кислоты, слабокислая) / Лечебная грязь (пресноводная слабосульфидная высокозолевая сапропелевая) / Лечебный климат (умеренно континентальный) / Mineral water (weakly carbonated, low-mineralized mineral sulfate-hydrocarbonate calcium with a high content of silicic acid, slightly acidic) / Therapeutic mud (freshwater, low-sulfide, high-ash sapropelic) / Therapeutic climate (moderate continental)

Наименование / Name	Место расположения / Location	Природные лечебные ресурсы / Natural therapeutic resources
ГАУ РК «Санаторий «Серёгово» / Seregovo Sanatorium	Республика Коми, Княжпогостский район, с. Серёгово / The Republic of Komi, Knyazhpogostsky district, Seregovo village	Минеральная вода (хлоридный натриевый бромный, борный рассол, слабокисло-нейтральный) Лечебная грязь (пресноводная сульфидная сапропелевая) Лечебный климат (умеренно континентальный) / Mineral water (chloride sodium bromine, boric brine, slightly acidic-neutral) Therapeutic mud (freshwater sulphide sapropel) Therapeutic climate (temperate continental)
ГАУ РК «Санаторий «Лозым» / Lozym Sanatorium	Республики Коми, с. Пажга / The Republic of Komi, Pazhga village	Минеральная вода (хлоридная гидрокарбонатная без специфических компонентов) Лечебная грязь (иловая сульфидная), слабощелочная / Mineral water (chloride hydrocarbonate without specific components) Therapeutic mud (silt sulphide), slightly alkaline
ГБУЗ РК «Детский санаторий «Кедр» / Kedr Sanatorium for Children	Республики Коми, г. Сосногорск / The Republic of Komi, Sosnogorsk	Лечебная грязь сульфатной (хлоридно-сульфатной, гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатной (магниево-натриевой) слабощелочной) реакции водной среды / Therapeutic mud (sulphate (chloride-sulphate, hydrocarbonate-chloride-sulphate (magnesium-sodium) slightly alkaline) reaction of the water environment)
Санаторий-профилакторий «Жемчужина Севера» / Pearl of the North Sanatorium and Preventive Care Center	Республики Коми, г. Ухта / The Republic of Komi, Ukhta	Лечебная грязь (гидрокарбонатная магниево-кальциевая нейтральная) / Therapeutic mud (hydrocarbonate magnesium-calcium neutral)
Санаторий-профилакторий «Шахтер» / Shakhter Sanatorium and Preventive Care Center	Республика Коми, г. Ухта / The Republic of Komi, Ukhta	Лечебная грязь (иловая сульфидная среднесульфидная, слабощелочная) / Therapeutic mud (silt sulphide, medium sulphide, slightly alkaline)
Санаторий-профилакторий ЛПО АО «СЛПК» / SLPK Sanatorium and Preventive Care Center, JSC	Республика Коми, г. Сыктывкар / The Republic of Komi, Syktyvkar	Минеральная вода (сульфатно-хлоридная (хлоридная) натриевая, йодная, бромная нейтральная) Лечебная грязь (сульфидно-иловая, слабосульфидная) / Mineral water (sulfate-chloride (chloride) sodium, iodine, bromine neutral) Therapeutic mud (sulfide-silt, low-sulfide)
Санаторное детское отделение ГБУЗ РК «РПТД» / RPTD Children's department of sanatorium of the Republic of Karelia	Республика Коми, г. Сыктывкар / The Republic of Komi, Syktyvkar	Минеральная вода (хлоридно-гидрокарбонатная натриевая без специфических компонентов и свойств) / Mineral water (sodium chloride-hydrocarbonate without specific components and properties)
Санаторий-профилакторий Федерального государственного учреждения высшего образования «СГУ имени Питирима Сорокина» / Sanatorium and Preventive Care Center of Pitirim Sorokin Syktyvkar State University	Республика Коми, г. Сыктывкар / The Republic of Komi, Syktyvkar	Минеральная вода (хлоридно-гидрокарбонатная натриевая без специфических компонентов и свойств) / Mineral water (sodium chloride-hydrocarbonate without specific components and properties)
ГАУЗ АО «Санаторий «Сольвычегодск» / Solvychevodsk Sanatorium	Архангельская область, Котласский район, г. Сольвычегодск / Arkhangelsk region, Kotlassky District, Solvychevodsk	Минеральная вода (сульфатно-хлоридная натриевая, слабощелочная) Лечебная грязь (сульфатная кальциево-натриевая нейтральная) / Mineral water (sodium sulfate-chloride, slightly alkaline) Therapeutic mud (neutral calcium-sodium sulfate)

Наименование / Name	Место расположения / Location	Природные лечебные ресурсы / Natural therapeutic resources
Лечебно-профилактическое учреждение «Санаторий «Солони́ха» / Solonikha Sanatorium Medical and Preventive Institution	Архангельская область, Красноборский район / Arkhangelsk region, Krasnoborsk district	Минеральная вода (сульфатно-хлоридная натриевая слабощелочная) Лечебная грязь (пресноводный бессульфидный среднесольный торф) / Mineral water (sodium sulfate-chloride weakly alkaline) Therapeutic mud (freshwater sulfide-free medium-ash peat)
ООО «Беломорье 2021» / Belomorje 2021, LLC	Архангельская область, г. Архангельск / Arkhangelsk region, Arkhangelsk	Лечебный климат (умеренно континентальный, равнинный) Лечебная грязь (низкоминерализованная, слабо-сульфидная, высокозольная глинистая сапропелевая) Минеральная вода (сульфатная хлоридно-кальциево-натриевая, слабощелочная) / Therapeutic climate (moderate continental, flat) Therapeutic mud (low-mineralized, low-sulphide, high-ash clayey sapropelic) Mineral water (sulphate chloride-calcium-sodium, slightly alkaline)
ГБУЗ АО «Санаторий имени М.Н. Фаворской» / M.N. Favorskaya Sanatorium, Joint Stock Company (JSC)	Архангельская область, г. Красноборск / Arkhangelsk region, Krasnoborsk	Минеральная вода (сульфатная хлоридная натриевая) Лечебный климат (умеренно континентальный, лесная зона) / Mineral water (sodium sulphate chloride) Healing climate (temperate continental, forest zone)
Санаторий-профилакторий «Жемчужина Севера» / Pearl of the North Sanatorium and Preventive Care Center	Архангельская область, г. Новодвинск / Arkhangelsk region, Novodvinsk	Минеральная вода (хлоридно-сульфатная кальциево-натриевая слабощелочная) / Mineral water (chloride-sulphate calcium-sodium weakly alkaline)
ООО «Санаторий «Лапландия» / Lapland Sanatorium, LLC	Мурманская область, п.г.т. Мурмаши / Murmansk region, Murmashi town settlement	Минеральная вода (хлоридная натриевая йодобромная) / Mineral water (sodium chloride iodine-bromine)
ООО «Санаторий-профилакторий «Ковдорский» / Kovdorsky Sanatorium and Preventive Care Center, LLC	Мурманская область, г. Ковдор / Murmansk region, Kovdor	Лечебная грязь (сапропелевая) / Therapeutic mud (sapropel)
ООО «Санаторно-оздоровительный комплекс «Тирвас» / Tirvas Health Resort Complex, LLC	Мурманская область, г. Кировск / Murmansk Region, Kirovsk	Лечебная грязь (сапропелевая пресноводная бессульфидная) / Therapeutic mud (sapropelic freshwater sulphide-free)
ООО СГК «Изовела» / SGK Izovela, LLC	Мурманская область, г. Апатиты / Murmansk region, Apatity	Минеральная вода (маломинерализованная хлоридная натриевая) Лечебная грязь (пресноводная слабосульфидная высокозольная сапропелевая) / Mineral water (low-mineralized sodium chloride) Therapeutic mud (freshwater low-sulfide high-ash sapropel)
Санаторий-профилакторий «Кольский» ООО «Колабыт» / Kolsky Sanatorium and Preventive Care Center, LLC	Мурманская область, г. Мончегорск / Murmansk Region, Monchegorsk	Минеральная вода (маломинерализованная хлоридная натриевая) Лечебная грязь (пресноводная бессульфидная сапропелевая) Лечебный климат (умеренно континентальный, низкогорные районы, лесная зона) / Mineral water (low-mineralized sodium chloride) Therapeutic mud (freshwater sulphide-free sapropel) Therapeutic climate (temperate continental, low-mountain regions, forest zone).

Наименование / Name	Место расположения / Location	Природные лечебные ресурсы / Natural therapeutic resources
Санаторий-профилакторий «Олкон» АО «Оленегорский горно-обогатительный комбинат» / Olkon Sanatorium and Preventive Care Center of Olenegorsk Mining and Processing Plant, JSC	Мурманская область, г. Оленегорск / Murmansk Region, Olenegorsk	Нет собственного природного лечебного ресурса / There is no own natural healing resource
Санаторий-профилакторий филиал Кольской атомной электростанции филиала АО «Концерн Росэнергоатом» / Sanatorium and Preventive Care of Olenegorsk Mining and Processing Plant branch of Kola Nuclear Power Plant branch of Rosenergoatom Concern, JSC	Мурманская область, г. Полярные Зори / Murmansk region, Polyarnye Zori	Лечебная грязь (низкоминерализованная слабосульфидная иловая) / Therapeutic mud (low-mineralized, weakly sulphide silt)

Перспективы развития отдельных климатических зон Арктики и Субарктики

Климат арктической и субарктической зон РФ в отдельных континентальных регионах благоприятен для пациентов с болезнями системы кровообращения, при этом непосредственно лечение возможно в относительно короткий летний период и ясные морозные дни при температуре воздуха выше -10 °C. Данный вид лечения, как и использование природных лечебных ресурсов, наиболее востребован среди местного населения в виду его низкой себестоимости и среди пациентов с хроническими заболеваниями, а также среди лиц, обладающих низкими адаптационными возможностями, у которых смена климата региона постоянного проживания на более теплый оказывает неблагоприятное влияние на организм [41, 42]. Кроме того, согласно данным ряда авторов, санаторно-курортное лечение позволяет снизить негативное влияние гео-климатических факторов как на организм коренного населения, так и на организм пришлого населения: рабочих, работающих вахтовым методом на промышленных, нефтедобывающих и прочих предприятиях [15, 17, 31, 37, 38].

В арктической и субарктической зонах РФ проживает несколько миллионов человек, численность которых в ближайшее время в связи с освоением природ-

ных ресурсов и Северного морского пути будет только увеличиваться и которые в силу специфических климатогеофизических факторов испытывают огромную нагрузку на адаптационные системы организма и трудятся в тяжелых экстремальных условиях. Представляется перспективным использование природных лечебных ресурсов, добываемых в приполярных районах, и поиск новых лечебно-оздоровительных местностей, потенциально пригодных для добычи природных лечебных ресурсов с целью их дальнейшего использования для здоровьесбережения коренного и пришлого населения РФ [43].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отдельные регионы, расположенные в арктической и субарктической климатических зонах РФ, обладают природными лечебными ресурсами, использование которых в перспективе позволит удовлетворить существующую высокую потребность в оздоровлении граждан после перенесенных заболеваний, а также профилактики неблагоприятного воздействия факторов среды обитания (физических, химических, биологических, социальных) у населения, проживающего и работающего в сложных климатогеографических условиях арктической зоны Российской Федерации, включая малочисленные коренные народы Севера.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Игорь Петрович Бобровицкий, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заместитель начальника Филиала № 2 по научной работе, Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневского Минобороны России; главный научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии, Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии; член отделения «Медицин-

ские науки», член секции «Профилактическая медицина», Институт медико-биологических проблем Российской академии наук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1805-4010>

Сергей Николаевич Нагорнев, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры физической и реабилитационной медицины с курсом клинической психологии и педагогики, Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-1440>

Андрей Анатольевич Парфёнов, кандидат технических наук, начальник отдела разработки проектов округов санитарной (горно-санитарной) охраны, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5761-1780>

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

E-mail: grishechkinaia@nmcirk.ru;

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

Яковлев Максим Юрьевич, доктор медицинских наук, заместитель директора по стратегическому развитию медицинской деятельности, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, профессор кафедры общей гигиены, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5260-8304>

Марченкова Лариса Александровна, доктор медицинских наук, руководитель научно-исследовательского управления, заведующий отделом 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>

Андрей Иванович Попов, кандидат медицинских наук, врач-рефлексотерапевт, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0614-8116>

Ирина Владимировна Семенова, научный сотрудник отдела изучения механизмов действия физических факторов, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8227-9962>

Екатерина Алексеевна Гурьевская, научный сотрудник отдела изучения механизмов действия физических факторов, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8048-5754>

Ольга Николаевна Гореликова, научный сотрудник отдела изучения механизмов действия физических факторов, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2031-6582>

Зубарева Наталия Николаевна, доктор экономических наук, доцент, директор, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4872-3377>

Вклад авторов. Авторы данного исследования 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: Бобровницкий И.П. — научное обоснование, методология, проверка и редактирование рукописи; Нагорнев С.Н. — курирование проекта, руководство проектом; Парфёнов А.А. — обеспечение материалов для исследования; Гришечкина И.А. — написание черновика рукописи; Яковлев М.Ю. — анализ данных, научное обоснование, финансирование проекта; Марченкова Л.А. — проверка и редактирование рукописи; Попов А.И. — верификация данных; Семенова И.В. — проведение исследования, курация данных; Гурьевская Е.А. — визуализация, программное обеспечение; Гореликова О.Н. — анализ данных, проведение исследования, Зубарева Н.Н. — научное обоснование, руководство проектом.

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

Конфликт интересов. Авторы статьи: Бобровницкий И.П. — заместитель начальника Филиала № 2 по научной работе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневого» Минобороны России, Парфёнов А.А. — начальник отдела разработки проектов округов санитарной (горно-санитарной) охраны ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России, Марченкова Л.А. — руководитель научно-исследовательского управления ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России, председатель редакционного совета журнала «Вестник восстановительной медицины», Яковлев М.Ю. — заместитель директора по стратегическому развитию медицинской деятельности ФГБУ «НМИЦ реабилитации и курортологии» Минздрава России, член редакционной коллегии журнала «Вестник восстановительной медицины», Зубарева Н.Н. — директор ФГБУ «НМИЦ реабилитации и курортологии» Минздрава России, главный редактор журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные авторы заявляют отсутствие конфликта интересов.

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

ADDITIONAL INFORMATION

Igor P. Bobrovnikskii, D.Sc. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Head of Branch No. 2 for Research, National Medical Research Center of Surgery named after A. Vishnevsky; Chief Researcher of the Laboratory of Physical-Chemical and Environmental Pathophysiology, Institute of General Pathology and Pathophysiology; Member of the Department of Medical

Sciences, Member of the Section of Preventive Medicine, State Scientific Center of the Russian Federation, Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1805-4010>

Sergey N. Nagornev, D.Sc. (Med.), Professor, Professor at the Department of Physical and Rehabilitation Medicine with a Course in Clinical Psychology and Pedagogy, Central State

Medical Academy of the Administrative Directorate of the President of the Russian Federation.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-1440>

Andrey A. Parfenov, Ph.D. (Eng.), Head of the Department for the Development of Sanitary (Mountain-Sanitary) Protection District Projects, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5761-1780>

Irina A. Grishechkina, Ph.D. (Med.), Senior Researcher, Department for the Study of the Mechanisms of Action of Physical Factors, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

E-mail: grishechkinaia@nmcirk.ru;

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

Maxim Yu. Yakovlev, D.Sc. (Med.), Deputy Director for Strategic Development of Medical Activities, 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>

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

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

Andrey I. Popov, Ph.D. (Med.), Reflexologist, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0614-8116>

Irina V. Semenova, Research Fellow, Department of Studying the Mechanisms of Action of Physical Factors, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8227-9962>

Ekaterina A. Guryevskaya, Research Fellow, Department of Studying the Mechanisms of Action of Physical Factors, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8048-5754>

Olga N. Gorelikova, Researcher, Department of Study of Mechanisms of Action of Physical Factors, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2031-6582>

Natalia N. Zubareva, D.Sc. (Econ.), Docent, Director, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4872-3377>

Author Contributions. All authors acknowledge authorship according to the ICMJE international criteria (all authors made significant contributions to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Bobrovnikskii I.P. — conceptualization, methodology, writing — review & editing; Nagornev S.N. — supervision, project administration; Parfenov A.A. — resources; Grishechkina I.A. — writing — original draft; Yakovlev M.Yu. — formal analysis, conceptualization, funding acquisition; Marchenkova L.A. — writing — review & editing; Popov A.I. — validation; Semenova I.V. — investigation, data curation; Guryevskaya E.A. — visualization, software; Gorelikova O.N. — formal analysis, investigation, Zubareva N.N. — scientific substantiation, project management.

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

Disclosure. Authors of the article: Bobrovnikskii I.P. — Deputy Head of Branch No. 2 for Scientific Work, National Medical Research Center of Surgery named after A. Vishnevsky, Parfenov A.A. — Head of the Department for the Development of Projects for Sanitary (Mountain-Sanitary) Protection Districts of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Marchenkova L.A. — Head of the Research Department of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Chair of the Editorial Council of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal, Yakovlev M.Yu. — Deputy Director for Strategic Development of Medical Activities of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Member of Editorial Board of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal, Zubareva N.N. — Director of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Editor-in-Chief of the journal 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

- Бедрицкий А.И., Дмитриев В.Г. Итоги МПГ 2007/08 и перспективы российских полярных исследований. Москва: Паулсен. 2013; 224. [Bedrickij A.I., Dmitriev V.G., Chilingarov A.N. Results of IPY 2007/08 and prospects for Russian polar research. Moscow: Paulsen. 2013; 224 (In Russ.)]
- Альбанов В.И. На юг, к Земле Франца-Иосифа! Москва: Паулсен. 2023; 272 [Al'banov V.I. To the South, to Franz Josef Land. Moscow: Paulsen. 2023; 272 (In Russ.)]
- Волович В.Г. Полярные дневники участника секретных полярных экспедиций 1949–1955 гг. Москва: Паулсен. 2023; 544. [Volovich V.G. Polar diaries of a participant in the Northern Polar Expeditions of 1949–1955. Moscow: Paulsen. 2023; 544 (In Russ.)]
- Емелина М.А. Летопись Арктического института: от Севэкспедиции до ГНЦ РФ ААНИИ, 1920–2020 гг.: История полярных исследований в 2 томах. Москва: Паулсен. 2021; 904. [Emelina M.A., Savinov M.A., Filin P.A. Chronicle of the Arctic Institute: from the Northern Expedition to the State Research Center of the Russian Federation AARI, 1920–2020. Moscow: Paulsen. 2021; 904 (In Russ.)]
- Филин П.А. История исследования и освоения Арктики через призму истории Арктического и Антарктического научно-исследовательского института. Полярные чтения на ледоколе «Красин». Москва: Паулсен. 2020; 230–255. [Filin P.A. The history of the exploration and development of the Arctic viewed from the perspective of the history of the Arctic and Antarctic Research Institute. Polar readings on the icebreaker Krasin. Moscow: Paulsen. 2020; 230–255 (In Russ.)]
- Тихонов Д.Г. Арктическая медицина. Российская академия медицинских наук. Сибирское отделение. Якутский научный комплексный центр медицинских проблем. 2010; 4(36): 124. [Tihonov D.G. Arctic medicine. Ross. acad. honey. Sciences, Sib. department, Yakut. scientific complex medical center problems. Yakutsk: Publishing house YANTS SB RAS. 2010; 4(36):124 (In Russ.)]
- Хаснулин В.И., Артамонова В.М., Хаснулин П.В. Реальное состояние здоровья жителей высоких широт в неблагоприятных климатогеографических условиях Арктики и показатели официальной статистики здравоохранения. Международный журнал прикладных фундаментальных исследований. 2015; 9(1): 68–73 [Khasnulin V.I., Artamonova V.M., Khasnulin P.V. The real state of health of residents of high latitudes

- in unfavorable climatic and geographical conditions of the Arctic and indicators of official health statistics. *International Journal of Applied Fundamental Research*. 2015; 9(1): 68–73 (In Russ.).]
8. Козлов А.И., Козлова М.А., Вершубская Г.Г., Шилов А.Б. Здоровье коренного населения Севера Российской Федерации: на стыке веков и культуры. Пермь: Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет. 2013; 206. [Kozlov A.I., Kozlova M.A., Vershubskaya G.G., Shilov A.B. Health of the indigenous population of the North of the Russian Federation: on the edge of centuries and cultures. Perm: Perm State Humanitarian and Pedagogical University. 2013; 206 (In Russ.).]
 9. Глазов К.Н. Факторы риска здоровью населения Российской Арктики: концептуальный подход. Риск: ресурсы, информация, предложение, конкуренция. 2016; 1: 119–123. [Glazov K.N. Health risk factors for the population of the Russian Arctic: a conceptual approach. Risk: resources, information, supply, competition. 2016; 1: 119–123 (In Russ.).]
 10. Гудков А.Б., Ермолин С.П., Попова О.Н., Сарычев А.С. Функциональные изменения системы внешнего дыхания у военнослужащих в Арктике в контрастные сезоны года. Экология человека. 2014; 21(6): 3–7. <https://doi.org/10.17816/humeco17225> [Gudkov A.B., Ermolin S.P., Popova O.N., Sarychev A.S. Functional changes in the external respiratory system of military personnel in the Arctic in contrasting seasons of the year. Human Ecology. 2014; 21(6): 3–7. <https://doi.org/10.17816/humeco17225> (In Russ.).]
 11. Гудков А.Б. Новоселы Европейского Севера. Физиолого-гигиенические аспекты. Архангельск: Изд-во СГМУ. 2012; 285. [Gudkov A.B. New settlers in the European North. Physiological and hygienic aspects. Arkhangelsk: Publishing house of the SSMU. 2012; 285 (In Russ.).]
 12. Чашин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н. и др. Характеристика основных факторов риска ухудшения здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике. Экология человека. 2014; 21(1): 3–12. <https://doi.org/10.17816/humeco17269> [Chashchin V.P., Gudkov A.B., Popova O.N., et al. Description of main health deterioration risk factors for population living on territories of active natural management in the arctic. Human Ecology, 2014; 21(1): 3–12. <https://doi.org/10.17816/humeco17269> (In Russ.).]
 13. Sapunov V. Temperature in the Arctic and the Antarctic: The Differently Directed Trends. *Handbook of Research on International Collaboration, Economic Development, and Sustainability in the Arctic*. 2019; 12. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-6954-1.ch019>
 14. Хаснулин В.И., Хаснулин П.В. Современные представления о механизмах формирования северного стресса у человека в высоких широтах. Экология человека. 2012; 19(1): 3–11. <https://doi.org/10.17816/humeco17512> [Hasnulin V.I., Hasnulin P.V. Modern concepts of the mechanisms forming northern stress in humans in high latitudes. Ekologiya cheloveka. Human Ecology. 2012; 19(1): 3–11. <https://doi.org/10.17816/humeco17512> (In Russ.).]
 15. Белишева Н.К., Петров В.Н. Проблема общественного здоровья в свете реализации стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации. Труды Кольского научного центра РАН. 2013; 6(19): 152–173. [Belisheva N.K., Petrov V.N. The problem of public health in the light of the implementation of the strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation. Proceedings of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. 2013; 6(19): 152–173 (In Russ.).]
 16. Hamilton L.C., Lammers R.B. Linking Pan-Arctic human and physical data. *Polar Geography*. 2011; 34(1–2): 107–123. <https://doi.org/10.1080/1088937X.2011.591962>
 17. Чашин В.П., Плахин И.Е. Планирование здравоохранения для населения, проживающего в Арктическом регионе Российской Федерации. Профилактическая и клиническая медицина. 2015; 3(56): 53–57. [Chashchin V.P., Plakhin I.E. Healthcare planning for the population residing in the Arctic region of the Russian federation. Preventive and Clinical Medicine. 2015; 3(56): 53–57 (In Russ.).]
 18. Мамаева Н.Л., Петров С.А. Влияние геоэкологических характеристик на состояние организма коренного населения Ямала. Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2013; 6: 158–165. [Mamaeva N.L., Petrov S.A. The influence of geoeological characteristics on the state of the organism of the indigenous population of Yamal. Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and nature management. 2013; 6: 158–165 (In Russ.).]
 19. Афтanas Л.И., Воевода М.И., Пузырев В.П., Мельников В.Н. Арктическая медицина в XXI веке. Известия Российской академии наук. 2015; 85(5–6): 501–506. [Aftanas L.I., Voevoda M.I., Puzyrev V.P., Mel'nikov V.N. Arctic Medicine in the 21st Century. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2015; 85(5–6): 501–506 (In Russ.).]
 20. Черешнев В.А. Социально-экологические приоритеты развития Арктической зоны Российской Федерации. Экология человека. 2011; 6: 3–4. [Chereshnev V.A. Social and ecological priorities for the development of the Arctic zone of the Russian Federation. Human ecology. 2011; 6: 3–4 (In Russ.).]
 21. Шаповалов К., Шаповалова П. Условия жизни членов экипажей судов северных рыбопромысловых бассейнов, влияющие на опорно-двигательный аппарат. Факторы риска производственного травматизма. Экз. Мар. Биол. Океан. 2019; 2(5): 60. <https://doi.org/10.31031/EIMBO.2019.02.000548> [Shapovalov K., Shapovalova P. Life Conditions of Members of Vessel's Crew of the Northern Fishing Basins, Affecting the Musculoskeletal System. Risk Factors for Occupational Traumatism. Examines Mar Biol Oceanogr. 2019; 2(5): 60. <https://doi.org/10.31031/EIMBO.2019.02.000548> (In Russ.).]
 22. Ким Л.Б. Транспорт кислорода при адаптации человека к условиям Арктики и кардиореспираторная патология. Новосибирск: Наука. 2015; 216. [Kim L.B. Oxygen transport during human adaptation to Arctic conditions and cardiorespiratory pathology. Novosibirsk: Science. 2015; 216 (In Russ.).]
 23. Гудков А.Б., Попова О.Н., Небученных А.А., Богданов М.Ю. Эколого-физиологическая характеристика климатических факторов Арктики. Обзор. Морская медицина. 2017; 3(1): 7–13. <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2017-3-1-7-13> [Gudkov A.B., Popova O.N., Nebuchennyh A.A., Bogdanov M.Y. Ecological and physiological characteristic of the arctic climatic factors. Review. Marine Medicine. 2017; 3(1): 7–13. <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2017-3-1-7-13> (In Russ.).]
 24. Кузнецова А.П. Особенности циркадного ритма артериального давления у больных артериальной гипертензией в условиях Севера. Вестник новых медицинских технологий. 2011; 18(3): 322–325. [Kuznetsova A.P. 2011. Features of the circadian rhythm of arterial pressure in patients with arterial hypertension in the conditions of the North. Bulletin of new medical technologies. 2011; 18(3): 322–325 (In Russ.).]
 25. Хаснулин В.И., Воевода М.И., Хаснулин П.В., Артамонова О.Г. Современный подход к артериальной гипертензии в циркулярных и арктических регионах. Обзор литературы. Экология человека. 2016; 23(3): 43–51. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-3-43-51> [Hasnulin V.I., Voevoda M.I., Hasnulin P.V., Artamonova O.G. Modern approach to arterial hypertension in the circumpolar and arctic regions. literature review. Ekologiya cheloveka. Human Ecology. 2016; 23(3): 43–51. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-3-43-51> (In Russ.).]
 26. Bhaskaran K., Hajat S., Haines A., et al. Short-term effects of temperature on risk of myocardial infarction in England and Wales: time series regression analysis of the Myocardial Ischaemia National Audit Project (MINAP) registry. *British Medical Journal*. 2010; 341: 3823. <https://doi.org/10.1136/bmj.c3823>
 27. Lopes R.A., Neves K.B., Tostes R.C., et al. 2 Downregulation of Nuclear Factor Erythroid 2-Related Factor and Associated Antioxidant Genes Contributes to Redox-Sensitive Vascular Dysfunction in Hypertension. *American Heart Association, Hypertension AHA*. 2015; 1–11.
 28. Takahashi H., Yoshika M., Komiyama Yu., Nishimura M. 2011. The central mechanism underlying hypertension: a review of the roles of sodium ions, epithelial sodium channels, the renin-angiotensin–aldosterone system, oxidative stress and endogenous digitalis in the brain. *Hypertension Research*. 2011; 34: 1147–1160.
 29. Panin L.E. Fundamental Problems of Polar and Arctic Medicine. *Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2013; 33(6): 5–10.
 30. Селятицкая В.Г. Глюкокортикоидные гормоны: от процессов адаптации к факторам среды обитания Севера до метаболических нарушений при сахарном диабете. Вестник СО РАМН. 2012; 1: 13–20. [Selyatickaya V.G. Glucocorticoid hormones: from adaptation processes to environmental

- factors of the north to metabolic disorders in diabetes. *Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2012; 1: 13–20 (In Russ.)]
31. Белишева Н.К., Петров В.Н. Проблема общественного здоровья в свете реализации стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации. Труды Кольского научного центра РАН. 2013; 6(19): 152–173. [Belisheva N.K., Petrov V.N. The problem of public health in the light of the implementation of the strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation. *Proceedings of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013; 6(19): 152–173 (In Russ.)]
 32. Томский М.И. Население промышленных регионов Якутии и «синдром полярного напряжения». *Экономика Востока России*. 2015; 1(3): 78–81. [Tomskij M.I. The population of industrial regions of Yakutia and the “Polar tension syndrome”. *Economy of the East of Russia*. 2015; 1(3): 78–81 (In Russ.)]
 33. Арктическая зона России. Социально-ответственное предпринимательство в Арктике. 2015–2025. Доступно на: <https://www.arctic-social.biz/> (Дата обращения: 24.03.2025). [Arctic Zone of Russia. Socially Responsible Entrepreneurship in the Arctic. 2015–2025. Available at: <https://www.arctic-social.biz/> (Accessed on: 24.03.2025) (In Russ.)]
 34. Лукин Ю.Ф. Российская Арктика в меняющемся мире: монография. Архангельск: ИПЦ САФУ. 2013; 284. [Lukin Yu.F. *Russian Arctic in a changing world: monograph*. Arkhangelsk: IPC NArFU. 2013; 284 (In Russ.)]
 35. Олейник А.А., Човган О.В. Первые находки *Protoperidinium laticeps* и *P. thulesense* (Dinophyta: peridinales) в морях Европейской Арктики. *Ботанический журнал*. 2021; 106(4): 397–404. <https://doi.org/10.31857/S0006813621040104> [Olejnik A.A., Chovgan O.V. First Finds of *Protoperidinium laticeps* and *P. thulesense* (Dinophyta: peridinales) in the Seas of the European Arctic. *Botanical Journal*. 2021; 106(4): 397–404. <https://doi.org/10.31857/S0006813621040104> (In Russ.)]
 36. Реестр курортного фонда Российской Федерации. Доступно на: <https://kurort.minzdrav.gov.ru> (Дата обращения: 24.03.2025). [State Register of the Resort Fund of the Russian Federation — a database of information on resorts, natural healing resources and health resort organizations. Available at: <https://kurort.minzdrav.gov.ru> (Accessed 24.03.2025) (In Russ.)]
 37. Фесюн А.Д. Современное состояние и перспективы развития санаторно-курортного комплекса Российской Федерации. *Вестник восстановительной медицины*. 2023; 22(1): 8–15. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-1-8-15> [Fesyun A.D. Current Status and Prospects for the Development of Health Resort Complex of the Russian Federation. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2023; 22(1): 8–15. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-1-8-15> (In Russ.)]
 38. Лимонов В.И., Парфёнов А.А., Жарков А.И., Федотова М.Ю. Природные лечебные ресурсы и факторы на территории курорта Синегорские Минеральные Воды. *Российский журнал экологической и восстановительной медицины*. 2023; 4: 22–25. [Limonov V.I., Parfyonov A.A., Zharkov A.I., Fedotova M.Yu. Natural healing resources and factors on the territory of the resort Sinegorsk Mineralnye Vody. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine*. 2023; 4: 22–25 (In Russ.)]
 39. Оборин М.С., Владимирский Е.В. Тенденции развития курортной медицины в Пермском крае до и после пандемии COVID-19: ретроспективное исследование. *Вестник восстановительной медицины*. 2023; 22(1): 22–27. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-1-22-27> [Oborin M.S., Vladimirsky E.V. Health Resort Medicine Development in Perm Krai before and after COVID-19 Pandemic: a Retrospective Study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2023; 22(1): 22–27. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-1-22-27> (In Russ.)]
 40. Борисевич О.О., Фесюн А.Д., Котенко Н.В. Применение физических факторов в лечении хронического эндометрита: обзор. *Вестник восстановительной медицины*. 2023; 22(1): 110–116. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-1-110-116> [Borisevich O.O., Fesyun A.D., Kotenko N.V. Application of Physical Factors in the Chronic Endometritis Treatment: a Review. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2023. 22(1): 110–116. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-1-110-116> (In Russ.)]
 41. Фесюн А.Д., Яковлев М.Ю., Вальцева Е.А. и др. Развитие метеопатических реакций у пациентов, лечившихся в санаториях: поперечное исследование 735 пациентов. *Вестник восстановительной медицины*. 2023; 22(1): 36–45. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-1-36-45> [Fesyun A.D., Yakovlev M. Yu., Valtseva E.A., et al. Development of meteoropathic reactions in patients treated at Health Resorts: a Cross-Sectional Study of 735 Patients. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2023; 22(1): 36–45. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-1-36-45> (In Russ.)]
 42. Тихонов Д.Г., Лебедева У.М., Степанов К.М. Из истории изучения питания населения Северо-Восточной Сибири: от палеодиеты до кока-колы всего за 100 лет. *История медицины*. 2019; 6(2): 83–92. [Tihonov D.G., Lebedeva U.M., Stepanov K.M. From the history of studying the nutrition of the population of North-Eastern Siberia: from the paleo diet to Coca-Cola in just 100 years. *History of medicine*. 2019; 6(2): 83–92 (In Russ.)]
 43. Кривенко Н.В., Елишев В.Г., Кривенцова Л.А. Влияние инноваций на эффективность здравоохранения в системе экономической безопасности региона. *Региональная экономика*. 2019; 15(1): 164–177. [Krivenko N.V., Elishev V.G., Krivencova L.A. The Impact of Innovations on Healthcare Performance in the Regional Economic Security System. *Regional Economy*. 2019; 15(1): 164–177 (In Russ.)]

Оригинальная статья / Original article

DOI: <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-32-43>

Гериатрическая реабилитация у пациентов с сахарным диабетом и старческой астенией: субанализ исследования ПОСТСКРИПТУМ

 Рунихина Н.К.¹,  Малая И.П.¹,  Онучина Ю.С.^{1,*},  Лузина А.В.¹,
 Шарашкина Н.В.¹,  Остапенко В.С.¹,  Мхитарян Э.А.¹,  Лысенков С.Н.^{1,2},
 Арефьева М.С.¹,  Попов Е.Е.¹,  Арефьева А.А.¹,  Дудинская Е.Н.¹,
 Котовская Ю.В.¹,  Ткачева О.Н.¹

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет), Москва, Россия

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Функциональная активность и независимость пожилых людей с сахарным диабетом 2-го типа (СД2) зависит не только от контроля гликемии, но и от выраженности гериатрических синдромов. Настоящий субанализ проведен для изучения особенностей влияния индивидуальных программ гериатрической реабилитации (ГР) на функциональный статус у пациентов с СД2 и старческой астенией (СА).

ЦЕЛЬ. Оценка влияния гериатрической реабилитации на уровень функциональной активности у пациентов с СД2 и синдромом СА.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Субанализ данных многоцентрового проспективного исследования ПОСТСКРИПТУМ для оценки эффективности индивидуальных 21-дневных программ гериатрической реабилитации среди пациентов 60 лет и старше с синдромом СА. В субанализ включено 475 пациентов в двух группах: 91 пациент с СД2 (группа «СД2+») и 384 пациента без СД (группа «СД2-»). На визите 1 выполнена комплексная гериатрическая оценка (КГО), составлена индивидуальная программа ГР длительностью 21 день. Визит 2 проводили после завершения ГР для оценки эффективности курса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Частота выявления гериатрических синдромов и распределение по выраженности синдрома СА были сопоставимы в группах «СД2+» и «СД2-». Старческая астения выявлена у 38 % в группе «СД2+» и 34 % в группе «СД2-». Медиана возраста в группах «СД2+» и «СД2-» была 76 [71; 81,5] vs 80 [73; 84] лет, $p = 0,001$. После проведения 3-недельной программы ГР в группе «СД2+» отмечено улучшение результатов краткой батареи тестов физического функционирования ($p < 0,001$), повышение среднего балла MoCA (Монреальская шкала оценки когнитивных функций) на $2,06 \pm 0,38$ ($p < 0,001$), снижение интенсивности болевого синдрома при самооценке по визуально-аналоговой шкале за последнюю неделю ($p < 0,001$), снижение индекса тяжести инсомнии ($p = 0,03$) и улучшение результата по шкале MNA (краткая шкала оценки питания) ($p = 0,006$). В подгруппе пациентов с преастенией дополнительно зарегистрировано улучшение базовой повседневной активности, статуса питания и снижение индекса тяжести инсомнии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В исследовании ПОСТСКРИПТУМ продемонстрирована эффективность краткосрочных индивидуальных программ ГР, основанных на результатах КГО, у пациентов с СД2 и синдромом СА в отношении улучшения физического и когнитивного статуса, выраженности болевого синдрома, а в подгруппе пациентов с преастенией зарегистрировано улучшение базовой повседневной активности, статуса питания и снижение индекса тяжести инсомнии.

РЕГИСТРАЦИЯ: Идентификатор Clinicaltrials.gov № NCT05740436, зарегистрировано 23.02.2023.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сахарный диабет 2-го типа, старческая астения, комплексная гериатрическая оценка, гериатрическая реабилитация

Для цитирования / For citation: Рунихина Н.К., Малая И.П., Онучина Ю.С., Лузина А.В., Шарашкина Н.В., Остапенко В.С., Мхитарян Э.А., Лысенков С.Н., Арефьева М.С., Попов Е.Е., Арефьева А.А., Дудинская Е.Н., Котовская Ю.В., Ткачева О.Н. Гериатрическая реабилитация у пациентов с сахарным диабетом и старческой астенией: субанализ исследования ПОСТСКРИПТУМ. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(4):32–43. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-32-43> [Runikhina N.K., Malaya I.P., Onuchina Y.S., Luzina A.V., Sharashkina N.V., Ostapenko V.S., Mkhitarayan E.A., Lysenkov S.N., Arefeva M.S., Popov E.E., Arefieva A.A., Dudinskaya E.N., Kotovskaya Y.V., Tkacheva O.N. Geriatric Rehabilitation with Diabetes Mellitus and Frailty: A Subanalysis of POSTSCRIPTUM Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):32–43. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-32-43> (In Russ.)]

* Для корреспонденции: Онучина Юлия Сергеевна, E-mail: onuchina_ys@rgnkc.ru

Статья получена: 11.06.2025
 Статья принята к печати: 18.07.2025
 Статья опубликована: 16.08.2025

Geriatric Rehabilitation with Diabetes Mellitus and Frailty: A Subanalysis of POSTSCRIPTUM Study

 Nadezda K. Runikhina¹,  Irina P. Malaya¹,  Yulia S. Onuchina^{1,*},  Alexandra V. Luzina¹,
 Natalia V. Sharashkina¹,  Valentina S. Ostapenko¹,  Elen A. Mkhitarian¹,
 Sergey N. Lysenkov^{1,2},  Mariia S. Arefeva¹,  Evgenii E. Popov¹,  Arina A. Arefieva¹,
 Ekaterina N. Dudinskaya¹,  Yulia V. Kotovskaya¹,  Olga N. Tkacheva¹

¹ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Functional activity and independence of elderly people with type 2 diabetes mellitus (DM2) depend not only on the glycaemic control, but also on the severity of geriatric syndromes. This subanalysis was conducted to study the peculiarities of the effect of individual geriatric rehabilitation (GR) programs on functional status in patients with type 2 DM2 and frailty.

AIM. Evaluation of the effect of geriatric rehabilitation on the level of functional activity in patients with DM2 and frailty.

MATERIALS AND METHODS. A subanalysis of data from POSTSCRIPTUM, a multicentre, prospective study, was conducted to evaluate the effectiveness of 21-day geriatric rehabilitation programmes for patients aged 60 years and over with senile asthenia syndrome. The subanalysis included 475 patients, who were divided into two groups: 91 patients with type 2 diabetes mellitus (DM2+ group) and 384 patients without DM (DM2– group). On visit 1, a comprehensive geriatric assessment (CGA) was performed, and a personalized 21-day GR program was developed. Visit 2 took place after the completion of GR to evaluate the effectiveness of the course.

RESULTS AND DISCUSSION. The frequency of diagnosing geriatric syndromes (GS) and the distribution of frailty severity were comparable in the DM2+ and DM2– groups. Frailty was found in 38 % in the DM2+ group and 34 % in the DM2– group. Median age in the DM2+ and DM2– groups was 76 [71; 81.5] vs 80 [73; 84] years, $p = 0.001$. After the 3-week GR program, the DM2+ group showed an improvement in a brief battery of physical functioning tests ($p < 0.001$), an increase in the mean MoCA (Montreal Cognitive Assessment) score of 2.06 ± 0.38 ($p < 0.001$), a decrease in pain intensity in self-assessments according to the visual analog scale in the last week ($p < 0.001$), decreased insomnia severity index $p = 0.03$, and improved MNA (Mini Nutritional Assessment) score ($p = 0.006$). The subgroup of patients with preasthenia gravis additionally demonstrated improvements in baseline activities of daily living, nutritional status, and a decrease in the insomnia severity index.

CONCLUSION. The POSTSCRIPTUM study demonstrated the effectiveness of short-term individualized GR programs based on CGA results in patients with DM2 and frailty in improving physical and cognitive status; pain severity; while the subgroup of patients with preasthenia gravis showed improvement in baseline activities of daily living, nutritional status, and a decrease in the insomnia severity index.

REGISTRATION: Clinicaltrials.gov identifier No. NCT05740436, registered 23.02.2023.

KEYWORDS: diabetes mellitus type 2, frailty, comprehensive geriatric assessment, geriatric rehabilitation

For citation: Runikhina N.K., Malaya I.P., Onuchina Y.S., Luzina A.V., Sharashkina N.V., Ostapenko V.S., Lysenkov S.N., Mkhitarian E.A., Arefeva M.S., Popov E.E., Arefieva A.A., Dudinskaya E.N., Kotovskaya Y.V., Tkacheva O.N. Geriatric Rehabilitation with Diabetes Mellitus and Frailty: A Subanalysis of POSTSCRIPTUM Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):32–43. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-32-43> (In Russ.).

* **For correspondence:** Yulia S. Onuchina, E-mail: onuchina_ys@rgnkc.ru

Received: 11.06.2025

Accepted: 18.07.2025

Published: 16.08.2025

ВВЕДЕНИЕ

Сахарный диабет 2-го типа (СД2) является одним из самых распространенных возраст-ассоциированных заболеваний, и почти половина всех пациентов с СД2 — это люди в возрасте старше 60–65 лет [1], при этом по разным данным от 10 % до 26 % лиц 65 лет и старше страдают СД2 [2, 3]. Согласно данным Европейского общества гериатров (European geriatric medicine society, EuGMS) и Европейской рабочей группы по диабету у пожилых (European diabetes working party for older people, EDWPOP), примерно половина пациентов, получающих сахароснижающие препараты, старше 65 лет [3]. Ожидается, что из-за сидячего образа жизни, современ-

ных пищевых привычек и роста количества пациентов с ожирением доля пациентов с СД2 будет только расти и к 2045 г. составит 13 % населения планеты [4]. Пациенты с СД2 имеют высокий риск снижения функциональной активности, независимости и качества жизни, повышенный риск смертности. Гипергликемия на фоне недостаточно контролируемой инсулинорезистентности, ассоциированной с повышенной активностью воспалительных цитокинов, способствует прогрессированию осложнений СД, что усугубляет процессы старения, приводит к развитию и закреплению гериатрических синдромов. Наличие СД дополнительно повышает риск развития старческой астении — состояния, ассо-

цированного со снижением мобильности, повышением частоты госпитализаций и смертности, а также потерей независимости пациентов [5].

По данным систематического обзора и метаанализа, у пожилых людей с СД наблюдается значительная распространенность большинства гериатрических синдромов: когнитивные нарушения, депрессия, падения, функциональные нарушения, недержание мочи, полипрагмазия и старческая астения (СА) [6]. Согласно данным метаанализа 26 исследований, диабет более чем в 1,5 раза повышает риск нарушений мобильности и зависимости как по оценкам активности в повседневной жизни, так и по оценкам инструментальной активности [7]. В метаанализе, объединившем данные 32 исследований и 14 450 пациентов, распространенность СА и преастении среди пациентов с СД составляет 20,1 % (95 % CI = 16,0–24,2 %) и 49,1 % (95 % CI = 45,1–53,1 %) соответственно, а риск развития СА у пациентов с СД2 был в 1,6 раз выше, чем у пациентов без СД [8]. По другим данным, распространенность СА у пациентов с СД составляет уже от 5–10 % до 32–48 % [9].

В свою очередь СА ухудшает компенсаторные возможности организма, повышает риск развития осложнений СД и риск смерти. Кроме того, и СД, и СА ассоциированы с полипрагмазией. В исследованиях показано, что более половины пожилых пациентов с СД регулярно принимают более 5 лекарственных препаратов [10].

Таким образом, СА и СД взаимно потенцируют друг друга, а пожилые пациенты с сочетанием СА и СД подвергаются значительному риску развития и прогрессирования гериатрических синдромов, а также повышенному риску развития осложнений и смерти. Поиск комплексных подходов в лечении пациентов с СД и СА представляется крайне важной задачей. В настоящей

статье представлен анализ эффективности краткосрочных индивидуальных программ гериатрической реабилитации (ГР), основанных на результатах комплексной гериатрической оценки (КГО), с точки зрения улучшения функционального и когнитивного статуса пациентов с СД2, по данным исследования ПОСТСКРИПТУМ.

ЦЕЛЬ

Оценка влияния ГР на уровень функциональной активности у пациентов с СД2 и синдромом СА.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Настоящий субанализ данных, полученных в исследовании ПОСТСКРИПТУМ, выполнен в рамках государственного задания «Комплексные программы реабилитации пациентов в возрасте 60 лет и старше с мультиморбидной патологией и синдромом старческой астении», регистрационный № 720000Ф.99.1. БН62АВ35000.

Подробное описание протокола исследования ПОСТСКРИПТУМ и результаты промежуточного анализа эффективности ГР через 3 недели вмешательства опубликованы ранее [11, 12]. В настоящей статье представлены результаты субанализа данных.

Участники исследования

В исследование ПОСТСКРИПТУМ скринировано 506 пациентов, из которых 483 пациента выполнили процедуры визита 1. Так как у 8 пациентов не было информации об анамнезе СД, их данные были исключены из статистического анализа. Таким образом, в настоящий ретроспективный анализ данных включено 475 пациентов, из которых у 91 (19 %) пациента ранее был установлен диагноз СД2. Процедуры визита 2 завершили 455 пациентов (рис. 1).

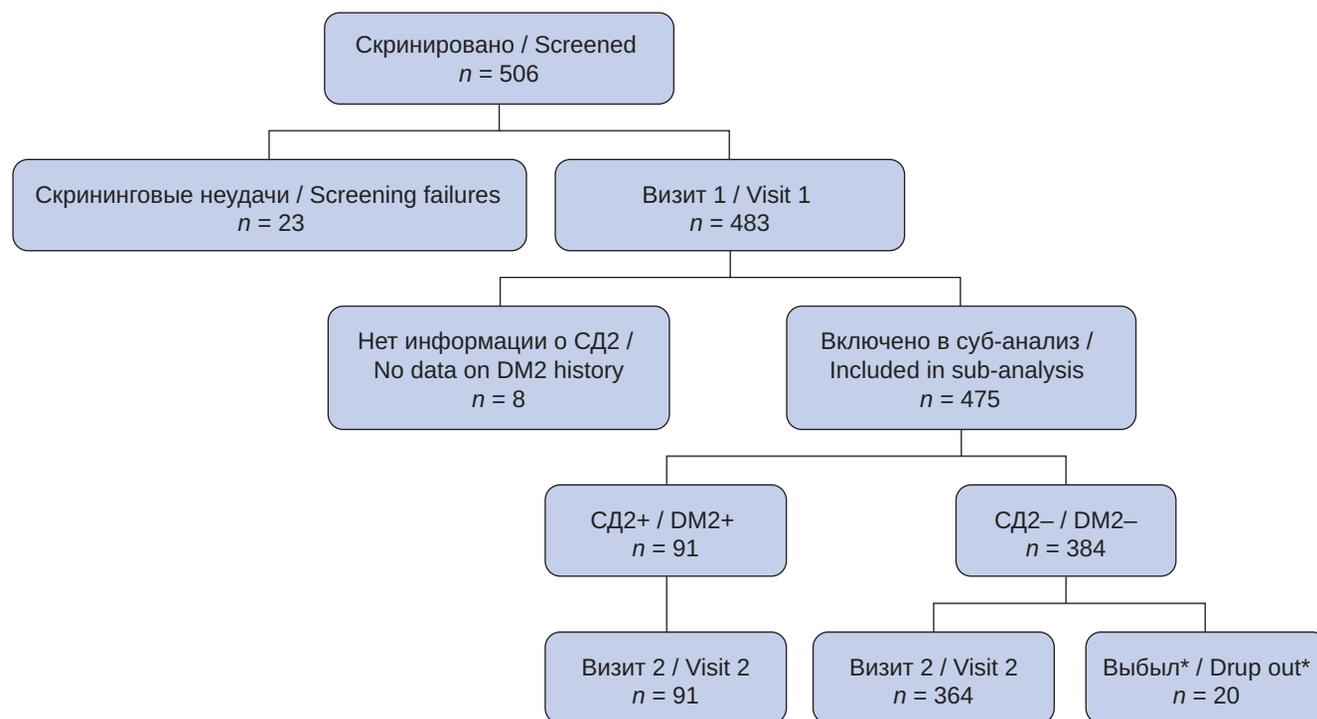


Рис. 1. Схема включения пациентов в исследование

Fig. 1. Schematic of inclusion of patients in the study

Примечание: * — Досрочное выбывание по семейным обстоятельствам (n = 14), острое респираторное заболевание (n = 4), отказ пациента (n = 2).

Note: * — Early withdrawal for family reasons (n = 14), acute respiratory disease (n = 4), patient refusal (n = 2).

Процедуры исследования

До начала процедур исследования все участники подписали форму информированного согласия на участие в исследовании.

В соответствии с протоколом исследования всем пациентам проведены скрининг по опроснику «Возраст не помеха» и КГО, включая краткую батарею тестов физического функционирования (КБТФФ). При выполнении КГО оценены такие домены, как физическое здоровье (жалобы и анамнез, включая лекарственный, физическое исследование и исследование по органам и системам), функциональный статус (физическое функционирование, риск падений, инструментальная и базовая функциональная активность), когнитивные функции и эмоциональное состояние, социальный статус и потребность в социальной помощи.

По результатам КГО, выполненной на визите 1, для каждого пациента составлены индивидуальные программы ГР длительностью 21 день. В рамках программы ГР подбирали уровень физической нагрузки, соответствующий 13–14 баллам по шкале Борга. Программы ГР также включали мероприятия по расширению двигательной активности, групповые занятия по когнитивному тренингу, консультацию психолога и рекомендации по питанию. На визите 2 КГО проводили повторно. Подробное описание процедур исследования опубликовано ранее [11].

При анализе распределение по группам («СА, преастения, и «крепкие») проводили на основании результатов опросника «Возраст не помеха» и выполнения КБТФФ в соответствии со схемой, представленной на рисунке 2.

Статистический анализ

Статистическая обработка данных выполнена с использованием программы Statistica (StatSoft, США).

Для сравнений количественных признаков между группами пациентов с СД2 («СД2+» и пациентов без СД2 («СД2-»)) использовали *t*-тест Стьюдента с поправкой для случая неравных дисперсий. Для сравнений качественных признаков между группами «пациенты с СД2» и «пациенты без СД2» использовали χ^2 -тест Пирсона. Значимость динамики показателей между визитом 1

	«Возраст не помеха», баллы / «Vozrast ne pomekha», scores		
КБТФФ, баллы / SPPB, scores	0 – 2	3 – 4	5 – 7
1 – 7			
8 – 9			
10 – 12			

	Старческая астения / Frailty
	Преастения / Preasthenia
	Крепкие / Robust

Рис. 2. Схема распределения пациентов на группы по результатам опросника «Возраст не помеха» и краткой батареи тестов физического функционирования

Fig. 2. Schematic of the distribution of patients into groups according to the results of “Vozrast ne pomekha” (“Age is not a hindrance”) questionnaire and Short Physical Performance Battery

Примечание: КБТФФ — краткая батарея тестов физического функционирования.

Note: SPPB — Short Physical Performance Battery.

и визитом 2 оценивали с помощью *t*-теста Стьюдента для парных выборок и парного теста Вилкоксона при нарушении предположений теста Стьюдента. Динамика показателей выражена как разность значений (Δ). Статистически значимыми считали различия при значении $p < 0,05$. Пропущенные данные не восполнялись.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

СД2 зарегистрирован у 91 (19%) пациента, включенного в настоящий субанализ. Сахароснижающую терапию получали 68 (75%) пациентов (рис. 3). Препараты

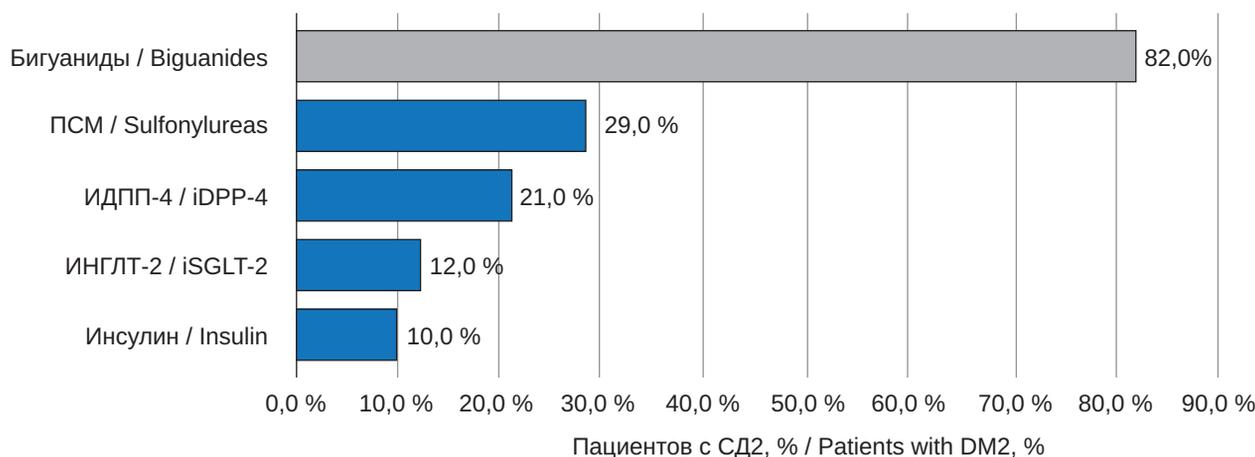


Рис. 3. Частота применения сахароснижающих препаратов

Fig. 3. Frequency of administration of hypoglycemic medications

Примечание: ПСМ — препараты сульфонилмочевины, ИДПП-4 — ингибиторы дипептидилпептидазы-4, ИНГЛТ-2 — ингибиторы натрий-глюкозного котранспортера 2-го типа.

Note: SM — Sulfonylurea Medications, iDPP-4 — dipeptidyl peptidase-4 inhibitors, iSGLT-2 — type 2 sodium-glucose cotransporter inhibitors.

Таблица 1. Исходные клинико-anamnestические характеристики группы (визит 1)

Table 1. Baseline clinical and anamnestic parameters of the group (visit 1)

Показатель / Parameter	«СД2+» / DM2+ (n = 91)	«СД2-» / DM2- (n = 384)	p
Возраст, годы / Age, years, Me [Q1; Q3]	76 [71; 81,5]	80 [73; 84]	0,001
Женский пол / Female gender, n (%)	75 (82 %)	315 (82 %)	0,999
Вес, кг / Weight, kg (M ± SD)	79,8 ± 15,0	74,5 ± 14,5	0,003
Индекс массы тела, кг/м² / Body mass index, kg/m² (M ± SD)	30,8 ± 5,7	28,8 ± 5,2	0,002
Масса тела / Body weight, %			
Дефицит / Deficit	0	0,78	0,527
Норма / Standard	16,5	22,7	0,122
Избыток / Excess	29,7	37,6	0,097
Ожирение / Obesity	53,9	38,9	0,007
Степени ожирения / Degrees of obesity, % (n = 198)			
I	61,2	72,5	0,107
II	22,5	20,8	0,467
III	16,3	6,7	0,061
Индекс коморбидности Чарлсона, баллы / Charlson's comorbidity Index, scores (M ± SD)	8,2 ± 4,0	6,9 ± 3,4	0,004
Количество принимаемых лекарственных препаратов / The number of medications (M ± SD) Me [Q1; Q3]	6,0 ± 2,8 6 [4; 7]	4,6 ± 2,5 4 [3; 6]	< 0,0001 < 0,0001

РУНИХИНА Н.К. И ДР. | ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

инсулина получали 9 % (n = 6). Самым часто применяемым препаратом был метформин, его получали 92 % пациентов. Треть пациентов принимали производные сульфонилмочевины (ПСМ), каждый пятый — ингибиторы дипептидилпептидазы-4 (иДПП-4), 12 % пациентов с СД2 принимали ингибиторы натрий-глюкозного котранспортера 2-го типа (иНГЛТ-2) и ни один пациент в нашей группе не принимал агонисты рецепторов глюкагоноподобного пептида-1 (арГПП-1) (рис. 3).

В сравнении с пациентами без СД (группа «СД2-»), в группе «СД2+» пациенты были моложе, распределение по полу было сопоставимым в обеих группах. В группе «СД2+» были выше средние значения массы тела и индекса массы тела, и более половины пациентов имели ожирение. В этой группе был выше индекс коморбидности Чарлсон и больше среднее количество принимаемых лекарственных препаратов. Основные исходные клинико-anamnestические характеристики группы представлены в таблице 1.

Частота синдрома СА и преастении была сопоставимой в обеих группах (рис. 4). При этом в группе «СД2+» был выше средний балл по опроснику «Возраст не помеха» (3,9 ± 1,1 vs 3,8 ± 1,0 балла; p = 0,001) и ниже средний результат выполнения КБТФФ (9,5 ± 2,2 vs 10,3 ± 1,4, p = 0,003) (табл. 2).

В связи с тем, что в подгруппе «крепкие» было менее 10 пациентов в каждой группе, дальнейший анализ подгрупп проводили только для пациентов с наличием СА или преастении.

Результаты КГО на визите 1 представлены в таблице 2. При оценке исходных результатов КГО по большинству модулей и шкал результаты были сопоставимы в двух группах. В группе «СД2+» отмечается тенденция к более высоким значениям индекса тяжести инсомнии

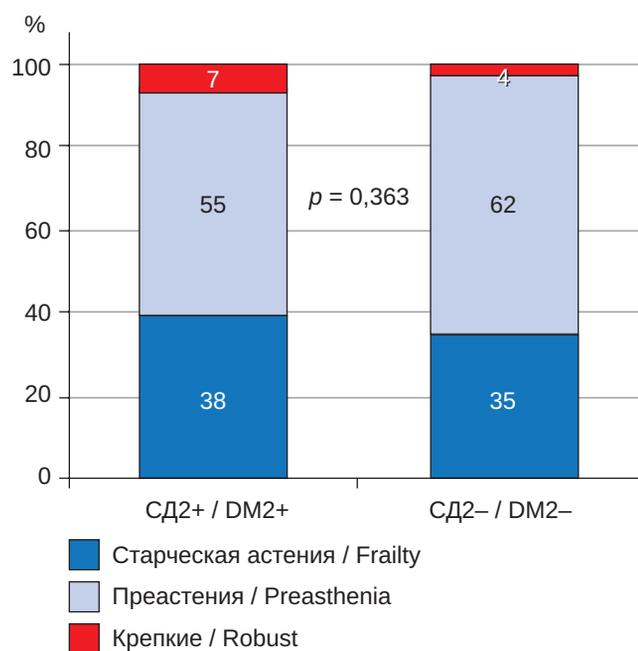


Рис. 4. Распределение пациентов по наличию синдрома старческой астении

Fig. 4. Distribution of patients by presence of senile asthenia syndrome (frailty) in the groups

и выраженности болевого синдрома при самооценке по визуально-аналоговой шкале (ВАШ).

В обеих группах наиболее частыми гериатрическими синдромами были сенсорные дефициты и снижение силы сжатия кисти (табл. 3). В группе «СД2+» отмечена более высокая частота полипрагмазии (72 % vs 46 %, p < 0,001), а также отмечена тенденция к большей частоте ортостатической гипотензии и наличия переломов в анамнезе.

Таблица 2. Сравнительная характеристика результатов комплексной гериатрической оценки в группах «СД2+» и «СД2-» на визите 1**Table 2.** Comparative characteristics of comprehensive geriatric assessment results in DM2+ and DM2- groups on visit 1

Показатель / Parameter (M ± SD)		«СД2+» / DM2+ (n = 91)	«СД2-» / DM2- (n = 384)	p
Сила сжатия кисти, кг / Hand compression force, kg	Женщины / Female	16,4 ± 4,35	16,07 ± 4,96	0,515
	Мужчины / Male	27,75 ± 7,937	26,42 ± 8,47	0,556
Опросник «Возраст не помеха», баллы / «Vozrast ne pomexha» Questionnaire, scores		3,9 ± 1,1	3,8 ± 1,0	0,001
КБТФФ, баллы / SPPB, scores		9,5 ± 2,2	10,3 ± 1,4	0,003
Индекс Бартел, баллы / Bartel Index, scores		95,7 ± 6,5	96,0 ± 6,3	0,981
IADL, баллы / IADL, scores		25,5 ± 2,2	25,6 ± 2,2	0,767
MoCA, баллы / MoCA, scores		23,7 ± 4,0	24,0 ± 3,5	0,717
GDS-15, баллы / GDS-15, scores		3,3 ± 2,8	3,3 ± 2,9	0,938
MNA, баллы / MNA, scores		25,5 ± 2,0	25,5 ± 2,2	0,343
ВАШ, баллы / VAS, scores		5,7 ± 1,7	4,7 ± 1,9	0,117
EQ-5D, баллы / EQ-5D, scores		2,8 ± 1,4	2,7 ± 1,5	0,624
Индекс тяжести инсомнии, баллы / Insomnia Severity Index, scores		9,6 ± 5,0	8,8 ± 5,0	0,089

Примечание: IADL — шкала оценки инструментальной деятельности в повседневной жизни, MoCA — Монреальская шкала оценки когнитивных функций, GDS-15 — гериатрическая шкала депрессии-15, MNA — краткая шкала оценки питания, ВАШ — визуально-аналоговая шкала оценки болевого синдрома, EQ-5D — опросник качества жизни, КБТФФ — краткая батарея тестов физического функционирования.

Note: IADL — Instrumental Activities of Daily Living, MoCA — Montreal Cognitive Assessment, GDS-15 — Geriatric Depression Scale-15, MNA — Mini Nutritional Assessment, VAS — Visual Analogue Scale, EQ-5D — European Quality of Life Questionnaire, SPPB — Short Physical Performance Battery.

Таблица 3. Частота гериатрических синдромов в исследуемых группах на визите 1**Table 3.** Frequency of geriatric syndromes in the study groups on visit 1

Показатель / Parameter (%)		«СД2+» / DM2+ (n = 91)	«СД2-» / DM2- (n = 384)	p
Инструментальная зависимость в повседневной жизни / Instrumental dependence in daily living		2,2	1,8	0,794
Базовая зависимость в повседневной жизни / Basic dependence in daily living		16,9	15,5	0,760
Ортостатическая гипотензия / Orthostatic hypotension		17,8	11,8	0,127
Вероятная депрессия / Possible depression		20,0	25,1	0,312
Падения за предшествующий год / Falls in the previous year		28,6	27,3	0,816
Наличие перелома / History of fractures		38,5	29,7	0,105
Когнитивные нарушения / Cognitive disorders		49,5	53,0	0,545
Недержание мочи / Urinary incontinence		49,5	45,3	0,481
Нарушения сна / Sleep disorders		60,4	55,0	0,350
Полипрагмазия / Polypharmacy		71,7	45,9	< 0,001
Снижение силы сжатия кисти / Reduction of hand compression force		79,1	73,9	0,300
Сенсорный дефицит (любой) / Sensory deficit (any)		87,9	87,0	0,809

После завершения программы ГР в группе «СД2+» отмечено улучшение результатов КБТФФ и суммы баллов по шкале МоСА, уменьшение выраженности болевого синдрома по результатам ВАШ, улучшение оценки качества питания по шкале MNA и снижение индекса инсомнии. Динамика основных показателей КГО после

21-дневного курса ГР в группе «СД2+» представлена в таблице 4.

Динамика основных показателей КГО на фоне выполнения программы ГР при сравнении с группой «СД2-» в группе с «СД2+» была сопоставимой (табл. 5).

Таблица 4. Динамика основных показателей комплексной гериатрической оценки в группе «СД2+» после выполнения программы гериатрической реабилитации

Table 4. Dynamics of the main parameters of the comprehensive geriatric assessment in the DM2+ group after completion of the geriatric rehabilitation program

Показатель / Parameter, M ± SD	Визит 1 / Visit 1	Визит 2 / Visit 2	Δ, абс. ± SE / Δ, abs. ± SE	p*
КБТФФ, баллы / SPPB, scores	9,5 ± 2,2	10,1 ± 2,2	0,52 ± 1,5	< 0,001
Индекс Бартел, баллы / Bartel Index, scores	95,7 ± 6,5	96,1 ± 6,7	0,37 ± 0,19	0,057
ВАШ, баллы / VAS, scores	25,5 ± 2,2	25,6 ± 2,2	0,03 ± 0,07	0,726
Самооценки боли по ВАШ за последнюю неделю, баллы / VAS self-evaluation over the past week, scores	5,7 ± 1,7	4,9 ± 1,8	-0,78 ± 0,36	< 0,001
GDS-15, баллы / GDS-15, scores	3,4 ± 2,9	2,8 ± 3,2	-0,45 ± 0,24	0,063
Индекс тяжести инсомнии, баллы / Insomnia Severity Index, scores	9,6 ± 5,0	9,0 ± 5,1	-0,58 ± 0,26	0,030
MNA, баллы / MNA, scores	25,5 ± 2,0	25,8 ± 2,0	0,26 ± 0,09	0,006
МоСА, баллы / MoCA, scores	23,7 ± 4,0	25,7 ± 4,9	2,06 ± 0,38	< 0,001

Примечание: КБТФФ — краткая батарея тестов физического функционирования, ВАШ — визуально-аналоговая шкала оценки болевого синдрома, GDS-15 — гериатрическая шкала депрессии-15, MNA — краткая шкала оценки питания, МоСА — Монреальская шкала оценки когнитивных функций, * — разница значений между визитами 1 и 2.
Note: SPPB — Short Physical Performance Battery, VAS — Visual Analogue Scale, GDS-15 — Geriatric Depression Scale-15, MNA — Mini Nutritional Assessment, MoCA — Montreal Cognitive Assessment, * — the difference in values on visits 1 and 2.

Таблица 5. Сравнение динамики основных показателей комплексной гериатрической оценки после выполнения программ гериатрической реабилитации

Table 5. Comparison of the dynamics of the main parameters of the comprehensive geriatric assessment after completion of the geriatric rehabilitation program

Показатель / Parameter	«СД2+» / DM2+ (n = 91)	«СД2-» / DM2- (n = 384)	p
Δ КБТФФ / Δ SPPB	0,52 ± 1,50	0,63 ± 1,05	0,439
Δ Индекс Бартел / Δ Bartel Index	0,37 ± 0,19	0,26 ± 0,11	0,603
Δ IADL	0,03 ± 0,07	0,04 ± 0,04	0,848
Δ ВАШ / Δ VAS	-0,78 ± 0,36	-0,67 ± 0,14	0,588
Δ GDS-15	-0,45 ± 0,24	-0,43 ± 0,09	0,939
Δ Индекс тяжести инсомнии / Δ Insomnia Severity Index	-0,58 ± 0,26	-0,72 ± 0,15	0,645
Δ MNA	0,26 ± 0,09	0,05 ± 0,05	0,053
Δ МоСА	2,06 ± 0,38	1,99 ± 0,12	0,873

Примечание: КБТФФ — краткая батарея тестов физического функционирования, IADL — шкала оценки инструментальной деятельности в повседневной жизни, ВАШ — визуально-аналоговая шкала оценки болевого синдрома, GDS-15 — гериатрическая шкала депрессии-15, MNA — краткая шкала оценки питания, МоСА — Монреальская шкала оценки когнитивных функций.

Note: SPPB — Short Physical Performance Battery, IADL — Instrumental Activities of Daily Living, VAS — Visual Analogue Scale, GDS-15 — Geriatric Depression Scale-15, MNA — Mini Nutritional Assessment, MoCA — Montreal Cognitive Assessment.

У пациентов с СД2 улучшение показателей КГО отмечено как в подгруппе астении, так и преастении (табл. 6). В обеих подгруппах зарегистрировано увеличение суммы баллов КБТФФ (улучшение физического функционального статуса пациентов) по шкале MoCA (улучшение когнитивного статуса) и уменьшение выраженности болевого синдрома при самооценке по ВАШ. В подгруппе преастении дополнительно отмечено увеличение значения индекса Бартел (улучшение базовой повседневной активности), снижение балла индекса тяжести инсомнии и повышение оценки по шкале MNA.

Пожилые пациенты с СД2 подвергаются большему риску развития гериатрических синдромов, что подтверждается в клинических исследованиях, и наоборот, СА, сопутствующие заболевания и полипрагмазия осложняют течение СД [13]. Возрастные изменения углеводного обмена наряду со снижением мышечной массы и развитием саркопении способствуют усилению инсулинорезистентности. В многочисленных исследованиях продемонстрирована взаимосвязь когнитивных нару-

шений и СД. СД2 ассоциирован также с более высоким риском и большей выраженностью СА. В свою очередь СА ассоциирована с большей заболеваемостью и смертностью у пациентов с СД2. СА регистрируется почти у четверти пожилых пациентов с СД, что существенно чаще, чем в общей популяции пожилых пациентов [14, 15]. В нашей группе СА и преастения определены у 38 % и 55 % пациентов с СД2 соответственно, что наиболее вероятно связано с особенностями отбора пациентов для поступления в учреждения, где проводилось исследование. В рамках настоящего исследования мы не собирали информацию о степени компенсации углеводного обмена. Однако распределение терапии в нашей группе практически соответствовало результатам анализа базы данных клинико-эпидемиологического мониторинга СД на территории Российской Федерации [2]: самой частой группой пероральных сахароснижающих препаратов были бигуаниды (в частности, метформин), их принимали 82 % пациентов, на втором месте — ПСМ (29 % пациентов), на третьем — иДПП-4 (21 % пациентов),

Таблица 6. Динамика основных показателей комплексной гериатрической оценки в группе «СД2+» после выполнения программы гериатрической реабилитации

Table 6. Dynamics of the main parameters of comprehensive geriatric assessment in the DM2+ group after completion of the geriatric rehabilitation program

«СД2+» / DM2+	Старческая астения / Frailty (n = 35)				Преастения / Preasthenia (n = 50)			
	Визит 1 / Visit 1	Визит 2 / Visit 2	$\Delta \pm SE$	<i>p</i> *	Визит 1 / Visit 1	Визит 2 / Visit 2	$\Delta \pm SE$	<i>p</i> *
Показатель / Parameter M \pm SD								
КБТФФ, баллы / SPPB, scores	8,2 \pm 2,5	8,8 \pm 2,6	0,58 \pm 0,21	0,011	10,3 \pm 1,4	10,8 \pm 1,3	0,48 \pm 0,15	0,003
Индекс Бартел, баллы / Bartel Index, scores	92,7 \pm 8,3	92,5 \pm 8,5	-0,16 \pm 0,27	0,572	97,7 \pm 4,0	98,4 \pm 3,9	0,7 \pm 0,27	0,013
IADL, баллы / IADL, scores	24,5 \pm 2,5	24,5 \pm 2,4	0,03 \pm 0,16	0,851	26,2 \pm 1,7	26,2 \pm 1,9	0,02 \pm 0,05	0,660
ВАШ, баллы / VAS, scores	6,1 \pm 1,6	5,5 \pm 1,6	-0,61 \pm 0,25	0,024	5,5 \pm 1,8	4,8 \pm 1,8	-0,75 \pm 0,32	0,026
GDS-15, баллы / GDS-15, scores	3,8 \pm 3,2	3,5 \pm 3,5	-0,28 \pm 0,31	0,103	3,2 \pm 2,7	2,6 \pm 2,9	-0,62 \pm 0,37	0,103
Индекс тяжести инсомнии, баллы / Insomnia Severity Index, scores	10,3 \pm 4,6	9,7 \pm 5,4	-0,66 \pm 0,23	0,173	9,9 \pm 5,0	9,1 \pm 4,7	-0,71 \pm 0,34	0,043
MNA, баллы / MNA, scores	24,9 \pm 1,7	25,1 \pm 1,6	0,25 \pm 0,15	0,111	25,7 \pm 2,1	26,0 \pm 2,2	0,26 \pm 0,12	0,038
MoCA, баллы / MoCA, scores	22,6 \pm 3,8	24,6 \pm 5,9	2,09 \pm 0,83	0,017	24,4 \pm 4,1	26,5 \pm 4,0	2,15 \pm 0,34	0,000

Примечание: КБТФФ — краткая батарея тестов физического функционирования, IADL — шкала оценки инструментальной деятельности в повседневной жизни, ВАШ — визуально-аналоговая шкала оценки болевого синдрома, GDS-15 — гериатрическая шкала депрессии-15, MNA — краткая шкала оценки питания, MoCA — Монреальская шкала оценки когнитивных функций, * — разница значений между визитами 1 и 2.

Note: SPPB — Short Physical Performance Battery, IADL — Instrumental Activities of Daily Living, VAS — Visual Analogue Scale, GDS-15 — Geriatric Depression Scale-15, MNA — Mini Nutritional Assessment, MoCA — Montreal Cognitive Assessment, * — the difference in values between the 1st and 2nd visits.

иНГЛТ-2 получали 12 % пациентов. Препараты инсулина получали 10 % пациентов, в то время как согласно базе данных клинико-эпидемиологического мониторинга СД на территории Российской Федерации доля пациентов, получающих инсулин, составляет примерно 18 %. В нашей выборке не было ни одного пациента, получавшего арГПП-1, что также соответствует данным мониторинга о недостаточном назначении новых классов сахароснижающих препаратов пожилым пациентам. Согласно данным мониторинга в Российской Федерации отмечено увеличение частоты назначений препаратов ПСМ с возрастом, достигая максимума (55 %) в возрастной группе старше 80 лет, в то время как согласно современным рекомендациям препараты ПСМ длительного действия ассоциированы с высоким риском развития гипогликемии [16], а STOPP/START-критерии относят этот класс лекарственных препаратов к потенциально не рекомендованным для использования у пациентов в возрасте 65 лет и старше [17].

В нашем исследовании в группе пациентов «СД2+» зарегистрирована более высокая нагрузка по сопутствующим заболеваниям (по индексу коморбидности Чарлсона), выше средний индекс массы тела и частота ожирения. Соответственно, и лекарственная нагрузка в этой группе была выше (табл. 1), а полипрагмазия (одновременное применение 5 и более лекарственных препаратов) зарегистрирована у 72 % пациентов. Распределение пациентов по статусу хрупкости было сходным с группой «СД2–» (см. рис. 4). При этом средний бал по опроснику «Возраст не помеха» был выше, а результат КБТФФ ниже в группе «СД2+». Учитывая, что средний возраст пациентов в группе «СД2+» был ниже, чем в группе пациентов без СД, это отражает более раннее развитие гериатрических синдромов у пациентов с СД2.

Известно, что у пациентов с СД2 более выражена митохондриальная дисфункция мышечных клеток, что благоприятствует изменению окисления липидов, повышению уровня липидов в мышечных клетках и тем самым усугубляет резистентность к инсулину, способствуя развитию как СА, так и еще одного гериатрического синдрома — саркопении [18]. Саркопения, как прогрессирующее заболевание скелетных мышц, сопровождается частыми падениями и переломами, следовательно, повышенным риском инвалидности и смертности [19]. Для постановки диагноза саркопении оценивают массу, силу и функцию мышц. В проведенном нами исследовании показатели мышечной силы и функции (кистевая динамометрия, сумма баллов КБТФФ) были сопоставимы в группах с СД2 и без СД2 (см. табл. 3). В обеих группах отмечено наличие сниженной мышечной силы более чем у 70 % больных, что демонстрирует значительную частоту представленной проблемы и может приводить к повышению числа падений и переломов. Считается, что преимущества физической реабилитации и упражнений в первую очередь проявляются через периферические метаболические механизмы, улучшение митохондриальной функции и микроциркуляции, что в конечном итоге приводит к изменению (улучшению) функции скелетных мышц.

В исследовании ПОСТСКРИПТУМ персонализированные программы ГР разрабатывали по результатам КГО исходя из необходимости поддержания или улуч-

шения функционального и когнитивного статуса, в том числе и нефармакологическими методами.

По результатам нашего исследования уже через 3 недели комплексной ГР в группе «СД2+» зарегистрировано улучшение не только показателей физического функционирования (результаты КБТФФ), но и оценки когнитивного статуса (динамика по шкале MoCA), выраженности болевого синдрома (по шкале ВАШ), улучшение качества сна и питания (по индексу тяжести инсомнии и шкале MNA соответственно). В отличие от других хронических состояний, лечение диабета очень во многом зависит от способности пациентов осуществлять самоконтроль, который при наличии СА может быть снижен вследствие целого ряда факторов, включая когнитивные нарушения и/или депрессию. Например, пациенты с когнитивными нарушениями могут не распознать или не купировать гипогликемию или не соблюдать режим приема сахароснижающих препаратов. Нередко депрессия у пожилых людей представляет собой большую проблему, осложняя и затрудняя течение заболевания и его лечение. Поэтому продемонстрированное в нашем исследовании улучшение оценки по шкале MoCA, снижение индекса тяжести инсомнии, снижение выраженности болевого синдрома уже через 3 недели ГР отражает значимость ее комплексной реализации.

В нашем исследовании, в отличие от группы «СД2–», в группе «СД2+» не было динамики по шкале Бартел и Лоутон, характеризующей возможности самообслуживания пациентов. Однако при стратификации пациентов по выраженности СА оказалось, что в подгруппе преастении отмечена положительная динамика по шкале Бартел ($97,7 \pm 4,0$ против $98,4 \pm 3,9$ на визитах 1 и 2 соответственно; $p = 0,013$). В этой подгруппе также зарегистрировано улучшение оценки по шкале MNA ($p = 0,03$) и снижение индекса инсомнии ($p = 0,43$). В исследовании Sinclair A.J. et al. показано, что у пациентов с СД2 с СА и преастенией при проведении 6-месячного многокомпонентного вмешательства, включающего когнитивный тренинг и физические тренировки, независимость пациентов, улучшение функционального статуса и увеличение физической активности коррелируют с качеством самоконтроля СД у пожилых пациентов [20]. В нашем исследовании улучшение индекса Бартел, когнитивного и функционального статуса может отразиться на улучшении контроля диабета. Однако для доказательства такого предположения необходимы дальнейшие исследования. Возможно, для реабилитации пациентов с СД2 и СА требуется более длительный период.

Таким образом, в исследовании ПОСТСКРИПТУМ продемонстрирована обратимость СА у пациентов с СД2 при применении краткосрочных персонализированных программ ГР, динамика которой соответствовала таковой у пациентов без СД2.

Ограничения исследования

В наше исследование включены пациенты вне зависимости от уровня компенсации углеводного обмена, контроль которого в рамках исследования не проводили. В то же время исходные показатели, скорость и степень изменений гериатрического статуса могут быть связаны со степенью контроля углеводного обмена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании ПОСТСКРИПТУМ продемонстрирована эффективность краткосрочных индивидуальных программ ГР, основанных на результатах КГО, у пациентов с СД2 и синдромом СА. Отмечено улучшение физического и когнитивного статуса, уменьшение выраженности болевого синдрома при самооценке по ВАШ,

а в подгруппе пациентов с преастенией дополнительно зарегистрировано улучшение базовой повседневной активности, статуса питания и снижение индекса тяжести инсомнии. Для дальнейшего уточнения подходов к ГР в зависимости от степени контроля гликемии требуется проведение дополнительных исследований.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

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>

Малая Ирина Павловна, кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией изучения геропротекторов и клинических исследований, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5964-5725>

Онучина Юлия Сергеевна, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры болезней старения, факультет дополнительного профессионального образования, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет); научный сотрудник лаборатории возрастных эндокринных метаболических нарушений, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).

E-mail: onuchina_ys@rgnkc.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0556-1697>

Лузина Александра Вячеславовна, кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории сердечно-сосудистого старения, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1695-9107>

Шарашкина Наталья Викторовна, кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией общей гериатрии, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6465-4842>

Остапенко Валентина Сергеевна, кандидат медицинских наук, заведующий отделением гериатрической терапии, 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>

Мхитарян Элен Араиковна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры болезней старения, факультет дополнительного профессионального образования, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет); заведующий лабораторией нейрогериатрии, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2597-981X>

Лысенков Сергей Николаевич, доцент биологического факультета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; научный сотрудник лаборатории общей гериатрии, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5791-7712>

Арефьева Мария Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории общей гериатрии, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5869-0233>

Попов Евгений Евгеньевич, младший научный сотрудник лаборатории общей гериатрии, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9666-9224>

Арефьева Арина Александровна, врач-ординатор, кафедра болезней старения, факультет дополнительного профессионального образования, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5235-9347>

Дудинская Екатерина Наильевна, доктор медицинских наук, профессор кафедры болезней старения, факультет дополнительного профессионального образования, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет); заведующий лабораторией возрастных метаболических и эндокринных нарушений, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7891-6850>

Котовская Юлия Викторовна, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1628-5093>

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: Рунихина Н.К. — научное обоснование, методология, руководство проектом, анализ данных, проверка и редактирование рукописи; Малая И.П. — курирование проекта, проверка и редактирование рукописи, анализ данных; Онучина Ю.С. — написание черновика рукописи; Лузина А.В. — проведение исследования; Шарашкина Н.В. — проведение исследования; Остапенко В.С. — проведение исследования; Мхитарян Э.А. — методология; Лысенков С.Н. — анализ данных; Арефьева М.С. — проведение исследования, написание черновика рукописи; Попов Е.Е. — проведение исследования, верификация данных, написание черновика рукописи; Арефьева А.А. — проведение исследования, верификация данных; Дудинская Е.Н. — проверка и редактирование рукописи; Котовская Ю.В. — научное обоснование,

методология; Ткачева О.Н. — научное обоснование, методология, руководство проектом.

Источники финансирования. Данное исследование выполнено в рамках государственного задания «Комплексные программы реабилитации пациентов в возрасте 60 лет и старше с мультиморбидной патологией и синдромом старческой астении», регистрационный номер 720000Ф.99.1.БН62АВ35000.

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

Информированное согласие. В исследовании не раскрывается сведений, позволяющих идентифицировать личность пациента(ов). 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

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>

Irina P. Malaya, Ph.D. (Med.), Head of the Laboratory for the Study of Geroprotectors and Clinical Research, Russian Clinical and Research Center of Gerontology, Pirogov Russian National Research Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5964-5725>

Yulia S. Onuchina, Ph.D. (Med.), Assistant Professor at the Department of Diseases of Aging, Researcher at the Laboratory of Age-related Endocrine Metabolic Disorders, Russian Clinical and Research Center of Gerontology, Pirogov Russian National Research Medical University.

E-mail: onuchina_ys@rgnkc.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0556-1697>

Alexandra V. Luzina, Ph.D. (Med.), Researcher at the Laboratory of Cardiovascular Aging, Russian Clinical and Research Center of Gerontology, Pirogov Russian National Research Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1695-9107>

Natalia V. Sharashkina, Ph.D. (Med.), Head of Geriatrics Laboratory, Russian Clinical and Research Center of Gerontology, Pirogov Russian National Research Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6465-4842>

Valentina S. Ostapenko, Ph.D. (Med.), Head of Geriatrics Department, Russian Gerontological Research and Clinical Centre, Pirogov National Research Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1222-3351>

Elen A. Mkhitarян, Ph.D. (Med.), Associate professor at the Department of Aging Diseases Associate Professor at the Department of Aging Diseases, Russian Gerontological Research and Clinical Centre, Pirogov Russian National Research Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2597-981X>

Sergey N. Lyzenkov, Associate Professor at the Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University; Researcher at the Laboratory of General Geriatrics, Russian Clinical and

Research Center of Gerontology, Pirogov Russian National Research Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5791-7712>

Mariia S. Arefeva, Junior Research Assistant of Geriatrics Laboratory, Russian Clinical and Research Center of Gerontology, Pirogov Russian National Research Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5869-0233>

Evgenii E. Popov, Junior Research Assistant of Geriatrics Laboratory, Russian Clinical and Research Center of Gerontology, Pirogov Russian National Research Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9666-9224>

Arina A. Arefieva, Resident Physician, Department of Diseases of Aging, Faculty of Continuing Professional Education, Pirogov Russian National Research Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5235-9347>

Ekaterina N. Dudinskaya, D.Sc. (Med.), Professor at the Department of Diseases of Aging, Faculty of Continuing Professional Education, Pirogov Russian National Research Medical University, Head of the Laboratory of Age-related Metabolic and Endocrine Disorders, Russian Clinical and Research Center of Gerontology, Pirogov Russian National Research Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7891-6850>

Yulia V. Kotovskaya, D.Sc. (Med.), Professor, Deputy Director for Scientific Work, Russian Clinical and Research Center of Gerontology, Pirogov Russian National Research Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1628-5093>

Olga N. Tkacheva, D.Sc. (Med.), Professor, Director, 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: Runikhina N.K. — conceptualization, methodology, project administration, formal analysis, writing — review & editing; Malaya I.P. — supervision, writing — review & editing,

formal analysis; Onuchina Y.S. — writing — original draft; Luzina A.V. — investigation; Sharashkina N.V. — investigation; Ostapenko V.S. — investigation; Mkhitarian E.A. — methodology; Lysenkov S.N. — formal analysis; Arefeva M.S. — investigation, writing — original draft; Popov E.E. — investigation, validation, writing — original draft; Arefieva A.A. — investigation, validation; Dudinskaya E.N. — writing — review & editing; Kotovskaya Y.V. — conceptualization, methodology; Tkacheva O.N. — conceptualization, methodology, project administration.

Funding. This study was performed within the framework of the state task “Comprehensive rehabilitation programs

for patients aged 60 years and older with multimorbidity pathology and senile asthenia syndrome”, registration No. 720000Ф.99.1.БН62АВ35000.

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

Informed Consent for Publication. The study does not disclose information to identify the patient(s). 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. Дедов И.И., Шестакова М.В., Викулова О.К. и др. Сахарный диабет в Российской Федерации: динамика эпидемиологических показателей по данным Федерального регистра сахарного диабета за период 2010–2022 гг. *Сахарный диабет.* 2023; 26(2): 104–123. <https://doi.org/10.14341/DM13035> [Dedov I.I., Shestakova M.V., Vikulova O.K., et al. Diabetes mellitus in the Russian Federation: dynamics of epidemiological indicators according to the Federal Register of Diabetes Mellitus for the period 2010–2022. *Diabetes mellitus.* 2023; 26(2): 104–123. <https://doi.org/10.14341/DM13035> (In Russ.)]
2. Шестакова М.В., Викулова О.К., Железнякова А.В. и др. Сахарный диабет у лиц пожилого возраста: клинико-эпидемиологические характеристики всероссийской когорты пациентов старше 65 лет. *Сахарный диабет.* 2024; 27(6): 504–519. <https://doi.org/10.14341/DM13261> [Shestakova M.V., Vikulova O.K., Zheleznyakova A.V., et al. Diabetes mellitus in the elderly: clinical and epidemiological characteristics of the all-Russian cohort of diabetic patients over 65 years. *Diabetes mellitus.* 2024; 27(6): 504–519. <https://doi.org/10.14341/DM13261> (In Russ.)]
3. Boccardi V., Bahat G., Balci C., et al. Challenges, current innovations, and opportunities for managing type 2 diabetes in frail older adults: a position paper of the European Geriatric Medicine Society (EuGMS)-Special Interest Group in Diabetes. *Eur Geriatr Med.* 2025. <https://doi.org/10.1007/s41999-025-01168-1>
4. Russo G., Di Bartolo P., Candido R., et al. The AMD ANNALS: a continuous initiative for the improvement of type 2 diabetes care. *Diabetes Res Clin Pract.* 2023; 199: 110672. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2023.110672>
5. Sinclair A.J., Abdelhafiz A.H., Rodríguez-Mañas L. Frailty and sarcopenia — newly emerging and high impact complications of diabetes. *J Diabetes Complications.* 2017; 31: 1465–1473. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2017.05.003>
6. Elmotia K., Abouyaala O., Bougrine S., Ouahidi M.L. Geriatric Syndromes in Older Adults with and Without Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Res Gerontol Nurs.* 2025; 18(2): 99–108. <https://doi.org/10.3928/19404921-20250115-01>
7. Wong E., Backholer K., Gearon E., et al. Diabetes and risk of physical disability in adults: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2013; 1(2): 106–114. [https://doi.org/10.1016/s2213-8587\(13\)70046-9](https://doi.org/10.1016/s2213-8587(13)70046-9)
8. Kong L.N., Lyu Q., Yao H.Y., et al. The prevalence of frailty among community-dwelling older adults with diabetes: A meta-analysis. *International Journal of Nursing Studies.* 2021; 119: 103952. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2021.103952>
9. Perkisas S., Vandewoude M. Where frailty meets diabetes. *Diabetes Metab Res Rev.* 2016; 32 Suppl 1: 261–267. <https://doi.org/10.1002/dmrr.2743>
10. Hickman E., Gillies C., Khunti K., et al. Deprescribing, Polypharmacy and Prescribing Cascades in Older People with Type 2 Diabetes: A Focused Review. *J Indian Inst Sci.* 2023; 103: 191–204. <https://doi.org/10.1007/s41745-022-00352-7>
11. Ткачева О.Н., Рунихина Н.К., Малая И.П. и др. Протокол клинического исследования ПОСТСКРИПТУМ: Протокол гериатрической реабилитации при Старческой астении у пациентов в возрасте 60 лет и старше в Пансионатах и стационарных социальных учреждениях г. Москвы. Многоцентровое проспективное исследование. *Российский журнал гериатрической медицины.* 2023; 1(13): 54–62. <https://doi.org/10.37586/2686-8636-1-2023-54-62> [Tkacheva O.N., Runikhina N.K., Malaya I.P., et al. POSTSCRIPTUM: Protocol of Geriatric Rehabilitation in Patients Aged 60 Years and Older Living in Moscow Boarding houses or Nursing homes. Protocol of Multicentral Prospective Study. *Russian Journal of Geriatric Medicine.* 2023; 1(13): 54–62. <https://doi.org/10.37586/2686-8636-1-2023-54-62> (In Russ.)]
12. Ткачева О.Н., Рунихина Н.К., Малая И.П. и др. Гериатрическая реабилитация пациентов с синдромом старческой астении: промежуточные результаты открытого проспективного исследования «ПОСТСКРИПТУМ». *Вестник восстановительной медицины.* 2024; 23(6): 8–18. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-6-8-18> [Tkacheva O.N., Runikhina N.K., Malaya I.P., et al. Geriatric Rehabilitation in Patients with Frailty: Interim Results of the POSTSCRIPTUM. An Open Prospective Study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2024; 23(6): 8–18. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-6-8-18> (In Russ.)]
13. Ткачева О.Н., Фролова Е.В., Яхно Н.Н. и др. Гериатрия: национальное руководство. Москва: ГЭОТАР-Медиа. 2023; 720 с. [Tkacheva O.N., Frolova E.V., Yakhno N.N., et al. *Geriatrics: national guideline.* Moscow: GEOTAR-Media. 2023; 720 p. (In Russ.)]
14. Дудинская Е.Н., Ткачева О.Н. Функциональный статус пожилого пациента с сахарным диабетом. *Consilium Medicum.* 2020; 22(4): 31–35. <https://doi.org/10.26442/20751753.2020.4.200156> [Dudinskaya E.N., Tkacheva O.N. Functional status of an elderly patient with diabetes. *Consilium Medicum.* 2020; 22(4): 31–35. <https://doi.org/10.26442/20751753.2020.4.200156> (In Russ.)]
15. Egede L.E. Effect of comorbid chronic diseases on prevalence and odds of depression in adults with diabetes. *Psychosom Med.* 2005; 67(1): 46–51. <https://doi.org/10.1097/01.psy.0000149260.82006.fb>
16. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом. Под редакцией Дедова И.И., Шестаковой М.В., Майорова А.Ю. 11-й выпуск Москва. 2023; 236 с. <https://doi.org/10.14341/DM13042> [Standards of specialized diabetes care. Edited by Dedov I.I., Shestakova M.V., Mayorov A.Yu. 11th Edition. Moscow. 2023. 236 p. (In Russ.)]
17. Сычев Д.А., Ткачева О.Н., Котовская Ю.В., Малая И.П. Фармакотерапия у лиц пожилого и старческого возраста. Москва: Издательство ООО «КОНГРЕССИМ». 2024; 124 с. [Sychev D.A., Tkacheva O.N., Kotovskaya Yu.V., Malaya I.P. *Pharmacotherapy in the elderly and senile.* Moscow: CONGRESSHIM Publishing House. 2024; 124 p. (In Russ.)]
18. Cruz-Jentoft A.J., Sayer A.A. Sarcopenia. *The Lancet.* 2019; 393(10191): 2636–2646. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(19\)31138-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(19)31138-9)
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. Sinclair A.J., Laosa O., Antonio Carnicero J., et al. Disability and Quality of Life Measures in older frail and prefrail people with type 2 diabetes. *The MIDFRAIL-Study.* *Diabetes Res Clin Pract.* 2024; 214: 111797. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2024.111797>

Original article / Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-44-53>

Comparative Effectiveness of Dry Needling and Deep Friction Massage in Myofascial Pain Syndrome: an Original Research

 Dies I. Qonita,  Aryadi Arsyad*,  Andi Ariyandy, Meutiah M. Abdullah,
 Andi R.A. Hasyar

Hasanuddin University, Makassar, Indonesia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Myofascial Pain Syndrome (MPS) is a common condition that limits mobility and causes chronic pain. While myofascial trigger points are recognized as key contributors, the most effective treatments remain debated. Dry Needling (DN) and Deep Friction Massage (DFM) are commonly used, but direct comparisons of their effectiveness in pain reduction, range of motion (ROM) improvement, and trigger point size changes are scarce. Research often assesses these treatments separately, leaving a gap in understanding their comparative efficacy.

AIM. To evaluate the comparative effectiveness of DN and DFM on MPS.

MATERIALS AND METHODS. Thirty-six participants were divided into DN and DFM groups. Evaluations were conducted before and 30 minutes after treatment, assessing pain levels with Visual Analogue Scale (VAS), Range of Motion (ROM) with a goniometer, and trigger point size using ultrasonography.

RESULTS AND DISCUSSION. Both groups exhibited significant reductions in pain levels ($p < 0.05$). The DFM group demonstrated more substantial delta change in pain reduction (31.81 ± 7.6) compared to the DN group (18.19 ± 8.8). Both groups showed significant improvements in ROM ($p < 0.05$), with DFM having a greater impact on flexion, extension, and lateral flexion. No significant difference was observed in rotational movements between the two groups. Regarding trigger point size, only the DFM group showed significant changes ($p < 0.05$); however, the delta change between DN (0.38 ± 0.5) and DFM (0.35 ± 0.3) were not statistically significant ($p > 0.05$).

CONCLUSION. Both DN and DFM effectively reduce pain and increase ROM, although neither of them significantly changed trigger point size. DFM provided better results in pain reduction 30 minutes post-treatment compared to DN.

REGISTRATION: UMIN Clinical Trials Registry (UMIN-CTR) identifier No. UMIN000057060, registered 22.02.2025.

KEYWORDS: dry needling, deep friction massage, neck pain, myofascial pain syndrome, trigger point

For citation: Qonita D.I., Arsyad A., Ariyandy A., Abdullah M.M., Hasyar A.R.A. Comparative Effectiveness of Dry Needling and Deep Friction Massage in Myofascial Pain Syndrome: an Original Research. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):44–53. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-44-53>

* **For correspondence:** Aryadi Arsyad, E-mail: aryadi.arsyad@med.unhas.ac.id

Received: 07.03.2024

Accepted: 16.06.2025

Published: 16.08.2025

Сравнительная эффективность сухого иглоукалывания и глубокого фрикционного массажа при миофасциальном болевом синдроме: оригинальное исследование

 Конита Д.И.,  Арсиад А.*,  Ариянди А.,  Абдулла М.М.,  Харсиад А.Р.А.

Университет Хасануддина, Макаassar, Индонезия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Миофасциальный болевой синдром (МБС) — это распространенное заболевание, которое ограничивает подвижность и вызывает хроническую боль. Хотя миофасциальные триггерные точки признаны ключевыми факторами, наиболее эффективные методы лечения остаются спорными. Широко используются сухое иглоукалывание (СИ) и глубокий фрикционный массаж (ГФМ), но прямых сравнений их эффективности в отношении уменьшения боли, улучшения диапазона движения (ДД) и изменения размеров триггерных точек мало. Исследования часто оценивают эти процедуры по отдельности, что оставляет пробел в понимании их сравнительной эффективности.

ЦЕЛЬ. Оценить сравнительную эффективность СИ и ГФМ в отношении МБС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Тридцать шесть участников были разделены на группы СИ и ГФМ. Оценки проводились до процедуры и через 30 минут после нее, при этом оценивался уровень боли по визуальной аналоговой шкале, ДД — с помощью гониометра, размер триггерных точек — с помощью ультрасонографии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В обеих группах наблюдалось значительное снижение уровня боли ($p < 0,05$). Группа ГФМ продемонстрировала более значительное дельта-изменение в уменьшении боли ($31,81 \pm 7,6$) по сравнению с группой СИ ($18,19 \pm 8,8$). Обе группы продемонстрировали значительное улучшение ДД ($p < 0,05$), причем ГФМ оказала большее влияние на сгибание, разгибание и боковое сгибание. Во вращательных движениях между двумя группами существенных различий не наблюдалось. Что касается размера триггерных точек, то только в группе ГФМ наблюдались значительные изменения ($p < 0,05$); однако дельта изменений между СИ ($0,38 \pm 0,5$) и ГФМ ($0,35 \pm 0,3$) не была статистически значимой ($p > 0,05$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Как СИ, так и ГФМ эффективно уменьшают боль и увеличивают ДД, хотя ни один из них существенно не изменил размер триггерных точек. ГФМ обеспечил лучшие результаты по уменьшению боли через 30 минут после процедуры по сравнению с СИ.

РЕГИСТРАЦИЯ: Идентификатор UMIN Clinical Trials Registry (UMIN-CTR) № UMIN000057060, зарегистрировано 22.02.2025.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сухое иглоукалывание, массаж глубокого трения, боль в шее, миофасциальный болевой синдром, триггерные точки

Для цитирования: Qonita D.I., Arsyad A., Ariyandi A., Abdullah M.M., Hasyar A.R.A. Comparative Effectiveness of Dry Needling and Deep Friction Massage in Myofascial Pain Syndrome: an Original Research. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):44–53. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-44-53>

* **Для корреспонденции:** Aryadi Arsyad, E-mail: aryadi.arsyad@med.unhas.ac.id

Статья получена: 07.03.2024
Статья принята к печати: 16.06.2025
Статья опубликована: 16.08.2025

INTRODUCTION

Myofascial Pain Syndrome (MPS) is a musculoskeletal disorder that results in stiffness, fatigue, tenderness, muscle tension, and restricted range of motion in affected joints [1]. It is characterized by hyperirritable nodules within skeletal muscle fibers, known as MTrPs [2]. Contributing factors to MPS include the failure of the myoprotective feedback mechanism due to excessive muscle activity, reduced ATP levels, or decreased muscle pH [3]. MTrPs can also impair postural stability, as evidenced by reduced balance function in individuals with multiple trigger points. Frequently affected muscles include the trapezius, rhomboid, infraspinatus, levator scapulae, and paravertebral muscles [4]. MPS diagnosis typically involves clinical examination and palpation of MTrPs, with ultrasonography (USG) emerging as a more precise diagnostic tool [5]. USG also aids in evaluating treatment outcomes for MPS [6].

Physiotherapists commonly use therapeutic interventions such as ischemic compression, kinesiotaping, myofascial

release, deep friction massage (DFM), and dry needling (DN) to alleviate MPS symptoms. These therapies effectively reduce pain and improve muscle function in patients with MTrPs [7, 8]. Systematic reviews highlight DN's efficacy in reducing pain intensity and improving cervical range of motion (ROM) in patients with neck pain-related MTrPs [9]. Numerous studies support DN's effectiveness in pain reduction, attributing its success to its ability to modulate pain perception and disrupt pain signaling pathways, leading to ROM and muscle strength improvements [10]. DN is a minimally invasive, cost-effective technique with a low risk of complications when performed by trained practitioners [11].

DFM is another widely used intervention. Research indicates that DFM applied to the upper trapezius muscle effectively reduces pain and enhances ROM in MPS patients [12]. These findings are consistent with studies reporting significant ROM improvements following DFM in patients with upper trapezius trigger points [13]. DFM's

immediate benefits include stimulating local blood flow and reducing muscle tension, thereby improving ROM [14]. DFM's effectiveness is further supported by understanding the complex pathophysiological mechanisms underlying MPS, where trigger points can be alleviated through manual therapy techniques like DFM [1].

Several studies have compared the effectiveness of DFM and Kamali D.N. et al. 2019 and Stieven et al. 2021 found similar results, showing that DN led to a greater increase in pain thresholds [15, 16]. In contrast, other studies reported better pressure pain threshold improvements MTrPs using conventional physiotherapy methods like DFM. Despite this, DN is often favored for its ability to shorten therapy session durations [17].

Despite robust scientific evidence supporting both DFM and DN, direct comparative studies assessing their relative effectiveness are lacking. This study aims to evaluate DFM and DN's efficacy through subjective pain assessment using the Visual Analogue Scale (VAS) and objective range of motion measurement using a goniometer. Ultrasonography will also be employed to diagnose and assess trigger point size objectively. The goal is to provide evidence-based insights into the most effective treatment options for managing MPS.

MATERIALS AND METHODS

Participants

This study used a quasi-experimental design with a pretest-posttest setup involving two groups. The participants were divided as follows: the DN group (n = 16) received dry needling treatment, and the DFM group (n = 16) received deep friction massage. The clinical characteristics of all 32 participants are detailed in Table 1.

Participants in this study were aged 20 to 55 years and experienced neck pain for up to three months. Physical examinations revealed at least one palpable nodule in the trapezius, rhomboid, or supraspinatus muscle, with MTrPs confirmed by ultrasonography. Exclusion criteria included a history of chronic diseases like diabetes or cancer, the use of Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drugs or analgesics, skin infections, open wounds, or undergoing other therapeutic treatments outside the study.

Table 1. Clinical characteristics of the 32 participants

Characteristic	DN	DFM	Min	Max
Total Participant (N)	16	16	—	—
Gender (M/F)	11/5	6/10	—	—
Age (Years Old)	39 ± 8.20	29 ± 5.47	26	52

Note: M — Male; F — Female; DN — Dry Needling; DFM — Deep Friction Massage. Data are presented as Mean ± SD where applicable.

Ethical procedure

Informed consent was obtained from the participants, and the study received approval from the Ethics Committee.

Measurement

Pre-test measurements were conducted 5 minutes before treatment and post-test 30 minutes after treatment. All physical examinations and treatments were performed

by experienced physiotherapists, who have experience in evaluating and treating myofascial pain syndrome. The initial test and final test were identical. Participants will receive an explanation of the test procedure before treatment.

Pain levels

VAS measures pain using a 10 cm (or 100 mm) line, ranging from “no pain” to “worst pain.” Participants mark a point on the line representing their pain level. The distance from the starting point to their mark, measured in millimeters, is recorded as the score.

Range of motions

Cervical ROM was assessed with patients seated and their heads in a neutral position. A goniometer was used, with its axis aligned to anatomical landmarks: the C7 spinous process for lateral flexion, the external auditory meatus for flexion-extension, and the midpoint of the head for rotation. The angles were recorded in degrees.

Trigger point size

MTrPs were identified as hypoechoic nodules with distinct edges and heterogeneous internal texture, as seen on ultrasonography. The Versanna Essential Ultrasound System (serial number 6023709WX0) was used. Measurements of TP size were taken using the system's integrated measurement tools.

Procedure

Participants were comfortably positioned for the treatments. For the DN group, USG at 8–10 Hz was used to precisely locate MTrPs and guide needle insertion. After cleaning the target area with alcohol, a sterile needle was inserted into the MTrP and manipulated with back-and-forth and rotational movements for 60 seconds.

In the DFM group, ultrasound was used to locate the trigger point, which was then marked with a pen. Using an elbow, a cross-fiber friction technique was applied with consistent pressure to the marked area for 60 seconds. The pressure was adjusted to the patient's pain tolerance, and the process was repeated three times per session.

Statistical analysis

IBM SPSS Statistics for Windows, version 25.0, was used to analyze all data. All data were tested for normality using the Shapiro-Wilk test. For normally distributed data, in this study, pain level and range of motion, paired t-test was used. Independent t-test was used to test differences between groups. For non-normally distributed data, in this study, MTrP size was used using the Wilcoxon nonparametric test to compare pre-test and post-test. Mann-Whitney test was used to compare differences between groups. Mean ± standard deviation was used to display data. If p value is less than 0.05, the difference is considered statistically significant.

RESULTS AND DISCUSSION

Baseline data

Thirty-two participants were included in this study. They were divided into two groups, DN group (11 males and 5 females) with a mean age of 39.81 ± 8.207 and DFM group (6 males and 10 females) with a mean age of 29.31 ± 5.474. All participants had myofascial trigger points

as evidenced by ultrasonography. In all participants, only the most symptomatic trigger points were treated. All participants completed the program and no participants dropped out.

Data description

Comparison of pre and post tests and analysis of differences in pain levels in the Dry Needling and Deep Friction Massage groups

The DN group showed a mean pre-test score of 65.3 ± 1.2 , which dropped to 47.1 ± 2.5 after treatment, indicating a significant reduction in pain levels ($p < 0.05$). Similarly, the DFM group had a mean pre-test score of 67.2 ± 1.2 , which decreased to 35.4 ± 2.5 post-treatment. Statistical analysis confirmed a significant improvement in pain levels ($p < 0.05$) for both groups. These results suggest that both DN and DFM are effective in reducing pain.

Comparing the DN and DFM groups to find out which is better in reducing pain. The mean Δ (delta) change in pain levels in the DN group was 18.1 ± 8.8 while in the DFM group it was 31.8 ± 7.6 (Fig. 1). The results indicate significant changes in both groups ($p < 0.05$). However, the greatest positive changes occurred in the DFM group so that DFM was better for changes in pain levels.

Comparison of pre and post tests and analysis of differences in range of motion in The Dry Needling and Deep Friction Massage groups

In the DN group, cervical ROM improved significantly across all movements. The mean pre-test flexion was 35.13 ± 3.7 , increasing to 51.31 ± 3.3 post-test. Extension improved from 44.88 ± 3.3 to 51.31 ± 3.3 , lateral flexion from 33.56 ± 1.9 to 41.00 ± 2.3 , and rotation from 48.75 ± 0.9 to 62.69 ± 1.2 . Statistical analysis confirmed these improvements as significant ($p < 0.05$), demonstrating DN's effectiveness in enhancing cervical ROM.

Similarly, the DFM group also showed significant ROM improvements in all movements. The mean pre-test flexion increased from 46.25 ± 1.0 to 55.56 ± 0.9 post-test. Extension rose from 45.00 ± 3.8 to 51.18 ± 4.0 , lateral

flexion from 32.00 ± 0.7 to 40.75 ± 0.4 , and rotation from 48.06 ± 1.2 to 61.56 ± 1.2 . These results indicate that DFM effectively enhances ROM in MPS cases ($p < 0.05$).

The Δ (delta) changes in cervical movements showed similar improvements in both the DN and DFM groups. For flexion, the DN group had a mean Δ change of 6.94 ± 4.2 , while the DFM group recorded 9.25 ± 3.3 . In extension, the mean Δ change was 6.44 ± 2.1 for the DN group and 7.81 ± 2.9 for the DFM group. Lateral flexion showed a mean Δ change of 7.44 ± 2.2 for the DN group and 8.75 ± 3.1 for the DFM group. For rotation, the DN group recorded 13.75 ± 3.8 , and the DFM group had 13.50 ± 4.0 . Statistical analysis revealed no significant differences ($p > 0.05$) in these changes between the two groups. This suggests that both DN and DFM are equally effective in improving cervical ROM in MPS.

Comparison of pre and post tests and analysis of differences in trigger point size in the Dry Needling and Deep Friction Massage groups

In both the DN and DFM groups, an increase in trigger point size was observed. For the DN group, the mean pre-test size was 0.66 ± 0.8 , rising to 0.87 ± 0.1 post-test. Statistical analysis showed no significant changes in trigger point size for this group ($p > 0.05$). Within 30 minutes post-treatment, 9 participants in the DN group showed a decrease in trigger point size, while 7 showed an increase (Fig. 2).

Similarly, the DFM group showed an increase in trigger point size, with a mean pre-test size of 1.00 ± 0.15 increasing to 1.30 ± 0.2 post-test. In this group, 4 participants experienced a reduction in size, while 12 showed an increase (Fig. 3). Unlike the DN group, the DFM group displayed significant changes in trigger point size according to statistical analysis ($p < 0.05$).

The mean Δ (delta) change in trigger point size in the DN group was 0.38 ± 0.5 while in the DFM group it was 0.35 ± 0.3 . In the group comparison, 30 minutes after treatment both groups did not show significant delta changes in trigger point size ($p > 0.05$) (Fig. 4).

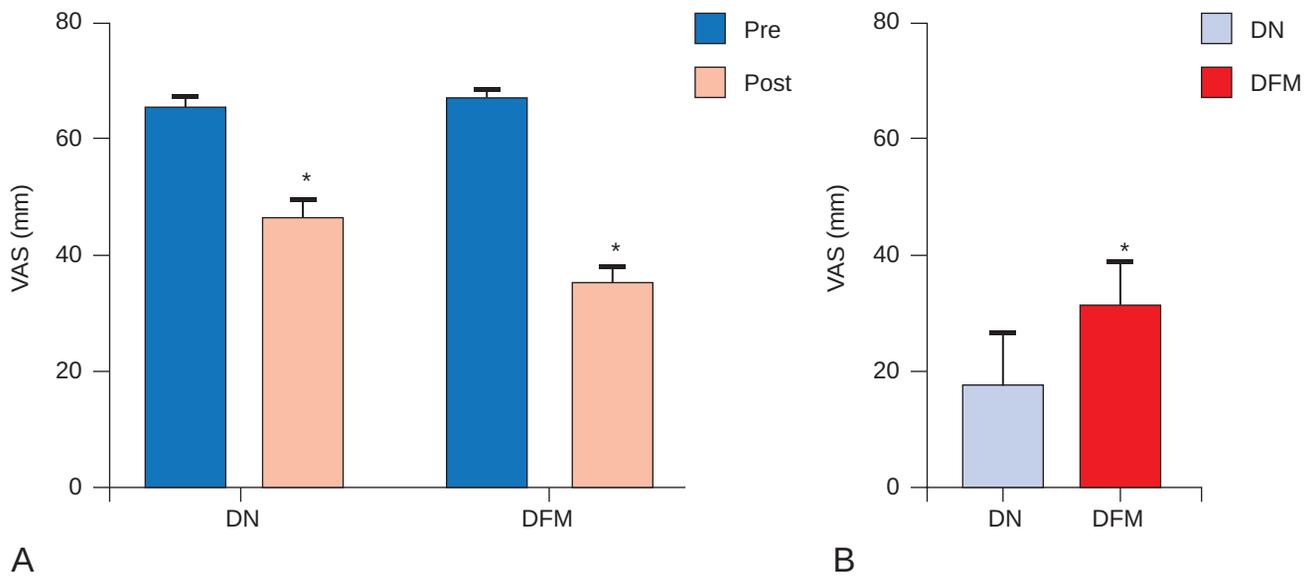


Fig. 1. Changes in pain level in DN and DFM groups

Note: A — Comparison of pre- and post-tests ROM in the DN group; B — Shows The Δ (delta) change represents the difference between post- and pre-intervention values ($\Delta = \text{Post} - \text{Pre}$). The asterisk * — $p < 0.05$ indicates a statically significant result.

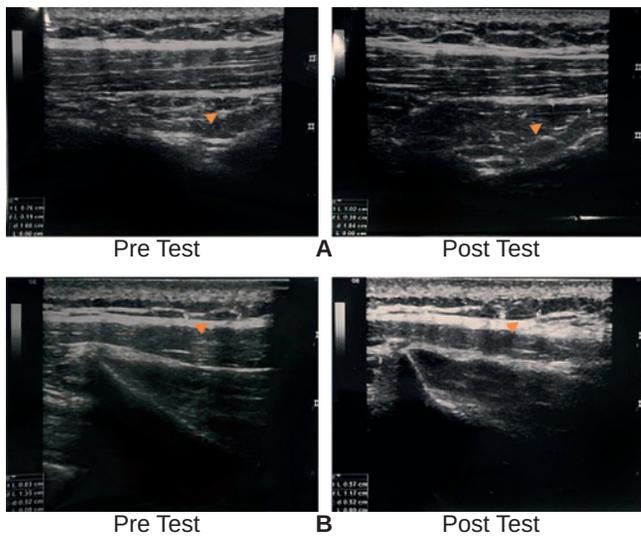


Fig. 2. Ultrasound Images of Neck Muscles Pre- and Post-Dry Needling Showing Changes in Trigger Point Size

Note: A — presents ultrasonographic (USG) images of the neck muscles captured before and after the dry needling (DN) intervention, showing an increase in trigger point size from 0.45 cm to 1.15 cm; B — displays USG images of the neck muscles obtained pre- and post- DN, highlighting a reduction in trigger point size from 1.01 cm to 0.93 cm.

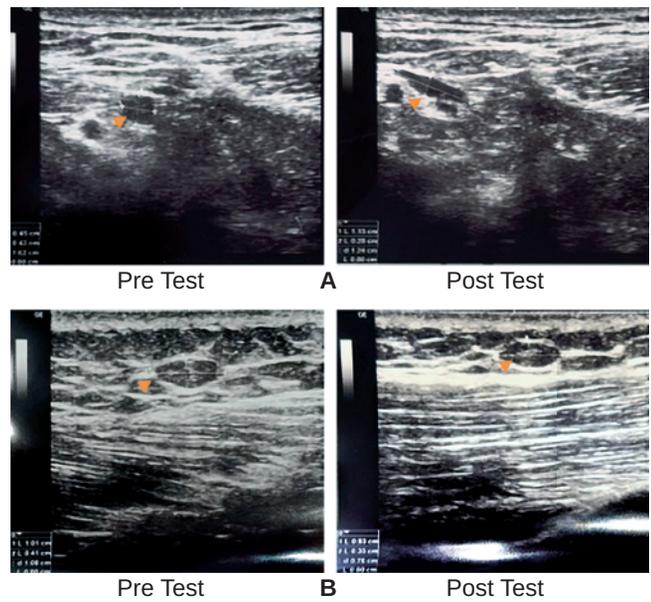


Fig. 3. Ultrasound Images of Neck Muscles Pre and Post Deep Friction Massage Showing Trigger Point Size Changes

Note: A — presents ultrasonographic (USG) images of the neck muscles captured before and after the deep friction massage (DFM) intervention, showing an increase in trigger point size from 0.76 cm to 1.02 cm; B — displays USG images of the neck muscles obtained pre- and post- DFM, highlighting a reduction in trigger point size from 0.83 cm to 0.57 cm.

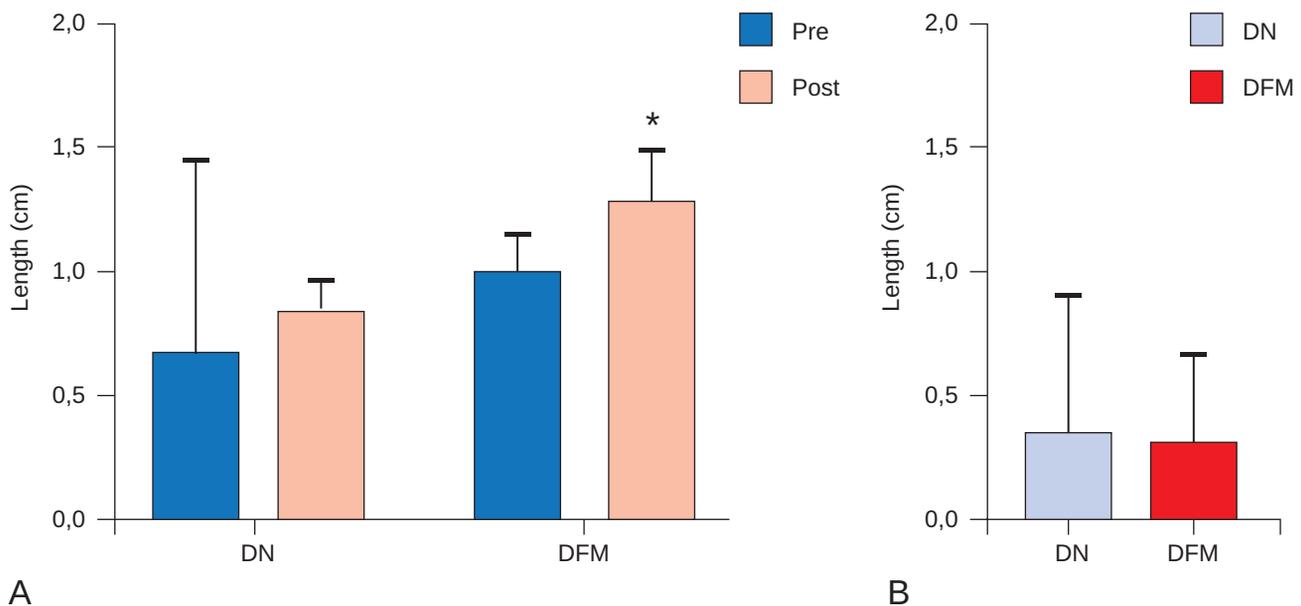


Fig. 4. Changes in trigger point size 30 minutes after dry needling in DN and DFM groups

Note: A — Comparison of pre- and post-tests of DN and DFM groups; B — The Δ (delta) change represents the difference between post- and pre-intervention values ($\Delta = \text{Post-Pre}$). The asterisk * — $p > 0.05$ indicates a statically significant result.

Comparison of pre and post tests and analysis of differences in pain levels in the Dry Needling and Deep Friction Massage groups

Pain reduction is a primary goal in MPS management. Our findings demonstrate that both DN and DFM effectively decrease pain intensity. In the DN group, a decrease in pain intensity was observed 30 minutes

after treatment. The results we obtained the mean pain level of the DN group decreased from 65.3 ± 1.2 and after treatment decreased to 47.1 ± 2.5 .

This finding is consistent with prior research demonstrating that DN significantly reduces pain in MTrPs [18]. MTrPs are characterized by the activation of nociceptors, which respond to noxious stimuli.

Shah J.P. et al. 2008 found that persistent activation of these receptors leads to central sensitization, resulting in heightened sensitivity to pain [19]. This process is marked by increased levels of inflammatory mediators around MTrPs, such as Substance P (SP), Calcitonin Gene-Related Peptide, bradykinin, and pro-inflammatory cytokines like TNF- α and IL-1 β . These substances contribute to both the inflammatory response and the amplification of pain sensitivity. Additionally, the biochemical environment surrounding active MTrPs is often associated with local ischemia (reduced blood flow) and hypoxia (oxygen deprivation), which can exacerbate pain and inflammation. The accumulation of protons, resulting in a lower pH, creates an acidic microenvironment that sensitizes nociceptors, thereby enhancing pain perception. DN has been shown to offer pain relief in MTrP through increased blood flow [20]. Furthermore, previous studies indicate that DN enhances blood circulation and metabolism, which promotes muscle relaxation. This effect is thought to be mediated by the release of vasoactive substances, including calcitonin-related peptides and SP. These substances activate A- δ and C fibers via the axon reflex, resulting in vasodilation of small blood vessels and subsequent increases in blood flow [21].

In addition to these effects, DN also directly targets MTrPs, reducing muscle tension and pain while stimulating the release of endorphins and neurotransmitters [22]. A notable study involving a rabbit model found that a single session of DN applied to the biceps femoris, containing active MTrPs, significantly increased beta-endorphin levels in both the biceps femoris and serum, while simultaneously reducing SP levels in the muscle. This finding suggests that even a single session of DN may offer beneficial effects for treating MTrPs [23].

Pain reduction was also observed in the DFM group. DFM group experienced a decrease in pain intensity from 67.2 ± 1.2 to 35.4 ± 2.5 , a result that is consistent with previous studies. Zutshi K. et al. 2021 [24] research demonstrated that myofascial release techniques, including DFM, effectively increase pain thresholds and reduce disability in MTrPs of the upper trapezius muscle. Similarly, Bau J.G. et al. 2021 [25] found that DFM enhances microcirculation and alleviates pain in patients with neck and shoulder pain, further supporting its use in managing cervical pain. The deep and targeted pressure applied during DFM induces vasodilation, which improves blood flow to the affected area. This process not only helps clear irritants, such as inflammatory substances, that contribute to pain but also enhances the delivery of oxygen and nutrients to damaged tissues [26]. Studies indicate that this increased blood flow plays a significant role in pain reduction and accelerates the healing process [14]. Furthermore, DFM may modulate pain impulses at the spinal level. By stimulating large nerve fibers through applied pressure, DFM inhibits the transmission of pain signals carried by smaller nerve fibers, aligning with the "gate control" theory of pain modulation [27].

The Δ (delta) change between DFM and DN groups reveals that DFM results in more significant improvements in pain alleviation, particularly with respect to post-treatment discomfort. Several participants reported that the discomfort following DFM was less intense and less disruptive to daily activities compared to the potentially

greater pain associated with needle insertion in DN. DFM not only focuses on pain relief but also emphasizes patient comfort and relaxation. Research suggests that massage therapies promote the release of endorphins and oxytocin, which contribute to pain reduction and facilitate relaxation in individuals [28]. These findings highlight the broader therapeutic benefits of DFM, which may enhance overall well-being in addition to addressing pain symptoms.

Comparison of pre and post tests and analysis of differences in range of motion in the Dry Needling and Deep Friction Massage groups

Both DN and DFM led to significant improvements in cervical ROM, highlighting their ability to alleviate muscle tightness and restore functional movement. The efficacy of DN in enhancing ROM is likely attributed to its effects on myofascial tissue relaxation and neuromuscular modulation. By inducing muscle relaxation, DN helps break the pain-spasm-pain cycle, reducing myofascial stiffness and promoting greater mobility.

DN improves cervical ROM through several musculoskeletal and neurological processes. First, DN helps relieve muscle tension and spasms, which are key factors limiting ROM. Studies indicate that stimulating MTrPs with needles boosts blood flow to the area, reducing hypoxia, enhancing tissue oxygenation, and aiding muscle recovery, which together increase ROM [9]. Additionally, DN triggers neuromuscular responses that improve muscle function. It enhances cervical segmental stability and reduces pain, which supports better joint mobility [29]. By activating deep cervical muscles, DN restores balance between the extensor and flexor muscles, essential for proper neck movement control. Finally, DN activates the body's pain inhibition system by stimulating nociceptive and enkephalinergic fibers, reducing pain perception [30]. With pain alleviated, participants can move more freely, thereby improving cervical ROM.

Similarly, DFM applies mechanical pressure that helps remodel collagen, break down adhesions, and restore muscle elasticity. It has been shown to significantly enhance ROM in the cervical joints through various physiological and biomechanical effects. One key mechanism is improved local blood circulation. By targeting muscle fibers, DFM applies pressure that separates them mechanically, increasing local blood flow [26]. This enhanced circulation alleviates pain, clears metabolic waste, and reduces muscle tension. Increased blood flow also decreases inflammation and boosts tissue oxygenation, essential for relieving stiffness and improving cervical joint mobility. Additionally, DFM may help reduce adhesions and scar tissue, promoting flexibility and ROM in the cervical region [14]. The mechanical stimulation from DFM can also trigger a reflexive relaxation of muscles, lowering muscle tone and further improving ROM [31]. Beyond these physical effects, DFM induces a state of relaxation, which supports better muscle function and coordination, contributing to its overall effectiveness in enhancing cervical joint mobility [32].

While both interventions improved ROM across multiple planes of movement, the comparative analysis revealed that DFM had a more pronounced effect on flexion, extension, and lateral flexion, whereas improvements

in rotation were comparable between groups (Fig. 5). This suggests that while DN remains a viable option for enhancing mobility, DFM may offer more comprehensive benefits in addressing functional impairments associated with MPS.

Comparison of pre and post tests and analysis of differences in trigger point size in the Dry Needling and Deep Friction Massage groups

This study uniquely employed ultrasonography to objectively measure trigger point (TP) size. Results showed that neither DN nor DFM significantly reduced TP size within 30 minutes post-treatment, indicating that visible structural changes in myofascial tissue may require more time. Interestingly, the DN group exhibited individual variations: some participants experienced a decrease in TP size, while others showed an increase (Table 2). These differences could be linked to the acute inflammatory response caused by needle insertion, a topic deserving further exploration.

Table 2. Changes in the size of trigger points in the DN and DFM groups

Participants Group	Trigger Point Size	
	Decrease	Increase
DN group	9	7
DFM group	4	12

Note: “Decrease” indicates the participants who showed a reduction in trigger point size after treatment, while “Increase” refers to those who experienced an enlargement in trigger point size post-treatment. DN — Dry Needling; DFM — and Deep Friction Massage.

The enlargement of MTrPs was observed in participants who had been experiencing pain for less than 5 days. This response is likely part of the healing process, as needle insertion into the trigger point can induce a local inflammatory reaction. This inflammatory response is characterized by increased blood flow and the release of inflammatory mediators, which can lead to localized swelling and pain in the affected area [33]. The body’s response involves enhanced blood circulation and the mobilization of immune cells to the site of injury, facilitating tissue repair [34]. Research by Nowak et al. suggests that direct intervention on trigger points may provoke a transient inflammatory reaction, potentially leading to an increase in TP size [35].

In contrast, participants who had experienced pain for more than 5 days demonstrated a reduction in TP size. This may be due to the MTrPs transitioning from the acute phase, in which the nervous system becomes hyper-responsive, altering pain perception and diminishing the ability to elicit a twitch response [36]. However, further research is needed to explore the duration of pain relief following dry needling and to better understand the temporal dynamics of TP size changes in response to treatment.

DFM group, despite demonstrating significant improvements in pain reduction and ROM, exhibited varied responses in trigger point size, with some participants

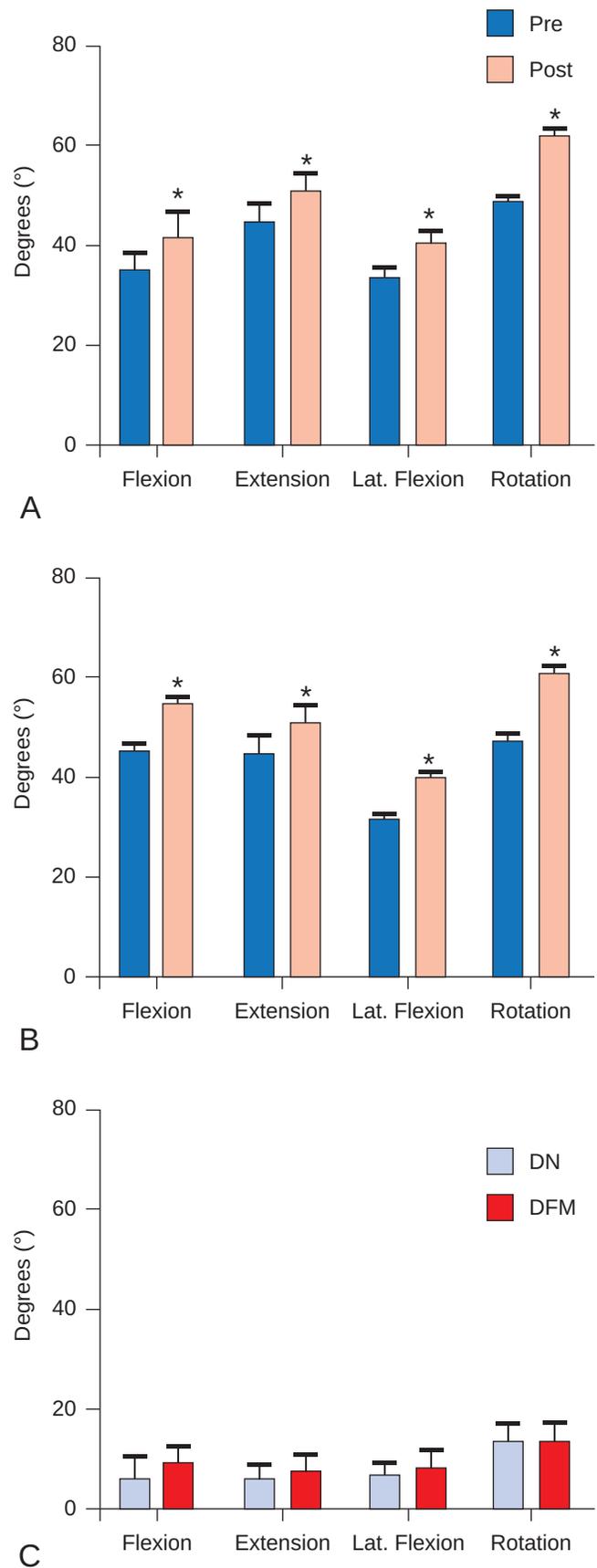


Fig. 5. Changes ROM in flexion, extention, lateral flexion, and rotation 30 minutes after treatment DN and DFM groups

Note: A — Comparison of pre- and post-tests ROM in the DN group; B — Comparison of pre- and post-tests ROM in the DFM group; C — The Δ (delta) change represents the difference between post- and pre-intervention values (Δ = Post-Pre). The asterisk * — p < 0.05 indicates a statically significant result.

showing an increase and others a decrease (Table 2). This variability supports the notion that immediate symptom relief does not necessarily correspond to immediate structural changes in MTrPs.

The pre- and post-treatment evaluations for the DFM group showed notable changes in trigger point (TP) size, potentially due to less variability in individual responses. Specifically, 12 participants experienced an increase in TP size, while 4 showed a decrease. The reduction in MTrP size could be linked to DFM's ability to stimulate fibroblast activity, which is essential for tissue healing and remodeling. The mechanical pressure applied during DFM helps realign collagen fibers and improve tissue integrity [26]. Additionally, the transverse friction technique used in DFM targets muscle fibers, promoting a healing process that reduces muscle tension and tightness, leading to a decrease in MTrP size [37]. As muscle tension lessens, joint mobility improves, further contributing to the reduction in MTrP size since tight muscles often restrict joint movement.

In contrast, some participants experienced an increase in TP size after DFM, likely due to the inflammatory response caused by tissue manipulation. The deep pressure applied during DFM can create microtrauma in muscle fibers, triggering localized inflammation as part of the natural healing process [38]. This inflammation may temporarily lead to swelling or heightened sensitivity, which can appear as TP enlargement. However, this effect is usually short-lived, and with ongoing treatment, TPs generally decrease in size, accompanied by symptom

improvement [39]. The relationship between pain duration and the body's response to treatment is an area requiring further investigation. Future studies should focus on the factors influencing whether TPs grow or shrink following therapeutic interventions.

DFM may provide greater benefits as its mechanical pressure applied along muscle fibers helps break down adhesions. However, DN also showed effects, despite no significant change in TP size. This difference might be due to the DN group having both acute and chronic conditions, which may have influenced the results. In comparison, the DFM group had more participants with acute conditions. To better understand these treatments, future research should focus on the long-term effects of DFM and DN on TP size and their role in managing MPS.

CONCLUSION

This study provides valuable comparative insights into the effectiveness of DN and DFM in the treatment of MPS. While both interventions significantly reduce pain and enhance ROM, DFM demonstrates superior efficacy in pain relief and broader improvements in movement. The absence of immediate trigger point size reduction suggests that structural changes require more prolonged treatment. These findings emphasize the clinical utility of DFM as an optimal therapeutic choice for acute pain management while reinforcing DN's role in neuromuscular modulation. Future studies should focus on long-term treatment outcomes and individualized therapy protocols to optimize patient care in MPS management.

ADDITIONAL INFORMATION

Dies I. Qonita, Magister Program in Biomedical Science, Postgraduate School of Hasanuddin University
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4754-9373>

Aryadi Arsyad, Ph.D. (Biomed.), Professor at the Departement of Physiology and the Physiology Education Coordinator in the Postgraduate School, Hasanuddin University.
E-mail: aryadi.arsyad@med.unhas.ac.id;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3492-0599>

Andi Ariyandy, Ph.D. (Med.), Lecturer, Faculty of Medicine, Hasanuddin University.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6492-5235>

Meutiah M. Abdullah, Physiotherapy Lecturer, Faculty of Nursing, Hasanuddin University.

Andi R.A. Hasyar, Physiotherapy Lecturer, Faculty of Nursing, Hasanuddin University.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2230-8754>

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: Qonita D.I. — conceptualization, methodology, resources, writing — original draft, supervision; Arsyad A. — formal analysis, investigation, writing — review & editing, project administration; Ariyandy A. — software, writing — review & editing, visualization; Abdullah M.M. — writing —

review & editing, validation; Hasyar A.R.A. — validation, data curation.

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.

Ethical 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 Research Ethics Committee of the Faculty of Public Health, Hasanuddin University, Indonesia, Protocol No. 151024092317 dated 22.10.2024.

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

Acknowledgements. We would like to express our sincere gratitude to the Metabolism and Oxidative Stress Research Group (MOST RG) for their invaluable guidance and assistance in the conduct of this study. We also extend our appreciation to the participants and the Biodika Physiotherapy Clinic for their essential contributions and active involvement throughout the research process.

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

References

1. Konior K., Bitenc-Jasiejko A., Lietz-Kijak D., et al. Multimodal programmes in the treatment of myofascial pain syndrome (MPS) — a two-step review. *Fizjoterapia Pol.* 2023; 1(23): 188–203. <http://dx.doi.org/10.56984/8ZG07B914>
2. Gerwin R.D. Diagnosis of myofascial pain syndrome. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2014; 25(2): 341–355. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2014.01.011>
3. Gerwin R.D. A New Unified Theory of Trigger Point Formation: Failure of Pre- and Post-Synaptic Feedback Control Mechanisms. *Int J Mol Sci.* 2023; 24(8142): 1–14. <https://doi.org/10.3390/ijms24098142>
4. Gálvez L.A., Cuervo Pulgarín J.L., Castellanos Ramelli D., et al. Trapezius-rhomboid plane block for myofascial pain syndrome. Description of a new intervention. *Interv Pain Med.* 2024; 3(2): 3–6. <https://doi.org/10.1016/j.inpm.2024.100410>
5. Wu W.T., Chang K.V., Ricci V., Özçakar L. Ultrasound imaging and guidance in the management of myofascial pain syndrome: a narrative review. *J Yeungnam Med Sci.* 2024; 41(87): 179–187. <https://doi.org/10.12701/jyms.2024.00416>
6. Hung C.Y., Wang B., Chang H.C., et al. Pictorial Essay on Ultrasound and Magnetic Resonance Imaging of Paraspinal Muscles for Myofascial Pain Syndrome. *Life.* 2024; 14(449): 1–29. <https://doi.org/10.3390/life14040499>
7. Zhang X.F., Liu L., Wang B.B., et al. Evidence for kinesio taping in management of myofascial pain syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2019; 33(5): 865–874. <https://doi.org/10.1177/0269215519826267>
8. Shahzad H., Chaudhary W.A., Baig M.I., et al. Effectiveness of Dry Needling versus Cupping Therapy for Pain in Piriformis Syndrome. *J Heal Rehabil Res.* 2024; 4(2): 1090–1094. <https://doi.org/10.61919/jhrr.v4i2.935>
9. Navarro-Santana M.J., Sánchez-Infante J., Gómez-Chiguano G.F., et al. Effects of Trigger Point Dry Needling on Lateral Epicondylalgia of Musculoskeletal Origin: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clin Rehabil.* 2020; 34(11): 1327–1340. <https://doi.org/10.1177/0269215520937468>
10. Roy S.D., Sur M., Nath P., Roy B. Exploring the potential of dry needling as a targeted approach for tennis elbow relief and recovery. *Int J Orthop Sci Physiother.* 2024; 6(1): 21–24. <https://doi.org/10.33545/26648989.2024.v6.i1a.21>
11. Munoz M., Dommerholt J., Perez-Palomares S., et al. Dry Needling and Antithrombotic Drugs. *Hindawi.* 2022; 2022: 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/1363477>
12. Kaur J., Kapila T. To Compare the Efficacy of Deep Transverse Friction Massage and Ultrasound in Patients with Upper Trapezius Trigger Points. *Int J Trend Sci Res Dev.* 2017; 1: 197–202. <https://doi.org/10.31142/ijtsrd2263>
13. Mohamadi M., Piroozi S., Rashidi I., Hosseinifard S. Friction massage versus kinesiotaping for short-term management of latent trigger points in the upper trapezius: A randomized controlled trial. *Chiropr Man Ther.* 2017; 25(1): 1–6. <https://doi.org/10.1186/s12998-017-0156-9>
14. Hassan S.M., Hafez A.R., Seif H.E., Kachanathu S.J. The Effect of Deep Friction Massage versus Stretching of Wrist Extensor Muscles in the Treatment of Patients with Tennis Elbow. *Open J Ther Rehabil.* 2016; 04(01): 48–54. <https://doi.org/10.4236/ojtr.2016.41004>
15. Kamali F., Mohamadi M., Fakheri L., Mohammadnejad F. Dry needling versus friction massage to treat tension type headache: A randomized clinical trial. *J Bodyw Mov Ther.* 2019; 23(1): 89–93. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2018.01.009>
16. Stieven F.F., Ferreira G.E., de Araújo F.X., et al. Immediate Effects of Dry Needling and Myofascial Release on Local and Widespread Pressure Pain Threshold in Individuals With Active Upper Trapezius Trigger Points: A Randomized Clinical Trial. *J Manip Physiol Ther.* 2021; 44(2): 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2020.07.003>
17. Rayegani S.M., Bayat M., Bahrami M.H., et al. Comparison of dry needling and physiotherapy in treatment of myofascial pain syndrome. *Clin Rheumatol.* 2014; 33(6): 859–864. <https://doi.org/10.1007/s10067-013-2448-3>
18. Kaljić E., Trtak N., Avdić D., et al. The role of a dry needling technique in pain reduction. *J Heal Sci.* 2018; 8(3): 128–139. <https://doi.org/10.17532/jhsci.2018.610>
19. Shah J.P., Danoff J.V., Desai M.J., et al. Biochemicals Associated with Pain and Inflammation are Elevated in Sites Near to and Remote from Active Myofascial Trigger Points. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008; 89(1): 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.10.018>
20. Cagnie B., Barbe T., De Ridder E., et al. The influence of dry needling of the trapezius muscle on muscle blood flow and oxygenation. *J Manipulative Physiol Ther.* 2012; 35(9): 685–691. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2012.10.005>
21. Badriyah Hidayat H., Oktavianti A. Dry Needling Sebagai Terapi Nyeri Miofasial Servikal. *Maj Kedokt Neurosains Perhimpun Dr Spes Saraf Indones.* 2020; 37(4). <https://doi.org/10.52386/neurona.v37i4.177>
22. Nugraha R., Rahmatika, Sudaryanto, Hasbiah, Erawan T. Effect of Ultrasound Combined with Dry Needling on Myofascial Pain in the Upper Trapezius: a Controlled Randomised Study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2024; 23(6):19–25. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-6-19-25>
23. Hsieh Y.L., Yang S.A., Yang C.C., Chou L.W. Dry needling at myofascial trigger spots of rabbit skeletal muscles modulates the biochemicals associated with pain, inflammation, and hypoxia. *Evidence-based Complement Altern Med.* 2012; 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/342165>
24. Zutshi K., Verma P., Hazari A. Effectiveness of Myofascial Release in Improving Pain, Pain Pressure Threshold and Disability as Compared with Standard Care in Upper Trapezius Myofascial Trigger Points. *Indian J Physiother Occup Ther — An Int J.* 2021; 15(3): 37–44. <https://doi.org/10.37506/ijpot.v15i3.16161>
25. Bau J.G., Wu S.K., Huang B.W., et al. Myofascial treatment for microcirculation in patients with postural neck and shoulder pain. *Diagnostics.* 2021; 11(12): 1–12. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11122226>
26. Yoon Y.S., Yu K.P., Lee K.J., et al. Development and application of a newly designed massage instrument for deep cross-friction massage in chronic non-specific low back pain. *Ann Rehabil Med.* 2012; 36(1): 55–65. <https://doi.org/10.5535/arm.2012.36.1.55>
27. Kumar A., Sandeep P.K., Ramkumar S.D. Efficacy of corticosteroid injection vs deep friction massage in lateral epicondylitis. *Int J Orthop Sci.* 2023; 9(1): 115–118. <https://doi.org/10.22271/ortho.2023.v9.i1b.3285>
28. Morhenn V., Beavin L.E., Zak P.J. Massage increases oxytocin and reduces adrenocorticotropin hormone in humans. *Altern Ther Health Med.* 2012; 18(6): 11–18.
29. Fernández-de-Las-Peñas C., Dommerholt J. International consensus on diagnostic criteria and clinical considerations of myofascial trigger points: a delphi study. *Pain Med.* 2018; 19(1): 142–150. <https://doi.org/10.1093/pm/pnx207>
30. Fernández-De-Las-Peñas C., Plaza-Manzano G., Sanchez-Infante J., et al. Is dry needling effective when combined with other therapies for myofascial trigger points associated with neck pain symptoms? A systematic review and meta-analysis. *Pain Res Manag.* 2021; 2021: 8836427. <https://doi.org/10.1155/2021/8836427>
31. Pantouvaki A., Velivasakis G., Kastanis G. Functional outcomes of perilunate dislocation injuries treated with deep friction massage: one year follow-up. *Int J Innov Res Med Sci.* 2019; 04(12): 731–734. <https://doi.org/10.23958/ijirms/vol04-i12/795>

32. Moshrif A., Elwan M., Daifullah O.S. Deep friction massage versus local steroid injection for treatment of plantar fasciitis: a randomized controlled trial. *Egypt Rheumatol Rehabil.* 2020; 47(1). <https://doi.org/10.1186/s43166-020-00013-6>
33. Fernández-de-Las-Peñas C., Nijs J. Trigger point dry needling for the treatment of myofascial pain syndrome: current perspectives within a pain neuroscience paradigm. *J Pain Res.* 2019; 12: 1899–1911. <https://doi.org/10.2147/JPR.S154728>
34. Peter Z.B., Tiwari B. Effect of dry needling in myofascial pain syndrome: a case report. *Int J Heal Sci Res.* 2024; 14(5): 326–330. <https://doi.org/10.52403/ijhsr.20240542>
35. Nowak Z., Chęciński M., Nitecka-Buchta A., et al. Intramuscular injections and dry needling within masticatory muscles in management of myofascial pain. Systematic review of clinical trials. *Int J Environ Res Public Health.* 2021; 18(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph18189552>
36. Gerber L.H., Sikdar S., Aredo J.V., et al. Beneficial effects of dry needling for treatment of chronic myofascial pain persist for 6 weeks after treatment completion. *PM R.* 2017; 9(2): 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2016.06.006>
37. Doley M., Warikoo D., Arunmozhi R. Effect of positional release therapy and deep transverse friction massage on gluteus medius trigger point — a comparative study. *J Exerc Sci Physiother.* 2013; 9(1): 40. <https://doi.org/10.18376//2013/v9i1/67579>
38. Shu D., Wang J., Meng F., et al. Changes in inflammatory edema and fat fraction of thigh muscles following a half-marathon in recreational marathon runners. *Eur J Sport Sci.* 2024; 24(10): 1508–1515. <https://doi.org/10.1002/ejsc.12189>
39. Choksi K., Chauhan S., Jaria S., Agrawal A. Effect of deep transverse friction massage and ischemic compression in trapezitis: a randomized controlled trial. *Indian J Physiother Occup Ther — An Int J.* 2021; 15(1): 47–53. <https://doi.org/10.37506/ijpot.v15i1.13347>

Реабилитация пациентов с ишемическим инсультом с применением виртуальной реальности: проспективное рандомизированное исследование

 Туровина Е.Ф.^{1,*},  Плотников Д.Н.²

¹ Тюменский государственный медицинский университет Минздрава России, Тюмень, Россия

² Областная больница № 23 (г. Ялуторовск), Ялуторовск, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Актуальной проблемой является разработка и оценка эффективности новых методов реабилитации пациентов с ишемическим инсультом в острый период.

ЦЕЛЬ. Оценить результат проспективного (6 месяцев) наблюдения пациентов с ишемическим инсультом после реабилитации с применением виртуальной реальности по динамике мобильности и двигательных функций нижних конечностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. На базе ГБУЗ ТО «Областная больница № 23» (г. Ялуторовск) в первичном сосудистом отделении (неврологический профиль) проведено одноцентровое проспективное рандомизированное исследование по оценке эффективности методов комплексной реабилитации с применением виртуальной реальности (VR) у пациентов с ишемическим инсультом. Методом слепой рандомизации пациенты распределены на 3 группы. Во всех трех группах проходил идентичный курс реабилитации согласно клиническим рекомендациям после завершения острейшего периода острого нарушения мозгового кровообращения. Основная группа ($n = 30$) пациентов получала в дополнение к основному курсу реабилитации иммерсивную VR и дополненную реальность (ДР). Пациенты группы сравнения ($n = 30$) получали основной курс реабилитации и ДР. Пациенты контрольной группы ($n = 30$) получили основной курс реабилитации без ДР и VR. Произведена оценка эффективности по идентичным клинико-функциональным шкалам после курса реабилитации и через 6 месяцев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. При обследовании пациентов через 10 дней отмечено увеличение силы в нижних конечностях и улучшение координации при опоре. В основной группе на стабилOMETрии через 10 дней показатель распределения нагрузки на стороне поражения увеличился с 39 [13; 94] % до 46 [15; 63] %, в контрольной группе — с 31,5 [6; 88] % до 41 [9; 71] % ($p < 0,05$). Отмечено снижение выраженности нарушений в функционировании пациентов во всех трех группах. Через 6 месяцев выявлено, что в основной группе у 50 % пациентов неврологические нарушения средней степени тяжести перешли в более легкие градации. Полученные результаты свидетельствовали о лучшем восстановлении в основной группе с VR и ДР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В результате проведенного исследования отмечены положительные эффекты в применении реабилитации пациентов с ишемическим инсультом с включением VR иммерсивного и дополненного типа. Методика может применяться при реабилитации в острый период ишемического инсульта при составлении реабилитационных программ и подлежит дальнейшему изучению.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инсульт, реабилитация, виртуальная реальность, восстановление

Для цитирования / For citation: Туровина Е.Ф., Плотников Д.Н. Реабилитация пациентов с ишемическим инсультом с применением виртуальной реальности: проспективное рандомизированное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(4):54–66. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-54-66> [Turovinina E.F., Plotnikov D.N. Rehabilitation of Patients with Ischemic Stroke Using Virtual Reality: a Prospective Randomized Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4): 54–66. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-54-66> (In Russ.).]

* Для корреспонденции: Туровина Елена Фаридовна, e-mail: e_turov@mail.ru, turovinina@tyumsmu.ru

Статья получена: 09.01.2025
Статья принята к печати: 25.04.2025
Статья опубликована: 16.08.2025

Rehabilitation of Patients with Ischemic Stroke Using Virtual Reality: a Prospective Randomized Study

 Elena F. Turovinina^{1,*},  Dmitriy N. Plotnikov²

¹ Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

² Regional Hospital No. 23 (Yalutorovsk), Yalutorovsk, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. The current problem lies in developing and evaluating the effectiveness of new rehabilitation methods for patients with ischaemic stroke during the acute phase.

AIM. To evaluate the result of a prospective (6 month) follow-up of patients with ischemic stroke after rehabilitation using virtual reality on the dynamics of mobility and motor functions of the lower extremities.

MATERIALS AND METHODS. On the basis of Regional Hospital No. 23 (Yalutorovsk), in the primary vascular department (neurological profile), a single-center prospective randomized trial was conducted to evaluate the effectiveness of integrated rehabilitation methods using virtual reality in patients with ischemic stroke. By the method of blind randomization, after receiving written consent to participate in the study, the patients were divided into 3 groups. All three groups underwent an identical rehabilitation course according to clinical recommendations after the end of the acute period of stroke. The main group ($n = 30$) patients received immersive virtual (VR) and augmented reality (AR) in addition to the basic rehabilitation course. The comparison group ($n = 30$) — patients received basic rehabilitation, etc. The control group ($n = 30$) — patients received a basic course of rehabilitation without AR and VR. The effectiveness was assessed using identical clinical and functional scales after the rehabilitation course and after 6 months.

RESULTS AND DISCUSSION. Examination of patients after 10 days showed an increase in strength in the lower extremities and improved coordination in support. In the main group, after 10 days, the load distribution index on the affected side increased from 39 [13; 94] % to 46 [15; 63] % on stabilometry, compared with 31.5 [6; 88] % to 41 [9; 71] % in the control group ($p < 0.05$). There was a decrease in the severity of disorders in the functioning of patients in all three groups. After 6 months, it was revealed that in the main group, 50 % of the patients had moderate neurological disorders that had developed into milder grades. The results indicated a better recovery in the main group with VR and AR.

CONCLUSION. As a result of the study, positive effects were noted in the use of rehabilitation of patients with ischemic stroke with the inclusion of immersive and augmented virtual reality. The technique can be used for rehabilitation in the acute period of ischemic stroke in the preparation of rehabilitation programs and is subject to further study.

KEYWORDS: stroke, rehabilitation, virtual reality, recovery

For citation: Turovinina E.F., Plotnikov D.N. Rehabilitation of Patients with Ischemic Stroke Using Virtual Reality: a Prospective Randomized Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):54–66. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-54-66> (In Russ.).

***For correspondence:** Elena F. Turovinina, E-mail: e_turov@mail.ru, turovinina@tyumsmu.ru

Received: 09.01.2025

Accepted: 25.04.2025

Published: 16.08.2025

ВВЕДЕНИЕ

Инсульт продолжает оставаться одной из главных причин длительной инвалидности у взрослых, охватывая 80–86 % [1]. Учитывая масштаб проблемы, реабилитация пациентов с инсультом становится приоритетным направлением в здравоохранении. Среди последствий острого нарушения мозгового кровообращения наиболее частыми причинами инвалидности являются проблемы с движением [2]. Этот фактор значительно влияет на социальную самостоятельность и работоспособность пациента, поэтому восстановление подвижности выступает одной из ключевых задач реабилитации.

В последние годы наблюдается устойчивый рост числа инвалидов, перенесших инсульт. В России среди таких пациентов к работе возвращаются лишь 3–23 %, в то время как 85 % нуждаются в постоянной медико-социальной помощи, а 20–30 % сталкиваются с глубокой инвалидностью на протяжении всей жизни [3].

Одним из ключевых аспектов восстановления является раннее начало реабилитационных мероприятий,

что возможно благодаря современной медицине и технологиям [4].

Современные подходы к реабилитации пациентов после инсульта направлены на максимальное восстановление утраченных функций и улучшение качества жизни [5]. Важным аспектом является ранняя реабилитация, которая должна начинаться сразу после стабилизации состояния пациента [6]. Это значительно повышает шансы на восстановление двигательных функций и, следовательно, на социальную и профессиональную реинтеграцию пациента. Ведь от качества начатой реабилитации зависит, с каким неврологическим дефицитом останется пациент на всю оставшуюся жизнь [7, 8]. Эффективные программы включают в себя не только медицинское лечение, но и физиотерапию, лечебную физкультуру, логопедическую и когнитивную терапии [9, 10]. Индивидуальный подход к каждому пациенту позволяет более точно адаптировать реабилитационные методы в зависимости от степени тяжести и характера нарушения функций [11–13].

Существует множество подходов и методик, которые применяются в реабилитации лиц, перенесших инсульт [14–16]. Среди них физиотерапия, эрготерапия, а также использование роботизированных систем и виртуальной реальности (VR) [17–19]. Эти методы направлены на максимальное восстановление утраченных функций и адаптацию к новым условиям жизни.

Тем не менее, несмотря на достижения в реабилитационной медицине, остается множество нерешенных вопросов. Например, как влияет иммерсивная и неиммерсивная VR на результат реабилитации в острый период инсульта и какие происходят изменения в отдаленный период.

ЦЕЛЬ

Оценить результат проспективного (6 месяцев) наблюдения пациентов с ишемическим инсультом после реабилитации с применением VR по динамике мобильности и двигательных функций нижних конечностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено одноцентровое проспективное рандомизированное исследование по оценке эффективности метода реабилитации с применением VR у пациентов с ишемическим инсультом в острый период. Исследование проведено на базе ГБУЗ ТО «Областная больница № 23» (г. Ялуторовск) области в первичном сосудистом отделении (неврологический профиль). В исследование включено 90 пациентов с ишемическим инсультом в острый период.

В качестве иммерсивной VR применялась программа VR¹ в шлеме Pico-4. Для неиммерсивной дополненной реальности (ДР) использована реабилитационная перчатка Аника (ООО НПФ «Реабилитационные технологии», Россия).

Отбор в группы сравнения проходил по критериям включения, невключения в соответствии с решением локального этического комитета при ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России (протокол № 97 от 09.01.2021).

Критерии включения

Мужчины и женщины в возрасте от 18 до 75 лет. Пациенты, у которых впервые случилось острое нарушение мозгового кровообращения. Наличие у пациента моторной функции нижних конечностей с оценкой 4 или ниже по шкале Британского медицинского исследовательского совета для измерения силы мышц. Пациенты, к которым не была применена тромболитическая терапия. Участники с результатом по шкале реабилитационной маршрутизации менее 6 баллов.

Критерии невключения

Наличие эпилептиформной активности по электроэнцефалографии, наличие когнитивных нарушений, при которых показатель по Монреальской шкале оценки когнитивных способностей (MoCA) ниже 24 баллов. Наличие других неврологических и соматических заболеваний, которые приводят к различным степеням двигательных нарушений. Пациенты, проходящие тромболитическую терапию. Участники с результатом по шкале реабилитационной маршрутизации 6 баллов. Лица с нарушениями зрения. Пациенты в состоянии острого психоза.

Критерии исключения

Непереносимость методов реабилитации, включенных в программу, в виде тошноты, рвоты, головокружения, любых других соматических проявлений.

Отказ пациентов от применения VR в реабилитации. Отсутствие мотивации у пациентов. Возникновение острых состояний, угрожающих жизни пациента; побочная реакция на базовое медицинское лечение.

Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе производилась оценка состояния пациентов при завершении острейшего периода ишемического инсульта (3-й день) перед включением в исследование и оценка показателей через 10 дней после начала реабилитационных мероприятий. Применялись субъективные методы оценки согласно Федеральным клиническим рекомендациям² и Приказу Минздрава России³. К этим шкалам отнесли: шкала Берга, шкала оценки тяжести инсульта NIHSS, шкала Рэнкина (ШР), индекс мобильности Ривермид, шкала реабилитационной маршрутизации, индекс ходьбы Хаузера и категории функциональности ходьбы по Holden. Для объективизации результатов применялась стабилметрия (стабилоплатформа Tumo Therapy Hlate). Дополнительная диагностика включала электроэнцефалографию для изучения электрической активности мозга. Исследование проводилось перед началом реабилитационных мероприятий и при завершении курса для исключения эпилептиформной активности головного мозга. Второй этап проходил через 6 месяцев в конце раннего восстановительного периода ишемического инсульта, при котором производилась оценка реабилитационных мероприятий с использованием субъективных методов шкалы Берга, шкалы оценки тяжести инсульта NIHSS, ШР, индекса мобильности Ривермид, шкалы реабилитационной маршрутизации, индекса ходьбы Хаузера и категории функциональности ходьбы по Holden. Методом слепой рандомизации пациенты распределены на 3 группы (табл. 1). От всех участников исследования были получены информированные письменные согласия.

1 Туровина Е.Ф., Копытов А.А., Плотников Д.Н. Автоматизированная система для нейрореабилитации «VIARR100». Свидетельство о регистрации программного обеспечения. Патент RU 2022685148, 21.12.2022. Per. № 2022685306, 21.12.2022. [Turovinina E.F., Kopytov A.A., Plotnikov D.N. Automated system for neurorehabilitation «VIARR100». Certificate of registration of the software. Patent RU 2022685148, 21.12.2022. Request No. 2022685306 dated 21.12.2022 (In Russ.)]

2 Министерство здравоохранения Российской Федерации. Клинические рекомендации. Ишемический инсульт и транзиторная ишемическая атака у взрослых. Москва. 2024; 28 с.

3 Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 31 июля 2020 г. № 778н «О порядке организации медицинской реабилитации взрослых»

Таблица 1. Характеристика пациентов, включенных в исследование по полу и возрасту (M ± SD)
Table 1. Characteristics of patients included in the study by gender and age (M ± SD)

Основные характеристики / Main characteristics		Основная группа (n = 30) / Main group (n = 30)	Группа сравнения (n = 30) / Comparison group (n = 30)	Контрольная группа (n = 30) / Control group (n = 30)
Пол / Gender	Мужчины / Men	15 (50 %)	24 (80 %)	21 (70,0 %)
	Женщины / Women	15 (50 %)	6 (20 %)	9 (30 %)
Возраст, лет / Age, years		56,1 ± 13,9	55,9 ± 11,1	54,2 ± 12

Во всех трех группах проходил идентичный курс реабилитации согласно клиническим рекомендациям через 3 дня после стабилизации состояния и завершения острейшего периода острого нарушения мозгового кровообращения. Комплексная мультидисциплинарная реабилитация, охватывающая лекарственную терапию, лечебные упражнения и психологическую поддержку, проводилась в соответствии с клиническими рекомендациями Минздрава России во всех трех группах. Отличие заключалось в использовании ВР либо иммерсивной, либо дополненной.

Основная группа (n = 30) получала иммерсивную ВР и неиммерсивную ДР в дополнение к основному курсу реабилитации. Пациенты из основной группы проходили занятия с использованием компьютерной программы в течение 10 дней ежедневно длительностью по 15 минут. В качестве виртуального окружения использовано моделирование ситуации движения на велосипеде с помощью шлема ВР, движения нижних конечностей осуществлял роботизированный велотренажер [22]. Такой подход позволял стимулировать как физическую, так и когнитивную активность. Неиммерсивная ДР, представленная реабилитационной перчаткой «Аника» с биологической обратной связью, применялась ежедневно в виде 15-минутных сеансов. Каждое движение визуализировалось на мониторе компьютера, что позволяло пациенту наблюдать и кор-

ректировать выполнение упражнений в режиме реального времени. Визуальная обратная связь значительно усиливает заинтересованность пациента, поскольку он имеет возможность видеть свои достижения и работать над улучшением точности движений.

Группа сравнения (n = 30) получала только ДР (занятия с использованием реабилитационной перчатки «Аника» с биологической обратной связью) без иммерсивной ВР ежедневно по 15 минут. В дополнение к основному курсу реабилитации контрольная группа (n = 30) получала основной курс реабилитации без ДР и ВР.

Клинические данные были подвергнуты анализу с использованием статистических методов, применяя IBM SPSS Statistics версии 23 и Microsoft Excel 2000. В условиях ограниченного размера выборки для проверки нормальности распределения данных использовался тест Шапиро — Уилка. При сравнении двух независимых групп применялся метод Манна — Уитни, при сравнении трех групп применялся метод Краскел — Уоллиса, с уровнем статистической значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При оценке результатов восстановления функционирования нижних конечностей в конце реабилитационного курса были выявлены следующие показатели стабилотрии в группах (табл. 2).

Таблица 2. Сравнительная межгрупповая характеристика динамики показателей стабилотрии; Me [5P; 95P]
Table 2. Comparative intergroup characteristics of the dynamics of stabilometry indicators; Me [5P; 95P]

Показатели стабилотрии / Stabilometry Indicators	Основная группа (n = 30) / Main group (n = 30)			Группа сравнения (n = 30) / Comparison group (n = 30)			Контрольная группа (n = 30) / Control group (n = 30)		
	На 3-й день / On day 3	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment	p	На 3-й день / On day 3	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment	p	На 3-й день / On day 3	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment	p
	Распределение нагрузки слева, % / Load distribution left, %	39 [13; 94]	46 [15; 63]	< 0,05	33 [3; 86]	44 [6; 82]	< 0,05	68 [12; 94]	59 [30; 91]
Распределение нагрузки справа, % / Load distribution right, %	42,5 [6; 87]	51,5 [15; 84]	> 0,05	67 [14; 97]	55 [18; 94]	> 0,05	31,5 [6; 88]	41 [9; 71]	< 0,05

Показатели стабилотрии / Stabilometry Indicators	Основная группа (n = 30) / Main group (n = 30)			Группа сравнения (n = 30) / Comparison group (n = 30)			Контрольная группа (n = 30) / Control group (n = 30)		
	На 3-й день / On day 3	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment	p	На 3-й день / On day 3	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment	p	На 3-й день / On day 3	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment	p
Усилие слева, кг / Force on the left, kg	20,5 [5; 34]	26 [13; 36]	< 0,05	18 [4; 34]	23,5 [6; 35]	> 0,05	23 [9; 29]	24 [12; 30]	> 0,05
Усилие справа, кг / Force on the right, kg	20 [5; 33]	26 [14; 35]	> 0,05	27,5 [6; 37]	29 [7; 39]	> 0,05	15 [5; 28]	20 [7; 29]*	> 0,05
Активное перенесение тяжести тела (среднее значение), % / Active transfer of body weight (average value), %	63 [39; 72]	79 [46; 96]**	p < 0,05	56 [41; 68]	69 [52; 84]	p > 0,05	60 [52; 68]	70,5 [56; 82]***	p > 0,05

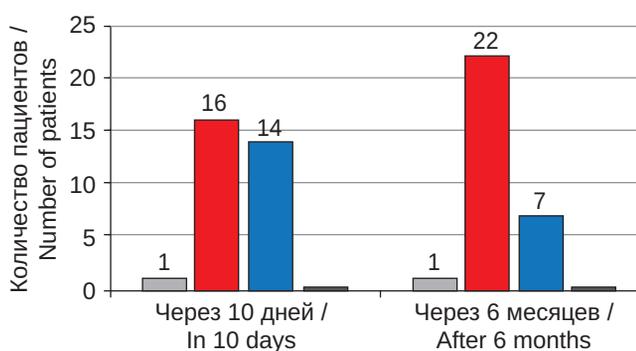
Примечание: * — достоверные межгрупповые различия между группой сравнения и контрольной группой через 10 дней реабилитации, p < 0,05; ** — достоверные межгрупповые различия между основной группой и группой сравнения через 10 дней реабилитации, p < 0,05; *** — достоверные межгрупповые различия между основной группой и группой сравнения через 10 дней реабилитации, p < 0,05.

Note: * — significant intergroup differences between the comparison group and the control group after 10 days of rehabilitation, p < 0.05; ** — significant intergroup differences between the main group and the comparison group after 10 days of rehabilitation, p < 0.05; *** — significant intergroup differences between the main group and the comparison group after 10 days of rehabilitation, p < 0.05.

В динамике увеличение силы в нижних конечностях на фоне проводимых реабилитационных мероприятий отмечено во всех трех группах. Так, в основной группе на стабилотрии через 10 дней показатель усилия в плегированной ноге увеличился с 20,5 [5; 34] до 26 [13; 36] кг, сравнительно в других группах отмечена также положительная, но меньшая динамика. Во всех группах также уменьшился дисбаланс в распределении нагрузки при опоре (табл. 2). Лучшие результаты повышения силы в нижних конечностях и снижение диспропорции при опоре наблюдались в группе на фоне применения методики ВР в дополнение к основному курсу реабилитации.

Сопоставляя группы пациентов по ключевым данным, была проведена оценка по наиболее значимым шкалам инсульта (National Institutes of Health stroke Scale (NIHSS) и ШР) при поступлении, на фоне курса реабилитации через 10 дней и после завершения раннего восстановительного этапа, спустя 6 месяцев после острого нарушения мозгового кровообращения (табл. 3).

В основной группе на фоне применения ВР и ДР наблюдалось более выраженное улучшение неврологического состояния. Так, через 6 месяцев при обследовании у 1 пациента (3,33 %) отсутствуют неврологические симптомы, легкие нарушения отмечены у 22 пациентов (73,26%), а средняя степень тяжести неврологических нарушений зафиксирована у 7 пациентов (23,31 %) (рис. 1).



- Симптомов инсульта нет / There are no symptoms of stroke
- Неврологические нарушения легкой степени / Mild neurological impairment
- Неврологические нарушения средней степени тяжести / Moderate neurological disorders
- Тяжелые неврологические нарушения / Severe neurological disorders

Рис.1. Динамика тяжести неврологических нарушений в основной группе

Fig. 1. Dynamics of severity of neurological disorders in the main group

Таблица 3. Сравнительная межгрупповая характеристика динамики показателей тяжести инсульта по шкале инсульта (National Institutes of Health Stroke Scale — NIHSS), *n* (%)
Table 3. Comparative intergroup characteristics of the dynamics of stroke severity indicators according to the stroke scale (National Institutes of Health Stroke Scale — NIHSS), *n* (%)

National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS)	Основная группа (<i>n</i> = 30) / Main group (<i>n</i> = 30)			Группа сравнения (<i>n</i> = 30) / Comparison group (<i>n</i> = 30)			Контрольная группа (<i>n</i> = 30) / Control group (<i>n</i> = 30)		
	На 3-й день / On day 3	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment	Через 6 месяцев / After 6 months	На 3-й день / On day 3	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment	Через 6 месяцев / After 6 months	На 3-й день / On day 3	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment	Через 6 месяцев / After 6 months
Отсутствие симптомов / No symptoms	0	1 (3,33 %)	1 (3,33 %)	0	0	0	0	4 (13,32 %)	5 (16,65 %)
Легкие неврологические нарушения / Mild neurological disorders	0	15 (50 %)	22 (73,33 %)*	1 (3,33 %)	4 (13,32 %)	7 (23,31 %)	5 (16,65 %)	11 (36,63 %)	11 (36,63 %)**
Неврологические нарушения средней степени тяжести / Neurological disorders of moderate severity	29 (96,7 %)	14 (46,62 %)#	7 (23,31 %)	24 (79,92 %)	24 (79,92 %)	23 (76,59 %)	24 (79,92 %)	14 (46,62 %)	14 (46,62 %)**
Тяжелые неврологические нарушения / Severe neurological impairment	1 (3,3 %)	0	0	5 (16,65 %)	2 (6,66 %)	0	1 (3,33 %)	1 (3,33 %)	0

Примечание: * — достоверные межгрупповые различия между основной группой и группой сравнения через 6 месяцев после реабилитации, *p* < 0,05; ** — достоверные межгрупповые различия между основной и контрольной группой через 6 месяцев после реабилитации, *p* < 0,05; # — достоверные межгрупповые различия между основной группой и группой сравнения через 6 месяцев после реабилитации, *p* < 0,05; ## — достоверные межгрупповые различия между основной и контрольной группой через 6 месяцев после реабилитации, *p* < 0,05.

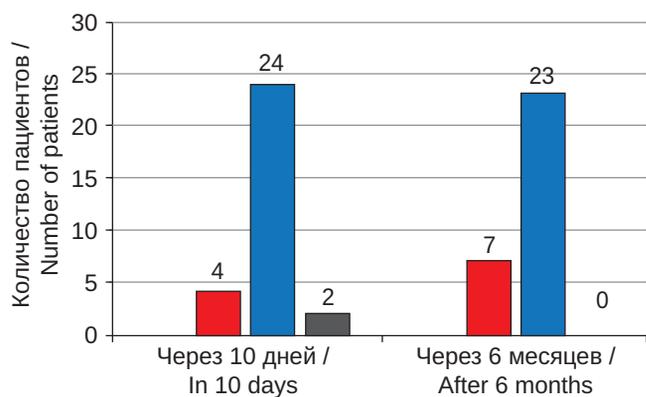
Note: * — significant intergroup differences between the main group and the comparison group 6 months after rehabilitation, *p* < 0.05; ** — significant intergroup differences between the main and control groups 6 months after rehabilitation, *p* < 0.05; # — significant intergroup differences between groups the main group and the comparison group 6 months after rehabilitation, *p* < 0.05; ## — significant intergroup differences between groups the main and control groups 6 months after rehabilitation, *p* < 0.05.

В группе сравнения, где применялась только ДР, положительная динамика присутствует, но менее выражена. Через 6 месяцев полное отсутствие симптомов отмечается у 0 пациентов, легкие нарушения — у 7 пациентов (23,31 %), а нарушения средней степени тяжести — у 23 пациентов (76,59 %) (рис. 2).

В контрольной группе положительные изменения также есть, но они выражены меньше, чем в основной группе и группе сравнения. Без симптомов — 5 пациентов (16,65 %), имеющие легкие нарушения — 11 пациентов (36,63 %), а со среднетяжелыми нарушениями — 14 пациентов (46,62 %). Наиболее значимые результаты восстановительного процесса отмечены в основной группе, где применялись ВР и ДР, что говорит об эффективности этого метода реабилитации в улучшении неврологических функций у пациентов после острого нарушения мозгового кровообращения не только в острый период, но и о сохранении показателей восстановления в данной группе (рис. 3).

Анализ результатов по ШР через полгода после завершения раннего восстановительного этапа реабилитации представлен в таблице 4.

Через 6 месяцев после лечения в основной группе показатели изменились следующим образом: количество пациентов в категории 1 балл по ШР увеличилось с 5 (16,65 %) до 15 (50 %), что подчеркивает успех применяемых методов лечения. Показатели ШР в категории легкие нарушения жизнедеятельности 2 балла остались прежними — 11 (36,63 %). В категории умеренные нарушения жизнедеятельности 3 балла по ШР число пациентов снизилось с 10 (33,3 %) до 3 (9,99 %), что иллюстрирует положительные изменения в состоянии участников. Также в группе с выраженными нарушениями жизнедеятельности в 4 балла по ШР наблюдается снижение с 4 (13,32 %) до 1 (3,33 %).



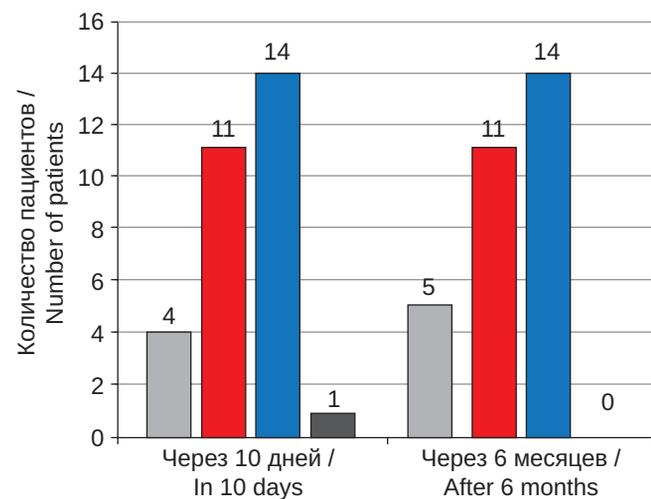
- Симптомов инсульта нет / There are no symptoms of stroke
- Неврологические нарушения легкой степени / Mild neurological impairment
- Неврологические нарушения средней степени тяжести / Moderate neurological disorders
- Тяжелые неврологические нарушения / Severe neurological disorders

Рис. 2. Динамика тяжести неврологических нарушений в группе сравнения
Fig. 2. Dynamics of severity of neurological disorders in the comparison group

В группе сравнения, где применялась ДР, результаты указывают на положительный эффект от реабилитации. В категории 1 балл по ШР было небольшое увеличение числа пациентов с 0 до 3 (9,99 %). В категории легких нарушений жизнедеятельности 2 балла по ШР улучшение наблюдается с 5 (16,65 %) до 6 человек (19,98 %). В категории умеренных нарушений жизнедеятельности 3 балла по ШР показывают улучшение с 11 (36,63 %) до 13 человек (43,29 %). В группе с выраженными нарушениями жизнедеятельности в 4 балла по ШР число пациентов уменьшилось с 8 (26,64 %) до 7 (23,31 %), а в категории 5 баллов по ШР — с 6 (19,98 %) до 1 (3,33 %). Эти данные демонстрируют эффективность подходов с использованием ДР, хотя результаты уступают показателям основной группы.

В контрольной группе, где не применялись ВР и ДР, наблюдаются различные изменения в распределении пациентов по уровням нарушения жизнедеятельности. В категории 1 балл по ШР наблюдается небольшой рост числа пациентов с 7 (23,31 %) до 9 (29,97 %). В группе с легкими нарушениями жизнедеятельности 2 балла по ШР показатели остались неизменными — 7 (23,31 %). В категории умеренных нарушений жизнедеятельности 3 балла по ШР произошло снижение с 3 (9,99 %) до 2 (6,66 %) человек, что говорит о положительном эффекте лечения. В группе с выраженными нарушениями жизнедеятельности в 4 балла по ШР показатели остались неизменными — 8 (26,64 %), в то время как с грубыми нарушениями в 5 баллов по ШР число пациентов сократилось с 5 (16,65 %) до 4 (13,32 %).

В ходе исследования первого и второго этапов полученные результаты субъективных данных по клиническим



- Симптомов инсульта нет / There are no symptoms of stroke
- Неврологические нарушения легкой степени / Mild neurological impairment
- Неврологические нарушения средней степени тяжести / Moderate neurological disorders
- Тяжелые неврологические нарушения / Severe neurological disorders

Рис. 3. Динамика тяжести неврологических нарушений в контрольной группе
Fig. 3. Dynamics of severity of neurological disorders in the control group

Таблица 4. Сравнительная межгрупповая характеристика динамики по шкале Рэнкина, n (%)
Table 4. Comparative intergroup characteristics of dynamics according to the Rankin scale, n (%)

Шкала Рэнкина / Rankin scale	Основная группа (n = 30) / Main group (n = 30)			Группа сравнения (n = 30) / Comparison group (n = 30)			Контрольная группа (n = 30) / Control group (n = 30)		
	На 3-й день / On day 3	Через 6 месяцев / After 6 months	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment	На 3-й день / On day 3	Через 6 месяцев / After 6 months	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment	На 3-й день / On day 3	Через 6 месяцев / After 6 months	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment
1	0	5 (16,65%)	15 (50%)	0	0	0	0	3 (9,99%)	7 (23,31%)
2	0	11 (36,63%)	11 (36,63%)	0	0	5 (16,65%)	0	6 (19,98%)	7 (23,31%)
3	1 (3,33%)	10 (33,3%)	3 (9,99%)*	2 (6,66%)	11 (36,63%)	13 (43,29%)	5 (16,65%)	3 (9,99%)	2 (6,66%)
4	22 (73,26)	4 (13,32%)	1 (3,33%)**	18 (59,94%)	8 (26,64%)	7 (23,31%)	16 (53,28%)	8 (26,64%)	8 (26,64%)*#
5	7 (23,31%)	0	0	10 (33,3%)	6 (19,98%)	1 (3,33%)	9 (29,97%)	5 (16,65%)	4 (13,32%)

Примечание: * — достоверные межгрупповые различия по шкале Рэнкина 3 балла между основной группой и группой сравнения через 6 месяцев после реабилитации, p < 0,05; ** — достоверные межгрупповые различия по шкале Рэнкина 4 балла между основной группой и группой сравнения через 6 месяцев после реабилитации, p < 0,05; # — достоверные межгрупповые различия по шкале Рэнкина 4 балла между основной и контрольной группой через 6 месяцев после реабилитации, p < 0,05.

Note: * — significant intergroup Rankine 3 points differences between the main group and the comparison group 6 months after rehabilitation, p < 0.05; ** — significant intergroup Rankin 4 points differences between the main group and the comparison group 6 months after rehabilitation, p < 0.05; # — significant intergroup Rankin 4 points differences between the main and control groups 6 months after rehabilitation, p < 0.05.

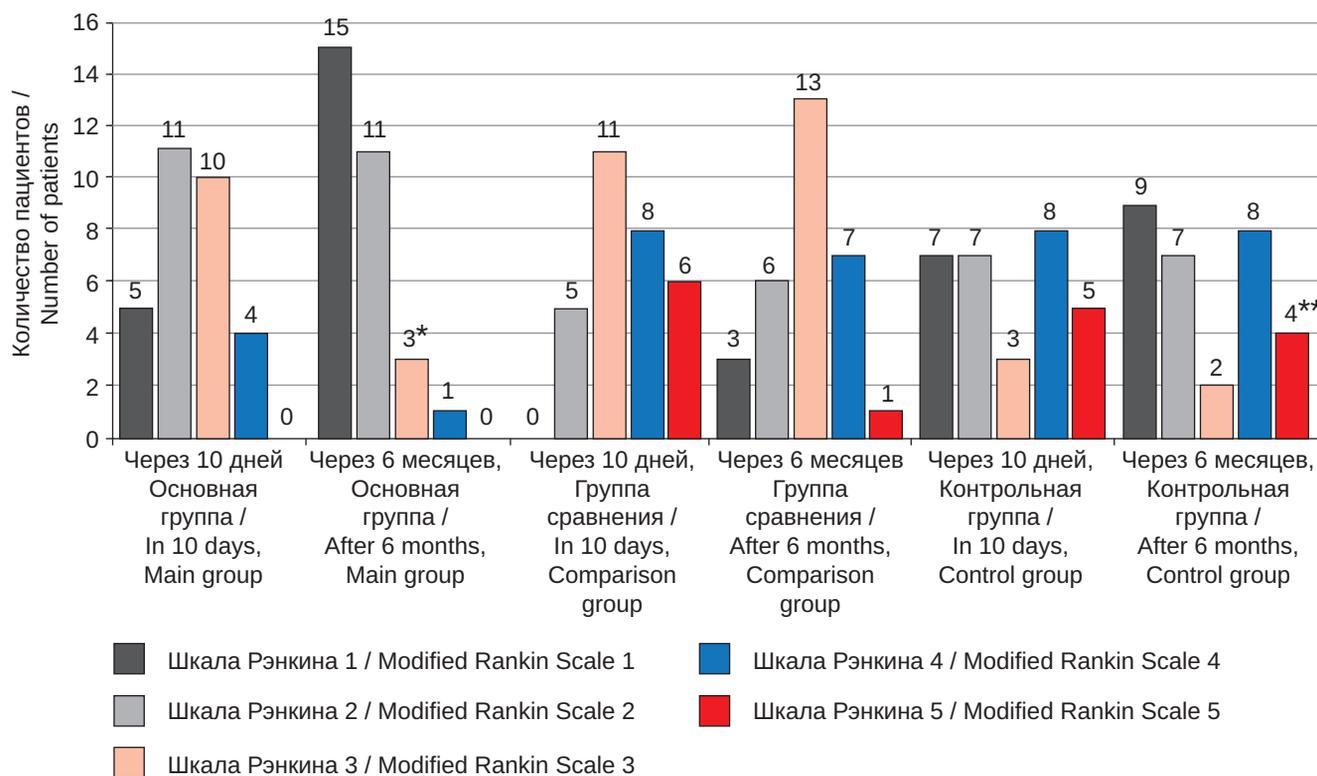


Рис. 4. Динамика реабилитационного прогноза по шкале Рэнкина. * — $p \leq 0,05$ при сравнении основной группы и группы сравнения (умеренное ограничение жизнедеятельности). ** — $p \leq 0,05$ при сравнении основной и контрольной групп (грубое нарушение процессов жизнедеятельности)

Fig. 4. Dynamics of rehabilitation prognosis according to Rankin scale. * — $p \leq 0.05$ when comparing the main group and the comparison group (moderate disability). ** — $p \leq 0.05$ when comparing the main and control groups (severe disruption of vital processes)

ким шкалам свидетельствуют о положительной динамике (табл. 5). Выявлены статистически значимые различия между основной группой и группой сравнения по шкале баланса Берга ($p < 0,05$) и между основной группой и контрольной группами ($p < 0,05$). При оценке индекса ходьбы Хаузера выявлены различия между основной группой и группой сравнения ($p < 0,05$). По индексу мобильности Ривермид различия выявлены в основной группе и группе сравнения ($p < 0,05$).

Исходя из полученных данных мобильность пациентов выше в группе с применением ВР, что, возможно, свидетельствует о действенности метода.

Необходимо отметить, что при завершении процедуры с применением ВР большинство пациентов высказывались положительно, были заинтересованы в продолжении занятий. Уменьшалась тревожность пациентов, поднимался настрой на занятия. Дискомфортные ощущения возникали крайне редко (1 пациент), проявлялись легким головокружением, которое нивелировалось спустя несколько секунд. Пациент выразил желание продолжить исследование.

Результаты исследования показали, что применение иммерсивной ВР в сочетании с велокинетическими занятиями на роботизированном тренажере значительно улучшает реабилитационные показатели у пациентов после острейшего периода острого нарушения мозгового кровообращения. Велотренировки на роботизированном тренажере содействовали укреплению мышц и улучшению общей координации движений. Комбинирование ВР и ДР повышает как физические параметры, так и когнитивные способности пациентов.

Отдаленные результаты, оцененные через 6 месяцев, подтвердили устойчивость улучшений у пациентов основной группы. Они продолжали показывать лучшие результаты по всем используемым шкалам по сравнению с группой сравнения и контрольной группой. Это дает основания полагать, что добавление элементов ВР в курс реабилитации может стать перспективным направлением в восстановлении пациентов после инсульта, оказывая долгоиграющее положительное влияние на их функциональный статус и качество жизни.

В нашем исследовании оценивался эффект от реабилитации по функции мобильности и опоры сразу после курса реабилитации с ВР и через 6 месяцев, то есть по окончании раннего восстановительного периода. Аналогичное исследование и результаты опубликованы в работе Цай Х. и соавт. в 2022 г., которые показали эффективность воздействия реабилитации с использованием иммерсивной ВР на восстановление функции ходьбы. Пациенты в процитированном исследовании также были в стационарных условиях, давность инсульта составила месяц или менее с нарушением функции ходьбы. Однако неизвестно, получали до этого пациенты другие методы реабилитации или нет [20]. Совпадает наше мнение и с другими исследованиями: пациенты с инсультом, включенные в группу с ВР и ДР, более вовлечены в процесс реабилитации, у них быстрее восстанавливается когнитивный дефицит, они более мотивированны на восстановление [21]. Более того, исследования показали, что риск применения иммерсивной ВР в реабилитации пациентов, перенесших инсульт, не превышает пользу при условии соблюдения

Таблица 5. Сравнительная межгрупповая характеристика динамики показателей мобильности пациентов, Ме [5P; 95P]
Table 5. Comparative intergroup characteristics of the dynamics of patient mobility indicators, Me [5P; 95P]

	Основная группа (n = 30) / Main group (n = 30)		Группа сравнения (n = 30) / Comparison group (n = 30)		Контрольная группа (n = 30) / Control group (n = 30)				
	На 3-й день / On day 3	Через 6 месяцев / After 6 months	На 3-й день / On day 3	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment	На 3-й день / On day 3	Через 6 месяцев / After 6 months	Через 10 дней после начала лечения / 10 days after the start of treatment	Через 6 месяцев / After 6 months	
Функциональные шкалы / Functional scales									
Индекс мобильности Ривермид / Rivermead Mobility Index	3 [0; 7]	10 [4; 14]	13,5 [8; 15]	1 [0; 7]	6 [0; 13]	9,5 [9,5; 14]##	2 [0; 8]	10,5 [1; 14]	11 [2; 14]
Шкала реабилитационной маршрутизации / Rehabilitation routing Scale	4 [3; 5]	3 [2; 4]	1,5 [1; 3]	4 [3; 5]	4 [2; 5]	3 [3; 4]	4 [3; 5]	2 [1; 5]	2 [1; 5]
Шкала Берга / The Berg scale	0,5 [0; 28]	41 [9; 54]	48 [34; 54]*	0 [0; 20]	21 [0; 48]	37 [37; 48]	0 [0; 38]	41 [0; 51]	42 [0; 51]#
Индекс ходьбы Хаузера / Hauser's walking index	9 [5; 9]	4 [1; 8]	1,5 [0; 4]**	9 [7; 9]	6,5 [2; 9]	4 [4; 9]	9 [3; 9]	3 [1; 9]	3 [1; 9]
Функциональные категории ходьбы (Holden M. et al., 1986; Wade D., 1992) / Functional categories of walking (Holden M. et al., 1986; Wade D., 1992)	0 [0; 2]	3 [0; 5]	5 [3; 5]	0 [0; 0]	0 [0; 4]	2,5 [2,5; 4]	0 [0; 4]	4 [0; 5]	4 [0; 5]

Примечание: * — достоверные межгрупповые различия между основной группой и группой сравнения через 6 месяцев после реабилитации, $p < 0,05$, по шкале Берга; ** — достоверные межгрупповые различия между основной группой и группой сравнения через 6 месяцев после реабилитации, $p < 0,05$, по индексу ходьбы Хаузера; # — достоверные межгрупповые различия между основной и контрольной группой через 6 месяцев после реабилитации, $p < 0,05$, по шкале Берга; ## — достоверные межгрупповые различия между основной группой и группой сравнения через 6 месяцев после реабилитации, $p < 0,05$, по индексу мобильности Ривермид.

Note: * — Significant intergroup differences between the main group and the comparison group 6 months after rehabilitation, $p < 0.05$, on the Berg scale; ** — Significant intergroup differences between the main group and the comparison group 6 months after rehabilitation, $p < 0.05$, according to the Hauser walking index; # — Significant intergroup differences between the main and control groups 6 months after rehabilitation, $p < 0.05$, on the Berg scale; ## — Significant intergroup differences between the main group and the comparison group 6 months after rehabilitation, $p < 0.05$, according to the Rivermead mobility Index.

протокола включения таких пациентов в данный метод [22]. В отечественных изданиях также активно обсуждается применение ВР в реабилитации, идет отработка подходов к объективизации и оценки эффективности этого метода при различной патологии [23]. Практически во всех исследованиях используется традиционная система оценки функциональной активности по клиническим шкалам [24]. Тщательная оценка двигательной функции с использованием оценочных шкал демонстрирует достоверную эффективность адывантной двигательной реабилитации с использованием ВР [24]. Полностью привязывать все эффекты улучшения мобильности и двигательных функций нижних конечностей только к виртуальным технологиям не совсем применимо, поскольку имеет место целый комплекс реабилитационных мероприятий. По нашему мнению, именно применение унифицированных шкал оценки двигательной активности позволит дальше проводить метаанализ результатов использования ВР в реабилитации.

Ограничения исследования

Полученные результаты представляют собой промежуточную оценку состояния пациентов в конце раннего восстановительного периода. Затем предстоит провести детальный анализ параметров качества жизни, в том числе физического и психоэмоционального функ-

ционирования, также корреляционный и регрессионный анализ. Кроме того, ряд ограничений в применении данного метода связан с техническими возможностями реабилитационных отделений, с необходимостью обучения персонала работе с виртуальными программами. Также существуют ограничения по применению методов объективной оценки состояния пациентов в постинсультный период, так как в каждом конкретном случае могут потребоваться другие клинические и инструментальные исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное исследование продемонстрировало, что интеграция современных технологий в реабилитационный процесс может приносить существенные улучшения в клинических и функциональных исходах для пациентов после острого нарушения мозгового кровообращения в виде улучшения общей мобильности и двигательных функций нижних конечностей. ВР и роботизированные тренажеры представляют собой многообещающие инструменты для улучшения эффективности реабилитации и требуют дальнейших исследований для оптимизации протоколов применения и оценки долгосрочных эффектов. Унификация подходов к оценке результатов применения реабилитационных технологий с ВР позволит в дальнейшем провести метаанализ аналогичных исследований.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Туровина Елена Фаридовна, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской профилактики и реабилитации, Тюменский государственный медицинский университет Минздрава России.

E-mail: e_turov@mail.ru, turovinina@tyumsmu.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6585-0554>

Дмитрий Николаевич Плотников, врач-невролог, заведующий первично-сосудистым отделением, Областная больница № 23 (г. Ялуторовск).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7648-3342>

Вклад авторов. Авторы данного исследования 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: Туровина Е.Ф. — руководство проектом, методология, проверка и редактирование рукописи; Плотников Д.Н. — проведение исследования, обеспечение материалов для исследования, написание черновика статьи.

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

Конфликт интересов. Туровина Е.Ф. — член редакционной коллегии журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные авторы заявляют отсутствие конфликта интересов.

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 ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России (г. Тюмень, Россия), протокол № 97 от 09.01.2021.

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

Elena F. Turovinina, D.Sc. (Med.), Professor, Head of the Department of Medical Prevention and Rehabilitation, Tyumen State Medical University.

E-mail: e_turov@mail.ru, turovinina@tyumsmu.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6585-0554>

Dmitrij N. Plotnikov, neurologist, Head of the Department of Vascular Surgery, Regional Hospital No. 23 (Yalutorovsk).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7648-3342>

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: Turovinina E.F. — project administration, methodology, writing — review & editing; Plotnikov D.N. — investigation, resources, writing — original draft. **Funding.** This study was not supported by any external funding sources.

Disclosure. Turovinina E.F. — 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 Tyumen State Medical University (Tyumen, Russia), Protocol No. 97 dated 09.01.2021.

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. Avan A., Digaleh H., Di Napoli M., et al. Socioeconomic status and stroke incidence, prevalence, mortality, and worldwide burden: an ecological analysis from the Global Burden of Disease Study 2017. *BMC Med.* 2019; 17(1): 191. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1397-3>
2. van der Krogt H.J., Meskers C.G., de Groot J.H., et al. The gap between clinical gaze and systematic assessment of movement disorders after stroke. *J NeuroEngineering Rehabil.* 2012; 9: 61. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-61>
3. Румянцева С.А., Силина Е.В., Свищева С.П., Комаров А.Н. Медицинские и организационные проблемы до- и постинсультной инвалидизации. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски.* 2013; 113(9-2): 43-49. [Rumiantseva S.A., Silina E.V., Svishcheva S.P., Komarov A.N. Medical and organizational issues of pre- and post-stroke disablement. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2013; 113(9-2): 43-49 (In Russ.)]
4. Белкин А.А. Синдром последствий интенсивной терапии (ПИТ-синдром). *Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова.* 2018; 2: 12-23. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2018-2-12-23> [Belkin A.A. Syndrome Effects of Intensive Therapy — Post Intensive Care Syndrome (PICS). *Alexander Saltanov Intensive Care Herald.* 2018; 2: 12-23. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2018-2-12-23> (In Russ.)]
5. Xu B., Lin X. The influence of early comprehensive rehabilitation on the quality of life of stroke patients with hemiplegia. *Modern Medicine and Health Research.* 2023; 7(4): 60-2. <https://doi.org/10.3969/j.issn.2096-3718.2023.04.020>
6. Belda-Lois J.M., Mena-del Horno S., Bermejo-Bosch I., et al. Rehabilitation of gait after stroke: a review towards a top-down approach. *J NeuroEngineering Rehabil.* 2011; 8: 66. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-8-66>
7. Wei X., Sun S., Zhang M., et al. A systematic review and meta-analysis of clinical efficacy of early and late rehabilitation interventions for ischemic stroke. *BMC Neurol.* 2024; 24: 91. <https://doi.org/10.1186/s12883-024-03565-8>
8. Talbot L.R., Viscogliosi C., Desrosiers J., et al. Identification of rehabilitation needs after a stroke: an exploratory study. *Health Qual Life Outcomes.* 2004; 2: 53. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-2-53>
9. Tadi P, Lui F. Acute Stroke. [Updated Aug. 17, 2023]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535369/> (Accessed 01.01.2025).
10. Eppele C., Maurer-Burkhard B., Lichti M.C., et al. Vojta therapy improves postural control in very early stroke rehabilitation: a randomised controlled pilot trial. *Neurol. Res. Pract.* 2020; 2: 23. <https://doi.org/10.1186/s42466-020-00070-4>
11. Макаров А.О., Иванова Н.Е., Ефимова М.Ю. и др. Стратификация факторов риска развития повторного инсульта и оптимизация реабилитационных мероприятий у лиц пожилого возраста, страдающих гипертонической болезнью. *Вестник восстановительной медицины.* 2015; 4(68): 27-32. [Makarov A.O., Ivanova N.E., Efimova M.J., et al. Stratification of the repeat stroke risk factors optimization of rehabilitation measures in relation to elderly patients suffering from hypertension. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2015; 4(68): 27-32 (In Russ.)]
12. Ferrarello F., Deluca G., Pizzi A., et al. Passive standing as an adjunct rehabilitation intervention after stroke: a randomized controlled trial. *Arch Physiother.* 2015; 5: 2. <https://doi.org/10.1186/s40945-015-0002-0>
13. Li J., Zhong D., Ye J. et al. Rehabilitation for balance impairment in patients after stroke: a protocol of a systematic review and network meta-analysis. *BMJ Open.* 2019; 9(7): e026844. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-026844>
14. Воловец С.А., Сергеенко Е.Ю., Даринская Л.Ю. и др. Современный подход к восстановлению пострального баланса у пациентов с последствиями острого нарушения мозгового кровообращения. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры.* 2018; 95(2): 4-9. <https://doi.org/10.17116/kurort20189524-9> [Volovets S.A., Sergeenko E.Yu., Darinskaya L.Y., et al. The modern approaches to the restoration of postural balance in the patients suffering from the consequences of an acute cerebrovascular accident (CVA). *Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy.* 2018; 95(2): 4-9. <https://doi.org/10.17116/kurort20189524-9> (In Russ.)]
15. Tsang S., Royle C.F., Terkawi A.S. Guidelines for developing, translating, and validating a questionnaire in perioperative and pain medicine. *Saudi J Anaesth.* 2017; 11(Suppl 1): S80-S89. https://doi.org/10.4103/sja.SJA_203_17
16. Faber M.J., Bosscher R.J., van Wieringen P.C. Clinimetric properties of the performance-oriented mobility assessment. *Phys Ther.* 2006; 86(7): 944-954.
17. Воловик М.Г. Технологии виртуальной реальности в комплексной медицинской реабилитации пациентов с ограниченными возможностями. *Москва.* 2018; 10(4): 173-182. <https://doi.org/10.17691/stm2018.10.4.21> [Volovik M.G. Virtual reality technology in complex medical rehabilitation of patients with disabilities (review). *Sovremennye tehnologii v medicine* 2018; 10(4): 173-182. <https://doi.org/10.17691/stm2018.10.4.21> (In Russ.)]
18. Краснова-Гольева В.В., Гольев М.А. Виртуальная реальность в реабилитации после инсульта. *Современная зарубежная психология.* 2015; 4(4): 39-44. <https://doi.org/10.17759/jmfp.2015040406> [Krasnova-Goleva V.V., Golev M.A. Virtual reality in rehabilitation after stroke. *Journal of Modern Foreign Psychology.* 2015; 4(4): 39-44. <https://doi.org/10.17759/jmfp.2015040406> (In Russ., Abstr. In Engl.)]
19. Левин О.С., Боголепова А.Н. Постинсультные двигательные и когнитивные нарушения: клинические особенности и современные подходы к реабилитации. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2020; 120(11): 99-107. <https://doi.org/10.17116/jnevro202012011199> [Levin O.S., Bogolepova A.N. Poststroke motor and cognitive impairments: clinical features and current approaches to rehabilitation. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2020; 120(11): 99-107. <https://doi.org/10.17116/jnevro202012011199> (In Russ.)]
20. Cai H., Lin T., Chen L., et al. Evaluating the effect of immersive virtual reality technology on gait rehabilitation in stroke patients: a study protocol for a randomized controlled trial. *Trials* 22. 2021; 91. <https://doi.org/10.1186/s13063-021-05031-z>
21. Bergmann J., Krewer C., Bauer P., et al. Virtual reality to augment robot-assisted gait training in non-ambulatory patients with a subacute stroke: a pilot randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2018; 54(3): 397-407.
22. Cortés-Pérez I., Nieto-Escamez F.A., Obrero-Gaitán E. Immersive virtual reality in stroke patients as a new approach for reducing postural disabilities and falls risk: a case series. *Brain Sci.* 2020; 10(5): 296. <https://doi.org/10.3390/brainsci10050296>

23. Колышенков В.А., Просвирин А.Н. Оценка эффективности применения комплексной программы реабилитации с использованием технологий виртуальной реальности: проспективное когортное исследование 59 пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча. Вестник восстановительной медицины. 2022; 21(4), 159–172. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-4-159-72> [Kolyshenikov V.A., Prosvirnin A.N. Evaluation of the effectiveness of the virtual reality technologies comprehensive rehabilitation program application: a prospective cohort study of 59 patients with rotator cuff injury. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2022; 21 (4): 159–172. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-4-159-172> (In Russ.)]
24. Захаров А.В., Хивинцева Е.В., Чаплыгин С.С. и др. Двигательная реабилитация пациентов в остром периоде инсульта с использованием технологии виртуальной реальности. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски. 2021; 121(8–2): 71–75. <https://doi.org/10.17116/jnevro202112108271> [Zakharov A.V., Khivintseva E.V., Chaplygin S.S., et al. Motor rehabilitation of patients in the acute period of stroke using virtual reality technology. S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2021; 121(8–2): 71–75. <https://doi.org/10.17116/jnevro202112108271> (In Russ.)]

Response of Arteriovenous Fistula Puncture-Related Pain to Different Cryotherapy Applications in Hemodialysis Patients: a Randomized Controlled Study

 Sara F. Ghoneem^{1,*},  Nagwa Hamed²,  Sahier O. El-Khashab²,  Alaa M. El-Moatasem²

¹ Cairo University Hospitals Al-kasr Alainy, Cairo, Egypt

² Cairo University, Giza, Egypt

ABSTRACT

INTRODUCTION. Patients receiving continuous hemodialysis commonly experience pain associated with arteriovenous fistula puncture. Relieving the pain may increase their appreciation of the procedure and hence their quality of life.

AIM. To find out how different ways of applying cryotherapy changed the pain of arteriovenous fistula punctures in hemodialysis patients.

MATERIALS AND METHODS. During the seven weeks of this randomized controlled study, ninety hemodialysis patients of both sexes with end-stage renal disease who had received medical treatment were allocated to one of three groups at random: ipsilateral (received cryotherapy at the site of needle insertion), contralateral (received cryotherapy at the site opposite to the needle insertion), or control (followed medical treatment without cryotherapy application). Cryotherapy was applied for five to ten minutes, three times a week. Prior to and following the seven-week intervention period, assessments of upper limb function (by Arm Motor Ability Test), pain severity (by Visual Analogue Scale), beside anxiety and depression (by Hospital Anxiety and Depression Scale) were carried out.

RESULTS AND DISCUSSION. The final results showed that all evaluated outcomes improved after the intervention, with no statistically significant difference between the ipsilateral and contralateral groups ($p \geq 0.05$). Yet, when comparing the contralateral or ipsilateral groups to the control group, all parameters had statistically significant differences ($p < 0.05$).

CONCLUSION. For hemodialysis patients, cryotherapy is one of the best ways to manage pain from arteriovenous fistula punctures, upper limb dysfunction, depression, and anxiety.

REGISTRATION: Clinicaltrials.gov identifier No. NCT06520631, registered 04.08.2024.

KEYWORDS: anxiety, arteriovenous fistula, cryotherapy, pain measurement, renal dialysis

For citation: Ghoneem S.F., Hamed N., El-Khashab S.O., El-Moatasem A.M. Response of Arteriovenous Fistula Puncture-Related Pain to Different Cryotherapy Applications in Hemodialysis Patients: a Randomized Controlled Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4): 67–75. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-67-75>

* **For correspondence:** Sara Fathy Ghoneem, E-mail: saraghoneem581@gmail.com, alaamotasem@cu.edu.eg

Received: 16.01.2025

Accepted: 21.03.2025

Published: 16.08.2025

Реакция боли, связанной с пункцией артериовенозной фистулы, на различные методы криотерапии у пациентов, находящихся на гемодиализе: рандомизированное контролируемое исследование

 Хоним С.Ф.^{1,*},  Хамед Н.²,  Эль-Хашаб С.О.²,  Эль-Моатасем А.М.²

¹ Больница Каирского университета Аль-Каср Алаини, Каир, Египет

² Каирский университет, Гиза, Египет

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Пациенты, получающие непрерывный гемодиализ, часто испытывают боль, связанную с пункцией артериовенозной фистулы. Облегчение боли может повысить их восприятие процедуры и, следовательно, качество жизни.

ЦЕЛЬ. Выяснить, как различные способы применения криотерапии изменяют боль при пункции артериовенозной фистулы у пациентов, находящихся на гемодиализе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В течение 7 недель этого рандомизированного контролируемого исследования 90 гемодиализных пациентов обоих полов с болезнью почек в конечной стадии, получавших медикаментозное лечение, были случайным образом распределены в одну из 3 групп: ипсилатеральную (получали криотерапию в месте введения иглы), контралатеральную (получали криотерапию в месте, противоположном месту введения иглы) или контрольную (проходили медикаментозное лечение без применения криотерапии). Криотерапия проводилась в течение 5–10 минут 3 раза в неделю. До и после семи-недельного периода вмешательства проводилась оценка функции верхней конечности (по тесту двигательной способности руки), выраженности боли (по визуально-аналоговой шкале), а также тревоги и депрессии (по госпитальной шкале тревоги и депрессии).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Окончательные результаты показали, что все оцениваемые показатели улучшились после вмешательства, при этом статистически значимой разницы между ипсилатеральной и контралатеральной группами не было ($p \geq 0,05$). Однако при сравнении контралатеральной и ипсилатеральной групп с контрольной группой все параметры имели статистически значимые различия ($p < 0,05$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Для пациентов, находящихся на гемодиализе, криотерапия является одним из лучших способов купирования боли при проколах артериовенозных фистул, дисфункции верхних конечностей, депрессии и тревожности.

РЕГИСТРАЦИЯ: Идентификатор Clinicaltrials.gov № NCT06520631, зарегистрировано 04.08.2024.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тревога, артериовенозная фистула, криотерапия, измерение боли, почечный диализ

Для цитирования: Ghoneem F.S., Badr M.N., El-Khashab O.S., El-Moatasem M.A. Response of Arteriovenous Fistula Puncture-Related Pain to Different Cryotherapy Applications in Hemodialysis Patients: a Randomized Controlled Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):67–75. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-67-75>

* **Для корреспонденции:** Sara Fathy Mohammed, E-mail: saraghoneem581@gmail.com, alaamotasem@cu.edu.eg

Статья получена: 16.01.2025
Статья принята к печати: 21.03.2025
Статья опубликована: 16.08.2025

INTRODUCTION

End-stage renal disease (ESRD), which is defined by an irreversible decrease of renal function, is a growing global public health concern [1]. Regular hemodialysis (HD) is necessary for about 90 % of ESRD patients to maintain their survival as renal replacement treatment [2].

For many HD patients, inserting needles into a major blood vessel is a painful and mandatory procedure. Because of the frequent punctures, HD patients are anxious before the needle is inserted, and more than 90 % of them suffer from acute pain [3]. Patients experience needle-related tension and distress about 320 times a year, considering that hemodialysis typically occurs three times a week and lasts three to four hours each time [4].

Therefore, one of the most crucial elements of patient management is to mitigate this pain and suffering properly. Desensitization treatment and other psychologist-delivered interventions are necessary for needle phobia, which is marked by extreme physiological reactions, including

withdrawal reactions and vasovagal syncope. Additionally, it causes anxiety, lowers patients' quality of life and psychological burdens such as depression, and makes managing dialysis more difficult [5].

The arms and hands must function properly to perform tasks essential for daily activities. Patients with chronic renal failure (CRF) receiving HD may experience significant loss of upper extremity function, which impairs their independence and quality of life [6].

Since cryotherapy slows down the rate at which nerves conduct electricity, it is among the approaches used in many studies to relieve pain and raising the pain threshold [7]. With fewer constraints and greater efficiency, cryotherapy may be suggested as a solution for arteriovenous fistula (AVF) puncture pain [8].

Many studies have demonstrated the beneficial effects of ice packs in relieve AVF associated pain in HD patients; however, studies' findings varied in terms of pain intensity [9]. Furthermore, no prior research has compared

the impact of applying cryotherapy at the same and opposite sites of AVF insertion on the patients' arm mobility and psychological state along with their capacity to lessen the discomfort brought on by the puncture.

AIM

To ascertain the effects of different cryotherapy application procedures (ipsilateral or contralateral to the insertion site) on hemodialysis patients' anxiety and depression, arm function, and AVF puncture pain.

To find out how different ways of applying cryotherapy changed the pain of arteriovenous fistula punctures in hemodialysis patients.

MATERIALS AND METHODS

Study design

The study was registered at ClinicalTrials.gov (NCT 06520631) and authorized by the institutional Physical Therapy Faculty ethics committee (P.T.REC/012/005168). It was carried out using a prospective randomized trial design between 04.05.2024, and 24.08.2024, and each participant provided written consent that complied with the Declaration of Helsinki. The computations were performed using G* Power version 3.1.9.2 (Franz Faul, Uni Kiel, Germany). The repeated measure F-test (MANOVA) between factors with a power of 80 % and a type I error of 5 % was used to get the sample size. G* Power 3.1.9.2 was employed to determine the effect size (0.26) from the primary outcome (VAS) based on data from the pilot study, five patients within each group. The minimum sample size was 75, and to take into consideration for dropouts, the number was raised by 20 %.

Participants

To be eligible for the study, patients had to be aged between 30 and 50, have end-stage kidney failure, be able to report pain adequately, have received regular haemodialysis (HD) for at least three months, undergo treatment at least twice a week and have had an arteriovenous fistula in use for at least 12 months. Patients with any of the following conditions were excluded: advanced age, severe diabetes, heart failure, cold allergies, Raynaud's phenomenon, fractures, heart failure, nerve and tissue damage, unwillingness to cooperate, diabetic neuropathy, and cognitive impairment that might interfere with an accurate assessment of pain.

Randomization

Randomization was used to allocate participants evenly between the experimental or control groups. The participants and research team members (except for the physiotherapists who participated in the intervention) were unaware of the assignment in a masked centrally randomized technique with allocation concealment, which was carried out by a statistician who was not a member of the research team. The randomization sequence was built using R Software (version 2.11) and separated into groups based on body mass index (BMI), age (30–50 years), and gender. Block sizes were set at random from four to eight to ensure a fair number of participants in each group.

Outcome variables and measurements

To compare between groups, measurements were made both before and after the 7-week intervention.

To minimize experimental biases, an independent evaluator who was blind to the patient's assignment conducted the measurements. At baseline, information was collected on age, gender, height, weight, BMI, and years of HD.

Visual analog scale

The severity of the pain was measured with the Visual Analog Scale (VAS), a numerical rating system for evaluating pain and health conditions. The VAS administration process was easy to comprehend, time-efficient, and less expensive. It is a straight line, with the worst suffering conceivable at one end and no pain at the other. The following terms were used to categorize VAS (0–10): no pain (0), mild pain (1–3), moderate pain (4–6), severe pain (7–9), or worse pain (10). The patient indicates the level of pain by marking a point on the line [10].

Arm Motor Ability Test

The functional limitation of the upper extremities (UE) was measured using the Arm Motor Ability Test (AMAT). The patients completed 13 conventional unilateral and bilateral tasks, each of the tasks being timed and scored using two 6-point ordinal scales: the Quality of Movement scale, which measures how the task is executed, and the Functional Capacity scale, which measures the capacity to accomplish the activity. The patient is permitted to do the subtasks continuously and fluidly even if they are timed separately [11]. Typically, each task has a time constraint of one to two minutes. Each component is scored on a 6-point Likert scale from 0 (no hand use) to 5 (normal hand use). The Functional Ability: 0 — no use, 1 — very slight use, 2 — slight use, 3 — moderate use, 4 — almost normal use, 5 — normal use, and the Quality of Movement: 0 — no use, 1 — very poor, 2 — poor, 3 — fair, 4 — almost normal, 5 — normal. Activity limits decrease with a lower score and increase with a higher score [12].

Hospital Anxiety and Depression Scale

It is a valid, reliable, and intuitive practical tool for detecting and measuring anxiety and depression is the Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS). With a 4-point Likert scale (range 0–3), it has 14 items. With seven items for each subscale, it is intended to assess depression and anxiety. The sum of the 14 items determines the overall score, and the sum of the seven items for each subscale (which range from 0 to 21) determines the score for each subscale [13]. Scores ≥ 7 indicate "no depression or anxiety," 8–10 indicate slight depression or anxiety, 11–15 indicate moderate depression or anxiety, and ≥ 16 indicate severe depression or anxiety [14].

Intervention

Prior to the needle puncture used to start the dialysis, ice packs were applied to both the ipsilateral (received ice application at the site of needle insertion) and contralateral (received ice application at the site opposite to the needle insertion) groups. For seven weeks, ice was applied for five to ten minutes, three times a week.

For the ipsilateral group, the application was carried out as follows: the patients were either high supine or long sitting, and they were told to expose their arms at the AVF puncture site. Disposable plastic sheets were then placed directly on the puncture site. Following the ice

application, alcohol and Sterillium were used to disinfect the ice packs. The contralateral group's arm opposite the puncture site was covered with disposable plastic sheets. Ice packs were placed on the area opposite from the puncture site to provide a cold application [15]. As shown in Figure 1 (A, B).

Statistical analysis

The normality of the data and the group homogeneity were confirmed using Shapiro — Wilk and Levene's tests for variance homogeneity. The data were normally distributed, with homogeneous variance. When matching groups using all available demographic information, one-way ANOVAs were utilized. The effects of therapy on VAS, HADS, and AMAT were studied with mixed MANOVA. When the MANOVA yielded significant findings, more univariate ANOVAs were run. For multiple comparisons, post-hoc testing with the Bonferroni correction was employed. The

significance level for all statistical tests was set at $p = 0.05$. SPSS 23 was used.

RESULTS AND DISCUSSION

Ninety patients of both sexes with end-stage renal disease receiving routine HD participated in this study. The patients were chosen from Al-Kasr Al-Ainy's HD unit. They were divided into three groups at random: a contralateral group (who received cryotherapy at a location opposite the needle insertion site); and an ipsilateral group (who received cryotherapy at the needle insertion site) (Fig. 2).

Demographic Characteristics

The patients' characteristics for the three groups are displayed in Table 1. Regarding the general characteristics of the patients, there were no statistically significant differences between the two groups ($p \geq 0.05$).

Table 1. Demographic characteristics of participants ($n = 90$)*

	Ipsilateral group ± SD	Contralateral group ± SD	Control group ± SD	<i>p</i>
Age (years)	41.83 ± 7.41	42.77 ± 6.16	43.1 ± 6.83	0.76
Weight (kg)	73.8 ± 8.9	73.13 ± 7.6	71 ± 10.3	0.81
Height (cm)	162.4 ± 14.6	164.83 ± 9.11	164.07 ± 11.7	0.73
BMI (kg/m²)	28.31 ± 5.73	26.84 ± 4.96	25.9 ± 6.12	0.25
HD (years)	2.3 ± 0.69	2.3 ± 0.69	2.67 ± 0.88	0.19
Gender, n (%)				
Male	17 (56.67 %)	16 (53.33 %)	18(60 %)	0.87
Female	13 (43.33 %)	14 (46.67 %)	12(40 %)	$\chi^2 = 0.27$

Note: BMI — body mass index; χ^2 — Chi Square; MD — mean difference; HD — hemodialysis duration. Data are mean ± SD for all demographics except gender (%); $p < 0.05$ indicate statistical significance.

ХОНИМ С.Ф. И ДР. | ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ



Fig. 1. A — ipsilateral application of cryotherapy, B — contralateral application of cryotherapy

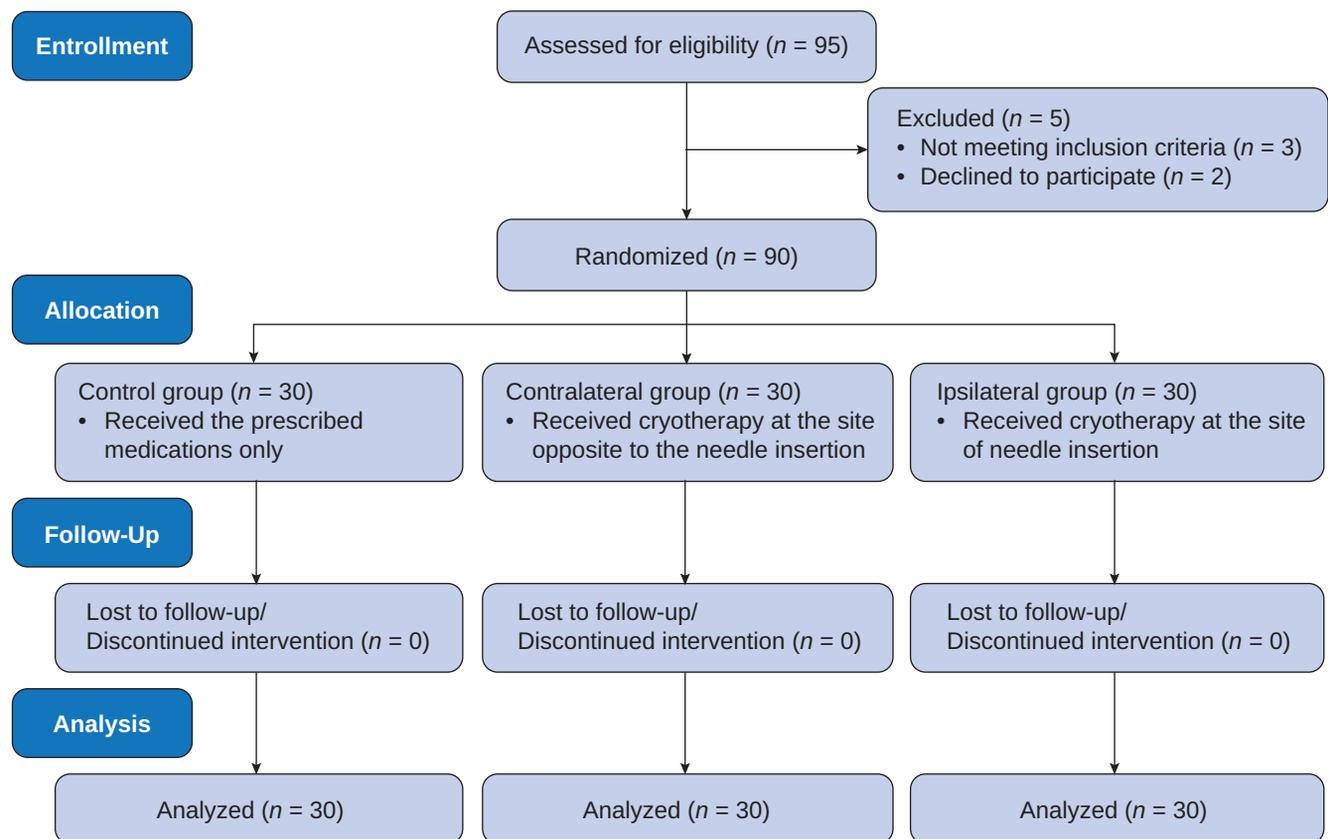


Fig. 2. Study flowchart

Between-groups comparison: Baseline and after twenty sessions of intervention

A mixed design multivariate analysis was used to determine the effect of therapy on the measured variables. Wilk's $\Lambda = 0.2$, $F(8, 168) = 25.77$, $p < 0.001$, Partial Eta Squared (η^2) = 0.55 indicated a statistically significant difference between groups. Also, there was a statistically significant effect on time (pre-post treatment) as Wilk's $\Lambda = 0.05$, $F(4, 84) = 436.62$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.95$, and for the interaction between groups and time, Wilk's $\Lambda = 0.1$, $F(8, 168) = 46.76$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.69$.

Table 2 shows that there were no significant differences between the three groups in all assessed variables at baseline ($p \geq 0.05$). After 20 sessions of intervention, there were no statistically significant differences between the ipsilateral and contralateral groups. However, there were statistically significant differences between the ipsilateral and control groups, as well as between the contralateral and control groups ($p < 0.05$), as shown in Tables 2–3.

Within-groups comparison

Comparing the pre- and post-intervention results in ipsilateral and contralateral groups revealed statistically significant differences in all outcome measures ($p < 0.05$), but there was no statistically significant difference in the control group, as shown in Table 2.

Pain management is crucial for hemodialysis patients because of the detrimental consequences that arteriovenous fistula puncture-related pain has on their physical and emotional well-being [16]. In this context, researchers have employed non-pharmacological techniques like acupuncture, lavender aromatherapy, EMLA anesthetic cream, and self-selected calming music to lessen the pain associated with arteriovenous fistula punctures.

The findings of their studies demonstrated the beneficial effects of the aforementioned techniques on lowering the degree of pain. In addition, cryotherapy, either ipsilateral or contralateral, has been utilized in multiple trials to alleviate discomfort associated with fistula punctures [7]. Several studies found that cryotherapy had a favorable impact on lowering fistula puncture-related pain. The changes in pain intensity between the experimental and control groups after cryotherapy were varied in the studies [7]. So, the current study compares the effect of cryotherapy ipsilateral against contralateral and determines which is more effective and produces the best outcomes.

Following 20 sessions of ipsilateral and contralateral cryotherapy, the study demonstrated a statistically significant decrease in pain intensity as measured by VAS ($p < 0.001$), with no statistically significant changes between the two groups. This is in line with the findings of Sabitha P.B. et al., who found that AV fistula puncture pain levels decreased from an average of 3.8 on day 1 (when the patient received standard care) to 0.7 on day 2 (when contralateral cryotherapy was administered). This was a significant decrease ($p = 0.001$) [17]. Yan L.J. et al. also discovered that patients treated with ipsilateral cryotherapy needed less analgesia (26.19% vs. 48.84%, $p < 0.05$) and had a lower VAS pain score from 30 to 48 hours after surgery ($p < 0.05$) [18].

The gate control research given by Melzack R. best explains the mechanics involved in pain reduction by cryotherapy [19]. Evidence suggests that cold signals are conveyed to the spinal cord solely via A-delta fibers rather than C fibers, which might give a mechanism for distinguishing between the many feedback systems that underlie analgesia [20]. Cryotherapy decreases nerve sensitivity to alleviate pain by decreasing the conduction velocity of the nerve impulse transmission [21].

Table 2. Within and between group analysis for VAS, HADS and AMAT (*n* = 90)

η^2	<i>p</i> (between groups)	Control group	Contralateral group	Ipsilateral group	Variables
VAS (cm)					
	0.28	3.57 ± 0.96	3.9 ± 0.61	3.83 ± 0.75	Pre-treatment
0.72	0.001	3.37 ± 0.67	1.47 ± 0.51	1.5 ± 0.51	Post-treatment
		0.17	< 0.001	< 0.001	<i>p</i> (within-group)
HADS (depression domain) (score)					
	0.55	12.87 ± 1.85	12.27 ± 2.5	12.37 ± 2.43	Pre-treatment
0.77	0.001	12.67 ± 1.86	6.73 ± 1.14	6.2 ± 1.85	Post-treatment
		0.62	< 0.001	< 0.001	<i>p</i> (within-group)
HADS (anxiety domain) (score)					
	0.08	14.47 ± 3.55	13.07 ± 1.62	13.8 ± 1.16	Pre-treatment
0.73	0.001	14.1 ± 3.8	5.57 ± 0.73	6.87 ± 1.28	Post-treatment
		0.21	< 0.001	< 0.001	<i>p</i> (within-group)
AMAT (score)					
	0.17	33.73 ± 2.96	35.7 ± 4.96	34.73 ± 3.88	Pre-treatment
0.6	0.001	33.93 ± 2.88	52.53 ± 7.85	51.8 ± 6.68	Post-treatment
		0.89	< 0.001	< 0.001	<i>p</i> (within-group)

Note: *n* — number; MD — mean difference; CI — confidence interval; *p* — probability value; Data are mean ± SD; *p* ≤ 0.05 indicate statistical significance difference; VAS — visual analogue scale; cm — centimeter; HADS — hospital anxiety and depression scale; AMAT — arm mobility ability test.

Table 3. Between group analysis of all outcome variables (*n* = 90)

Outcome	Ipsilateral group versus contralateral group		Ipsilateral group versus control group		Contralateral group versus control group	
	MD (95% CI)	<i>p</i>	MD (95% CI),	<i>p</i>	MD (95% CI)	<i>p</i>
VAS (cm)						
	0.03 (-0.32, 0.39)	0.99	-1.87 (-2.22, -1.5)	< 0.001	-1.9 (-2.26-1.54)	< 0.001
HADS (depression domain) (score)						
	-0.53 (-1.57, 0.51)	0.64	-6.47 (-7.51, -5.43)	< 0.001	-5.93 (-6.97, -4.89)	< 0.001
HADS (anxiety domain) (score)						
	1.3 (-0.18, 2.78)	0.1	-7.23 (-8.71, -5.75)	< 0.001	-8.53 (-10.01, -7.05)	< 0.001
AMAT (score)						
	-0.73 (-5.27, 3.81)	0.98	17.87 (13.28, 22.41)	< 0.001	18.6 (14.06, 23.14)	< 0.001

Note: *n* — number; MD — mean difference; CI — confidence interval; *p* — probability value; VAS — visual analogue scale; cm — centimeter; HADS — hospital anxiety and depression scale; AMAT — arm mobility ability test. Data are mean ± SD; *p* ≤ 0.05 indicate statistical significance difference.

Furthermore, the signal for cold travels quicker than the signal for pain in nerve fibers, so the cold is felt more intensely than the pain, indirectly raising the pain threshold [20]. Cold treatment may relieve pain through a variety of processes, including nociceptor suppression, muscular spasm reduction, and/or decreased metabolic enzyme

activity levels [22]. Furthermore, it slows blood flow and cellular metabolism in the damaged region, minimizes inflammation, improves muscular relaxation, and enhances the pain threshold [18].

The study found that both cryotherapy procedures significantly reduced anxiety and depression, as measured

by HADS ($p < 0.001$). This conclusion aligns with the findings of Abdrabouh M.A. et al. [23], who discovered a substantial change in overall mean anxiety score among older patients before and after cryotherapy ($p < 0.001$). Before the intervention, the overall mean anxiety score was 35.78 ± 6.32 , which fell to 23.78 ± 5.06 during the post-intervention period. Also, Lu H.Y. et al. discovered that cold treatment administered for both periods (less than 15 minutes and up to 20 minutes) effectively reduced post-chest tube removal anxiety and pain [24].

In contrast, Sajedi-Monfared's Z. study discovered that breathing relaxation techniques and cold treatment were ineffective in reducing the pain and anxiety associated with chest tube removal [25]. The variation in the sample population and length of intervention might explain the disparity with the previously reported study.

Pain can trigger feelings of depression and anxiety, which might worsen the patient's vulnerability to the pain. So it appears that lowering pain reduces negative psychological feelings [25]. Pain, sadness, and anxiety are all tightly related and have a role in the development of long-term disorders; therefore, physicians should address them as soon as feasible. Furthermore, these symptoms should be evaluated and treated during treatment to maximize outcomes [26]. Because of the limited results of pharmaceutical therapy Cryotherapy could be a useful tool for treating pain and depression [27]. Benefits of cold therapy for mental health include improved emotions of well-being and life satisfaction as well as a reduction in anxiety and depression symptoms [28].

Our study found that ipsilateral and contralateral cryotherapy had a significant positive effect on arm mobility as measured by AMAT ($p < 0.001$). This is consistent with Feys P. et al. findings that whole arm cooling for 15 minutes using multiple cold packs for tremors in MS patients resulted in a clinically noticeable effect on tremor severity and improved functional performance [29]. Cryotherapy has been utilized and analyzed to help athletes restore functional qualities, including strength, elasticity, and neuromuscular control [30]. Furthermore, Durairaj S. et al. discovered that using cryotherapy (ice massage) in conjunction with task-oriented training for three sessions per week for two months reduced spasticity and improved tactile registration function, resulting in upper limb function improvement in hemiplegic cerebral palsy children [31]. Following cryotherapy, the mechanoreceptor, muscle spindle, and Golgi tendon organ received sufficient input to the higher center neural system, resulting in a sufficient muscle response during

motor action in healthy subjects. Additionally, the motor neuron pool was facilitated to achieve controlled muscle action, which may account for the improvement in upper limb function [32].

Limitations

Our research, however, has certain drawbacks: 1) It is a limited sample size research, and the findings should be validated by larger, multicenter investigations. 2) Furthermore, although individuals with diabetic neuropathy were excluded from the research, subjective measurements such as degree of pain and level of satisfaction are susceptible to possible bias.

Strength of study

This is the first randomized trial to illustrate the efficacy of cryotherapy via two distinct applications, both of which had a similar substantial effect on HD patients. It also demonstrated the psychological and functional effects of the intervention.

Future recommendations

Management of arteriovenous fistula puncture-related pain alleviates stress, increases satisfaction, and reduces negative psychological effects [33]. As a result, adverse effects from medications are more likely to occur. As a consequence, it is critical to develop suitable treatment strategies to increase patients' comfort and reduce pain through non-pharmacological means. Cryotherapy was investigated and shown to be useful in pain reduction. In recent years, the type and technique of cryotherapy have not been standardized among clinical institutions. It would be useful to promote the study protocols as a standard protocol for the practical application of cryotherapy. Further future research focusing on non-pharmacologic pain alleviation strategies should be pushed to encourage such intervention, which will be extremely beneficial to patients with renal failure. Cryotherapy should be used in standard hemodialysis patient treatment to manage needle puncture discomfort.

CONCLUSION

Given the good effect of cryotherapy on lowering fistula puncture-related pain, cryotherapy as a low-risk and simple approach appears to be helpful and useful in reducing pain and hence the unpleasant psychological and physical repercussions of pain. Consequently, it can be concluded that cryotherapy is a superior option due to its lower cost, convenience, and fewer adverse effects.

ADDITIONAL INFORMATION

Sara F. Ghoneem, Senior of Physical Therapy, Cairo University Hospitals Al-kasr Alainy.

E-mail: saraghoneem581@gmail.com, alaamotasem@cu.edu.eg; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1327-8656>

Nagwa Hamed, Professor, Department of Physical Therapy for Cardiovascular/Respiratory Disorder and Geriatrics, Faculty of Physical Therapy, Cairo University.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2886-9048>

Sahier O. El-Khashab, Professor, Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, Cairo University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6857-4076>

Alaa M. El-Moatasem, Lecturer, Department of Physical Therapy for Cardiovascular/Respiratory Disorder and Geriatrics, Faculty of Physical Therapy, Cairo University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2928-5295>

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: Ghoneem S.F. — conceptualization, methodology, software, supervision, validation, writing — original draft, writing — review &

editing; Hamed N. — data curation, writing — original draft, visualization, investigation; El-Khashab S.O. — formal analysis; El-Moatasem A.M. — conceptualization, methodology, software, validation, formal analysis, investigation, resources, data curation, writing — original draft, writing — review & editing. **Funding.** This study was not supported by any external funding sources.

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

Ethical 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 study was approved by the Local Ethics Committee of Faculty of Physical Therapy Cairo University, Egypt, ethics reference No. P.T.REC/012/005168 dated 05.05.2024.

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

Acknowledgements. The authors acknowledges all study participants for agreeing to take part in it.

Data Access Statement. The authors confirm that data supporting the conclusions of this study are available in the online supplement to this article at: <https://clinicaltrials.gov/study/NCT06520631>.

References

- Dinis M., Sousa J.P. A Pilot Randomised Controlled Trial on the Effectiveness of an Anti-Stress Ball Technique for Pain Reduction during Vascular Access Cannulation in Haemodialysis Patients. *Nurs Rep.* 2023; 13(2): 731–739. <https://doi.org/10.3390/nursrep13020064>
- Bello A.K., Okpechi I.G., Osman M.A., et al. Epidemiology of peritoneal dialysis outcomes. *Nat Rev Nephrol.* 2022; 18(12): 779–793. <https://doi.org/10.1038/s41581-022-00623-7>
- Duncanson E.L., Chur-Hansen A., Le Leu R.K., et al. Dialysis Needle-Related Distress: Patient Perspectives on Identification, Prevention, and Management. *Kidney Int Rep.* 2023; 8(12): 2625–2634. <https://doi.org/10.1016/j.ekir.2023.09.011>
- Back Y., Lee Y. Optimal Time of Thermotherapy for Reducing Pain, Anxiety, and Side Effects in Arteriovenous Fistula Puncture Patients: A Randomized Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health.* 2020; 17(19): 7147. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197147>
- Harris T.J., Nazir R., Khetpal P., et al. Pain, sleep disturbance and survival in hemodialysis patients. *Nephrol Dial Transplant.* 2012; 27(2): 758–765. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfr355>
- Montenegro J., Klein M.R.S.T., Bregman R., et al. Osteosarcopenia in patients with non-dialysis dependent chronic kidney disease. *Clin Nutr.* 2022; 41(6): 1218–1227. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.04.017>
- Jafari-Koulaee A., Moosazadeh M., Bagheri Nesami M., Goudarzian A.H. Effect of cryotherapy on arteriovenous fistula puncture-related pain in hemodialysis patients: A systematic review and meta-analysis. *Complement Ther Med.* 2020; 49: 102326. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2020.102326>
- Kortobi L., Belymam H., Chkairi N.M., et al. Management of pain at arteriovenous fistula puncture: Cryotherapy versus lidocaine/prilocaine. *Saudi J Kidney Dis Transpl.* 2020; 31(3): 597–603. <https://doi.org/10.4103/1319-2442.289446>
- Koushki B., Khajeh M., Bagheri H., et al. Comparing the Effect of Local Application of Peppermint and Cold Compresses on the Severity of Pain from Venipuncture in Dialysis Patients: A Parallel Randomized Clinical Trial Study. *Saudi J Kidney Dis Transpl.* 2023; 34(4): 288–296. <https://doi.org/10.4103/1319-2442.395444>
- Delgado D.A., Lambert B.S., Boutris N., et al. Validation of Digital Visual Analog Scale Pain Scoring With a Traditional Paper-based Visual Analog Scale in Adults. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev.* 2018; 2(3): e088. <https://doi.org/10.5435/JAAOSGlobal-D-17-00088>
- Page S.J., Levin L., Hermann V., et al. Longer versus shorter daily durations of electrical stimulation during task-specific practice in moderately impaired stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2012; 93: 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.09.016>
- Singer B.J., Vallence A.M., Cleary S., et al. The effect of EMG triggered electrical stimulation plus task practice on arm function in chronic stroke patients with moderate-severe arm deficits. *Restor Neurol Neurosci.* 2013; 31: 681–691. <https://doi.org/10.3233/rnn-130319>
- Wong A.W., Danoff S.K. Providing Patient-Centered Care in Interstitial Lung Disease. *Clin Chest Med.* 2021; 42(2): 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2021.03.003>
- Brekelmans A.C.M., Ramnarain D., Pouwels S. Bereavement Support Programs in the Intensive Care Unit: A Systematic Review. *J Pain Symptom Manage.* 2022; 64(3): e149–e157. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2022.05.008>
- Sheha M. Effectiveness of cryotherapy related pain management among patients undergoing hemodialysis at the site of arteriovenous fistula puncture. *World J Nurs Sci.* 2019; 5(3): 97–103. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjns.2019.97.103>
- Gerogianni G. Factors Affecting Pain in Hemodialysis and Non-pharmacological Management. *Cureus.* 2023; 15(2): e35448. <https://doi.org/10.7759/cureus.35448>
- Sabitha P.B., Khakha D.C., Mahajan S., et al. Effect of cryotherapy on arteriovenous fistula puncture-related pain in hemodialysis patients. *Indian J Nephrol.* 2008; 18(4): 155–158. <https://doi.org/10.4103/0971-4065.45290>
- Yan L.J., Zhang F.R., Ma C.S., et al. Arteriovenous Graft for Hemodialysis: Effect of Cryotherapy on Postoperative Pain and Edema. *Pain Manag Nurs.* 2019; 20(2): 170–173. <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2018.07.002>
- Melzack R., Wall P.D. Pain mechanisms: A new theory. *Science.* 1965; 150: 171–179. <https://doi.org/10.1126/science.150.3699.971>
- Melzack R., Jeans M.E., Stratford J.G., Monks R.C. Ice massage and transcutaneous electrical stimulation: Comparison of treatment for low-back pain. *Pain.* 1980; 9: 209–217. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(80\)90008-1](https://doi.org/10.1016/0304-3959(80)90008-1)
- Hochberg J. A randomized prospective study to assess the efficacy of two cold-therapy treatments following carpal tunnel release. *J Hand Ther.* 2001; 14(3): 208–215. [https://doi.org/10.1016/s0894-1130\(01\)80055-7](https://doi.org/10.1016/s0894-1130(01)80055-7)
- Knobloch K., Kraemer R., Lichtenberg A., et al. Microcirculation of the ankle after Cryo/Cuff application in healthy volunteers. *Int. J. Sports Med.* 2006; 27(03): 250–255.
- Abdrabouh M.A., Abd Allah E.S., Mohamed R.A., Alam R.R. Pain and Anxiety among Hemodialysis Elderly Patients after Cryotherapy Intervention. *Tob Regul Sci.* 2022; 2744–2756.
- Lu H.Y., Lin M.Y., Tsai P.S., et al. Effectiveness of Cold Therapy for Pain and Anxiety Associated with Chest Tube Removal: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Pain Manag Nurs.* 2024; 25(1): 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2023.04.016>
- Sajedi-Monfared Z., Rooddehghan Z., Haghani H., et al. Cold Therapy and Respiratory Relaxation Exercise on Pain and Anxiety Related to Chest Tube Removal: A Clinical Trial. *Iran J Nurs Midwifery Res.* 2021; 26(1): 54–59. https://doi.org/10.4103/ijnmr.IJNMR_228_19

26. Sheng J., Liu S., Wang Y., et al. The Link between Depression and Chronic Pain: Neural Mechanisms in the Brain. *Neural Plast.* 2017; 2017: 9724371. <https://doi.org/10.1155/2017/9724371>
27. Garcia C., Karri J., Zacharias N.A., Abd-Elseyed A. Use of Cryotherapy for Managing Chronic Pain: An Evidence-Based Narrative. *Pain Ther.* 2021; 10(1): 81–100. <https://doi.org/10.1007/s40122-020-00225-w>
28. Oswald G., Francis J., Dhakal S. Behavioral and Physiological Interventions for Anxiety and Depression: An Overview of Nontraditional Methods. *J. Creat. Ment. Health.* 2019; 14(4): 455–464. <https://doi.org/10.1080/15401383.2019.1626314>
29. Feys P., Duportail M., Kos D., et al. Effects of Peripheral Cooling on Upper Limb Tremor Severity and Functional Capacity in Persons with MS. *J Clin Med.* 2023; 12(13): 4549. <https://doi.org/10.3390/jcm12134549>
30. Kalli K., Fousekis K. The effects of cryotherapy on athletes' muscle strength, flexibility, and neuromuscular control: A systematic review of the literature. *J Bodyw Mov Ther.* 2020; 24(2): 175–188. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2019.11.001>
31. Durairaj S., Dhaneshkumar K.U., Rajasenthil K., Thakur A. A study to find the effectiveness of cryotherapy with task oriented training in improving upper limb function in hemiplegic cerebral palsy. *Int J Physiother Res* 2018; 6(1): 2595–2599. <https://doi.org/10.16965/ijpr.2017.260>
32. Zampieri N., de Nooij J.C. Regulating muscle spindle and Golgi tendon organ proprioceptor phenotypes. *Curr Opin Physiol.* 2021; 19: 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.cophys.2020.11.001>
33. Pogatzki-Zahn E.M., Segelcke D., Schug S.A. Postoperative pain-from mechanisms to treatment. *Pain Rep.* 2017; 2(2): e588. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000000588>

Интермиттирующая стимуляция тета-вспышками первичной моторной коры в коррекции двигательных нарушений при болезни Паркинсона: рандомизированное контролируемое исследование

 Коцоев Г.А.* ,  Федотова Е.Ю.,  Бакулин И.С.,  Пойдашева А.Г.,  Лагода Д.Ю.,
 Забирова А.Х.,  Супонева Н.А.

Российский центр неврологии и нейронаук, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Существенной проблемой при болезни Паркинсона (БП) являются поструральные нарушения. Перспективным методом коррекции данных нарушений является терапевтическая транскраниальная магнитная стимуляция (тТМС), в частности, протоколы стимуляции тета-вспышками. Несмотря на показанную ранее эффективность тТМС в отношении двигательных нарушений, в отношении поструральных существует недостаточно данных.

ЦЕЛЬ. Изучить эффективность билатеральной интермиттирующей стимуляции тета-вспышками (intermittent theta burst stimulation — iTBS) первичной моторной коры (M1) у пациентов с БП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В рамках двойного слепого рандомизированного плацебо-контролируемого исследования было отобрано 24 пациента с БП II–III стадии по Hoehn — Yahr в возрасте 42–75 лет. Проводились 10 сессий тТМС: в группе стимуляции первичной моторной коры (группа M1) проводилась билатеральная iTBS M1, в группе имитации стимуляции (ИС-группа) — имитация стимуляции с помощью специальной катушки. Оценка проводилась в off- и on- фазах 4 раза — до, после курса стимуляции, через 1 и через 3 месяца после окончания курса. Оценка проводилась с применением шкалы MDS-UPDRS, шкалы баланса Берг, 10-метрового теста ходьбы и стабиллометрии (тест Ромберга, тест на устойчивость), выполненной на аппарате «Стабилан-01-2». Статистический анализ выполнялся с применением программы IBM SPSS Statistics 27.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В группе M1 в off-фазе отмечалось краткосрочное улучшение на 5 баллов (12,6 %) по III части шкалы MDS-UPDRS и долгосрочное уменьшение поструральной неустойчивости в обеих фазах. По данным стабиллометрии, в группе M1 долгосрочная положительная динамика в тесте на устойчивость отмечалась в обеих фазах. Значимое межгрупповое различие отмечалось только в тесте на устойчивость. Частота и выраженность нежелательных явлений в группе M1 не отличались значимо от ИС-группы; жизнеугрожающих нежелательных явлений не отмечалось. iTBS M1 оказывает умеренный положительный эффект на двигательные и поструральные нарушения при БП. Наблюдаемые тенденции (улучшение в off-фазе, уменьшение поструральной неустойчивости) могут свидетельствовать о вовлечении как дофаминергических механизмов, так и иных нейромедиаторных систем. Протокол iTBS M1 безопасен и обладает удовлетворительной переносимостью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Билатеральная iTBS M1 не является достоверно эффективным методом коррекции двигательных и поструральных нарушений при БП. Тем не менее, учитывая тенденцию к положительному эффекту, безопасность и переносимость протокола, актуально проведение дальнейших исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: болезнь Паркинсона, транскраниальная магнитная стимуляция, первичная моторная кора, физическая реабилитация

Для цитирования / For citation: Коцоев Г.А., Федотова Е.Ю., Бакулин И.С., Пойдашева А.Г., Лагода Д.Ю., Забирова А.Х., Супонева Н.А. Интермиттирующая стимуляция тета-вспышками первичной моторной коры в коррекции двигательных нарушений при болезни Паркинсона: рандомизированное контролируемое исследование. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(4):76–88. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-76-88> [Kotsoev G.A., Fedotova E.Yu., Bakulin I.S., Poydasheva A.G., Lagoda D.Yu., Zabirowa A.Kh., Suponeva N.A. Intermittent Theta Burst Stimulation of the Primary Motor Cortex in the Correction of Motor Symptoms in Parkinson's Disease: a Randomized Controlled Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):76–88. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-76-88> (In Russ.)]

* Для корреспонденции: Коцоев Георгий Александрович, E-mail: kotsoev@neurology.ru

Статья получена: 10.10.2024
Статья принята к печати: 22.01.2025
Статья опубликована: 16.08.2025

Intermittent Theta Burst Stimulation of the Primary Motor Cortex in the Correction of Motor Symptoms in Parkinson's Disease: a Randomized Controlled Study

 Georgii A. Kotsoev*,  Ekaterina Yu. Fedotova,  Ilya S. Bakulin,  Alexandra G. Poydasheva,  Dmitry Yu. Lagoda,  Alfiia Kh. Zabirova,  Natalia A. Suponeva

Russian Center of Neurology and Neurosciences, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Postural disorders are a significant issue among Parkinson's disease (PD) patients. Therapeutic transcranial magnetic stimulation (tTMS), specifically theta burst stimulation (TBS) protocols, is a promising rehabilitation method. Though tTMS efficacy in terms of motor improvement was shown, its efficacy for postural disorders treatment is questionable.

AIM. To study the efficacy of bilateral primary motor core (M1) intermittent theta burst stimulation (iTBS) in PD patients.

MATERIALS AND METHODS. 24 PD patients, aged 42–75 years, with II and III Hoehn — Yahr stages were selected as part of this double-blinded, sham-controlled, randomized study. 10 sessions were performed both in active (M1 group) and sham (sham group) stimulation. All tests were performed both in off- and on- states, 4 times altogether: before and shortly after the course, then 1 and 3 months after the course. MDS-UPDRS, Berg balance scale, 10-meter walking test and stabilometric tests (Romberg test and dynamic stability test), performed with the Stablan-01-2 complex, were used as assessment tools. Statistical analysis was performed with the IBM SPSS Statistics 27.

RESULTS AND DISCUSSION. In M1 group there was a short-term motor improvement by 5 points (12.6 %) according to part III of MDS-UPDRS in off state, and a long-term postural stability improvement in both states. Stabilometry results showed long-term improvement in dynamic stability test in M1 group in both states; the only significant group effect was also found. Adverse events (AE) did not significantly differ in prevalence and severity between the two groups; no life-threatening AE were observed. M1 iTBS has a moderate positive effect on motor and postural disorders in PD patients. The observed trends (mostly off state improvement and postural stability improvement) lead to suggestion of stimulation acting through both dopaminergic and dopamine-independent pathways. The protocol appears to be safe and tolerable.

CONCLUSION. Bilateral M1 iTBS does not appear to have a definite effect on motor and postural disorders in PD patients. Nevertheless, given its tendency to have a positive effect and its good safety and tolerability profile, further research is essential.

KEYWORDS: Parkinson's disease, transcranial magnetic stimulation, primary motor core, physical rehabilitation

For citation: Kotsoev G.A., Fedotova E.Yu., Bakulin I.S., Poydasheva A.G., Lagoda D.Yu., Zabirova A.Kh., Suponeva N.A. Intermittent Theta Burst Stimulation of the Primary Motor Cortex in the Correction of Motor Symptoms in Parkinson's Disease: a Randomized Controlled Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):76–88. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-76-88> (In Russ.).

* **For correspondence:** Georgii A. Kotsoev, E-mail: kotsoev@neurology.ru

Received: 10.10.2024

Accepted: 22.01.2025

Published: 16.08.2025

ВВЕДЕНИЕ

Болезнь Паркинсона (БП) является одним из наиболее распространенных расстройств движений. Ядром клинической картины данного заболевания являются двигательные нарушения, в первую очередь, брадикинезия, мышечная ригидность и тремор [1]. По мере прогрессирования заболевания двигательные нарушения усугубляются и становятся более разнообразными. Начиная с ранних стадий БП, отдельной существенной проблемой являются постуральные нарушения, приводящие к падениям и травмам, усугубляющим инвалидизацию пациентов. БП стоит на первом месте среди неврологических причин падений: до 20 % от общей популяции, при этом среди пациентов с БП от падений страдают до 62 % [2]. Несмотря на существующий обширный спектр медикаментозного и хирургического лечения, вопрос коррекции двигательных нарушений, в частности постуральных нарушений, остается актуальным, что требует поиска альтернативных методов лечения [3].

Одним из перспективных методов нефармакологического воздействия является терапевтическая транскраниальная магнитная стимуляция (тТМС). В основе

данного метода лежит использование сфокусированного электромагнитного поля, что позволяет проводить неинвазивную стимуляцию головного мозга, при этом оказывается модулирующее воздействие как на непосредственно стимулируемую область, так и на другие области коры и подкорковые структуры, связанные с ней [4, 5]. В структуре терапевтической стимуляции различают ритмическую ТМС, которую в свою очередь подразделяют на низкочастотную (1 Гц и менее) и высокочастотную (5 Гц и более), а также стимуляцию тета-вспышками (theta burst stimulation — TBS), которую также делят на интермиттирующую (intermittent TBS — iTBS) и постоянную (continuous TBS — cTBS). При этом принято считать, что низкочастотная ритмическая стимуляция и cTBS оказывают ингибирующий эффект, в то время как две другие разновидности (высокочастотная ритмическая и iTBS) — активирующий эффект [4, 6]. Проведение тТМС позволяет добиться как кратковременного, так и долговременного модулирующего эффекта, что определяет значительный интерес к применению тТМС для лечения и реабилитации пациентов с различными заболеваниями нервной системы, в том числе с БП [5, 7].

Возможности применения тТМС при БП в течение длительного времени являются объектом активного изучения. В большей части работ использовали в качестве мишени для стимуляции на первичную моторную кору (M1), которая играет важную роль в патофизиологии моторных нарушений при БП и легко доступна для неинвазивной стимуляции [8–10]. Помимо этого, в работах Strafella A.P. et al. было показано, что стимуляция зоны M1 приводит к снижению связывания антагониста дофаминовых рецепторов — [¹¹C]-раклоприда — в базальных ганглиях по данным позитронной эмиссионной томографии как у пациентов с БП, так и у здоровых испытуемых, что свидетельствует об увеличении выработки дофамина в данной области под влиянием тТМС [11, 12]. По данным нескольких метаанализов, было показано, что наиболее эффективным протоколом для коррекции двигательных нарушений является билатеральная высокочастотная ритмическая ТМС М1 [13, 14], что отражено в рекомендациях группы экспертов: данный протокол имеет уровень доказательности В (вероятно, эффективно) в коррекции двигательных нарушений при БП [7].

Влияние протоколов с применением тета-вспышек при данном заболевании изучено мало, в большей части исследований применялась лишь одна сессия ТМС. В недавнем метаанализе [15] изучалось влияние ТБС как на моторные, так и на немоторные симптомы при БП. По его результатам было показано, что применение тета-вспышек существенно не влияет на двигательную симптоматику пациента в on-фазу, однако значительно улучшает состояние в off-фазу. В то же время, в отличие от данных по ритмической ТМС, достоверное улучшение отмечалось при применении «тормозящей» разновидности ТБС (сТБС) и стимуляции другой мишени — дополнительной моторной области, в то время как iTBS зоны M1 существенных изменений не показала; однако авторами было отмечено, что полученное расхождение может быть связано с малой выборкой. Учитывая большее количество свидетельств в пользу активирующего типа стимуляции первичной моторной коры, в том числе в отношении нарушений ходьбы, дальнейшее изучение возможностей данного протокола является актуальным.

Ранее были описаны специфика постуральных нарушений при БП в зависимости от формы заболевания и степени тяжести и положительные изменения стабилметрических показателей на фоне медикаментозной терапии [16]. Несмотря на большое количество работ, посвященных влиянию ритмической ТМС на моторные нарушения при БП, проблема постуральной неустойчивости затронута лишь в малой их части. Так, ранее было показано, что билатеральная высокочастотная стимуляция зоны M1 с последующей высокочастотной стимуляцией левой дорсолатеральной префронтальной коры снижает выраженность постуральной неустойчивости по шкале MDS-UPDRS (Movement Disorder Society Unified Parkinson's Disease Rating Scale) — унифицированной рейтинговой шкале БП, предложенной Международным обществом расстройств движений [17]. Билатеральная высокочастотная ритмическая ТМС зоны M1 в другой работе показала достоверное уменьшение выраженности как двигательных нарушений по шкале MDS-UPDRS, так и уменьшение нарушений баланса по шкале GABS (Gait And Balance Scale) [18]. Еще в одном исследовании применение аналогичного прото-

кола продемонстрировало положительный результат в виде снижения комплексного показателя постуральной неустойчивости и затруднений при ходьбе (Postural Instability and Gait Difficulty — PIGD) [19]. Тем не менее до настоящего времени не проводились работы с проведением комплексной оценки нарушений баланса с применением аппаратных методов, таких как стабилметрия.

ЦЕЛЬ

Оценка эффективности iTBS M1 в отношении двигательных нарушений, в частности, постуральной неустойчивости и нарушений баланса у пациентов с БП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Набор участников

Данное исследование было одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ «Российский центр неврологии и нейронаук» от 20.04.2022 (протокол № 3–б/22). В исследование было включено 24 пациента с клинически установленным диагнозом «болезнь Паркинсона», находившихся на стационарном лечении в 5-м неврологическом отделении и/или наблюдавшихся амбулаторно в клинко-диагностическом отделении ФГБНУ «Российский центр неврологии и нейронаук». С целью исключения возможных противопоказаний всем пациентам проводилась рутинная электроэнцефалография с функциональными пробами.

Критериями включения являлись возраст от 40 до 80 лет, II–III стадия по шкале Hoehn — Yahr и добровольное информированное согласие на участие. В исследование не включались пациенты с риском развития эпилепсии (наличие приступов в анамнезе, эпилептиформность по данным рутинной электроэнцефалографии), иными противопоказаниями к проведению тТМС и магнитно-резонансной томографии (наличие металлических имплантатов в теле, клаустрофобия и т. д.), оперативными вмешательствами по поводу БП, предшествующими проведением тТМС, тяжелыми соматическими, когнитивными и психическими нарушениями, а также пациенты, принимающие мепамин. Пациенты исключались из исследования при добровольном отказе от продолжения участия, развитии тяжелых побочных эффектов от тТМС, тяжелой соматической/неврологической патологии после включения в исследование, а также при необходимости коррекции противопаркинсонической терапии (изменение суточной дозы/коррекция режима приема/замена препарата на аналог). В течение всего времени исследования подобранная на момент вступления противопаркинсоническая терапия оставалась неизменной.

Протокол стимуляции

Методом слепых конвертов все участники были распределены в одну из групп: группу активной стимуляции M1 или группу имитации стимуляции (sham-группа). Характеристики протоколов представлены в таблице 1.

Перед началом курса тТМС пациентам проводилась магнитно-резонансная томография головного мозга в режиме T1 MPR (multiplanar reconstruction) для построения индивидуальной модели головного мозга для выявления индивидуальных точек-мишеней для стимуляции. Стимуляция выполнялась на аппарате MagProX100 + MagOption (Tonica Elektronik A/S, Дания) с навигационной системой

Таблица 1. Протоколы стимуляции в исследуемых группах

Table 1. Stimulation protocols in the study groups

Группы / Groups	Мишень / Area	Протокол стимуляции / Stimulation protocol	Интенсивность стимуляции / Intensity	Стимулов за сессию / Stimuli per session	Количество сессий / Number of sessions
M1	Билатерально M1 (корковое представительство <i>m. dorsalis interosseus</i>) / M1 hand area bilaterally	iTBS (блоки по 10 вспышек с частотой 5 Гц, интервал между блоками — 8 сек; 1 вспышка = 3 стимула с частотой 50 Гц) / iTBS (trains of 10 bursts at 5 Hz frequency, intertrain interval — 8 sec, 3 pulses at 50 Hz frequency per burst)	80 % от порога ВМО / 80 % of RMT	1200 (600 с каждой стороны) / 1200 (600 per side)	10
Sham	Звуковая имитация и имитация ощущений в месте стимуляции с помощью специальной катушки с электродами; билатерально в проекции M1 со схожими с iTBS протоколом и продолжительностью процедуры / Audial and sensory imitation at the stimulation area with a special coil, bilaterally at the M1 projection, using same stimulation protocols				10

Примечание: M1 — первичная моторная кора, ВМО — вызванный моторный ответ, sham — имитация стимуляции, iTBS — перемежающаяся стимуляция тета-вспышками.

Note: M1 — primary motor core, RMT — resting motor threshold, iTBS — intermittent theta burst stimulation.

Localite TMS Navigator (Localite GmbH, Германия) и роботизированной системой удержания катушки Axillum Robotics TMS-Cobot (Axillum Robotics, Франция). Каждая стимуляция выполнялась в оп-фазу (через 1–1,5 часа от приема противопаркинсонической терапии).

Клиническая оценка

Общая оценка двигательной функции проводилась по III части шкалы MDS-UPDRS, а также с применением 10-метрового теста ходьбы (в обуви, с комфортной и максимальной скоростью). С целью оценки выраженности поструральных нарушений проводились оценка по шкале баланса Берг, а также стабилметрия с использованием аппаратно-программного комплекса «Стабилан-01-2» (тест Ромберга, с открытыми и закрытыми глазами, тест на устойчивость): в тесте Ромберга оценивались площадь статокинезиограммы (ПСКГ), в тесте на устойчивость — диапазон максимально возможного отклонения от центра без падения в сагиттальной плоскости (СДОmax). Каждый тест проводился в off-фазу (до первого приема противопаркинсонических препаратов) и оп-фазу (через 1–1,5 часа после приема). Тесты проводились перед первой сессией, на 1-е–3-и сутки после десятой сессии, а также с целью оценки отсроченного эффекта — через 1 и 3 месяца после десятой сессии.

Таблица 2. Характеристики групп

Table 2. Group characteristics

Характеристика / Characteristic	Группа / Group		P
	M1 (n = 12)	Sham (n = 12)	
Возраст, лет / Age, years	65,5 [60,0; 72,5]	64,5 [57,0; 72,8]	0,64
Пол (мужчины/женщины) / Gender (male/female)	2/10	6/6	0,19
Длительность заболевания, лет / Disease duration, years	8,5 [4,0; 10,0]	6,0 [4,0; 9,0]	0,73
Преобладающая сторона (правая/левая) / Prevalent manifestation side (right/left)	7/5	6/6	1,00

Обработка данных

Статистическая обработка данных проводилась с применением программы IBM SPSS Statistics 27. Сравнение результатов повторных тестов с исходными значениями в рамках каждой группы проводилось с применением критерия знаковых рангов Вилкоксона. Межгрупповое сравнение исходных показателей проводилось с применением критерия Манна — Уитни для количественных показателей и с применением точного критерия Фишера — для качественных. Величина полученного группового эффекта оценивалась путем сравнения изменений показателей между группами с применением критерия Манна — Уитни. Для всех изменений был принят пороговый уровень статистической значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Описательные характеристики групп

В результате рандомизации были набраны 2 группы пациентов по 12 человек в каждой: группа активной стимуляции M1 (группа M1) и группа имитации стимуляции (sham-группа). Характеристики групп представлены в таблице 2. Статистически значимых различий между группами по представленным характеристикам получено не было.

Характеристика / Characteristic	Группа / Group		P
	M1 (n = 12)	Sham (n = 12)	
Форма (смешанная/акинетико-ригидная) / Type (combined/akinetetic-rigid)	8/4	8/4	1,00
Стадия по Hoehn — Yahr (II/III) / Hoehn — Yahr stage (II/III)	4/8	6/6	0,68
Суточная эквивалентная доза леводопы, мг / LEDD, mg	923,8 [828,1; 1130,0]	650,0 [531,9; 888,1]	0,20

Примечание: M1 — первичная моторная кора, sham — имитация стимуляции. Расчет эквивалентной дозы леводопы проводился с применением онлайн-калькулятора [20].

Note: M1 — primary motor core, sham — simulated stimulation, LEDD — levodopa-equivalent daily dose. LEDD was calculated with an online calculator [20].

Процесс отбора, рандомизация и динамика повторных наблюдений схематически представлены на рисунке 1. Одному из пациентов в группе M1 не проводился 10-метровый тест ходьбы в off-фазе ни на одном из этапов в связи с выраженной болезненной дистонией стоп.

Клиническая оценка

Исходные оценки по MDS-UPDRS-III и шкале баланса Берг значимо не различались между группами. В группе M1 в off-фазе после окончания курса стимуляции было выявлено статистически значимое улучшение в виде снижения на 5,0 [1,8; 7,0] баллов (12,6 % [4,3; 21,0]) по III части шкалы MDS-UPDRS. Выявленное улучшение не сохранилось при отсроченных наблюдениях. Снижение поструральной неустойчивости по той же шкале в свою очередь отмечалось в группе M1 как в off-, так и в on-фазе. Улучшение в обеих фазах отмечалось уже после

окончания курса: в off-фазе — на 1,0 [0,0; 1,0] балл при каждом тестировании, в on-фазе — на 1,0 [0,0; 1,0] балл сразу после курса и на 1,0 [1,0; 2,0] балл при тестировании через 1 месяц. Значимых изменений данных показателей в sham-группе, как и различий группового эффекта, отмечено не было.

Статистически значимое изменение по шкале баланса Берг отмечалось только в sham-группе в виде слабого улучшения (увеличения суммарного балла) на 0,5 [0,0; 2,0] балла (0,9 % [0,0; 3,8]) в on-фазе: изменение отмечалось сразу после стимуляции и не сохранилось при повторных измерениях. Значимых изменений в группе M1 и групповых различий по шкале баланса Берг также не отмечалось. Изменения по III части шкалы MDS-UPDRS представлены на рисунке 2. Общая динамика изменений показателей по шкалам MDS-UPDRS-III и баланса Берг представлена в таблице 3.

Таблица 3. Динамика изменений по шкале MDS-UPDRS-III и шкале баланса Берг в обеих группах

Table 3. MDS-UPDRS part III and Berg balance scale change for both groups

Параметр / Parameter	Фаза / State	Группа / Group	T1	T2	p(W)	T3	p(W)	T4	p(W)
MDS-UPDRS-III, баллы / MDS-UPDRS part III, scores	off	M1	42,0 [31,8; 44,5]	35,0 [27,3; 41,8]	0,01*	45,0 [25,0; 46,0]	0,27	39,0 [28,0; 48,0]	0,93
		sham	37,0 [30,5; 47,8]	34,0 [28,3; 48,3]	0,16	33,0 [27,5; 45,5]	0,40	32,0 [28,5; 38,0]	0,35
	on	M1	29,0 [22,3; 37,8]	27,5 [22,3; 34,5]	0,69	28,0 [16,0; 37,0]	0,15	27,0 [17,0; 40,0]	0,73
		sham	26,5 [19,5; 35,8]	23,5 [20,3; 32,8]	0,53	28,0 [23,5; 35,5]	0,26	24,0 [21,5; 32,5]	0,20
Постуральная неустойчи- вость, баллы / Postural instability, scores	off	M1	2,0 [1,0; 2,0]	1,0 [0,0; 2,0]	< 0,01*	1,0 [0,0; 2,0]	0,01*	1,0 [0,0; 2,0]	0,03*
		sham	1,5 [0,0; 2,0]	1,5 [0,0; 2,0]	0,32	0,0 [0,0; 2,0]	0,32	0,0 [0,0; 0,5]	1,00
	on	M1	1,0 [1,0; 1,8]	0,0 [0,0; 1,8]	< 0,01*	0,0 [0,0; 1,0]	0,02*	0,0 [0,0; 1,0]	0,10
		sham	0,5 [0,0; 1,8]	0,0 [0,0; 1,8]	0,16	0,0 [0,0; 2,0]	1,00	0,0 [0,0; 0,0]	1,00
Шкала баланса Берг, баллы / Berg balance scale, scores	off	M1	50,0 [45,5; 55,8]	53,0 [47,8; 55,0]	0,08	51,0 [44,0; 56,0]	0,58	54,0 [49,0; 56,0]	0,10
		sham	51,5 [45,5; 54,0]	54,0 [46,3; 55,8]	0,06	54,0 [46,5; 56,0]	0,09	56,0 [54,0; 56,0]	0,10
	on	M1	53,5 [49,3; 55,8]	53,5 [51,3; 56,0]	0,22	55,0 [47,0; 56,0]	0,79	56,0 [53,0; 56,0]	0,07
		sham	54,5 [50,0; 56,0]	55,0 [52,3; 56,0]	0,04*	56,0 [51,5; 56,0]	0,68	56,0 [54,0; 56,0]	0,66

Примечание: * — статистически значимое изменение, T1 — тест до стимуляции, T2 — тест непосредственно после курса стимуляции, T3 — тест через 1 месяц, T4 — тест через 3 месяца. Указанные уровни значимости p(W) — сравнение результатов повторных тестирований с исходным значением для обеих групп.

Note: * — statistical significance, T1 — baseline, T2 — after the course, T3 — 1 month after the course, T4 — 3 months after the course. Significance levels p(W) refer to comparison of follow-ups with the baseline, for both groups.

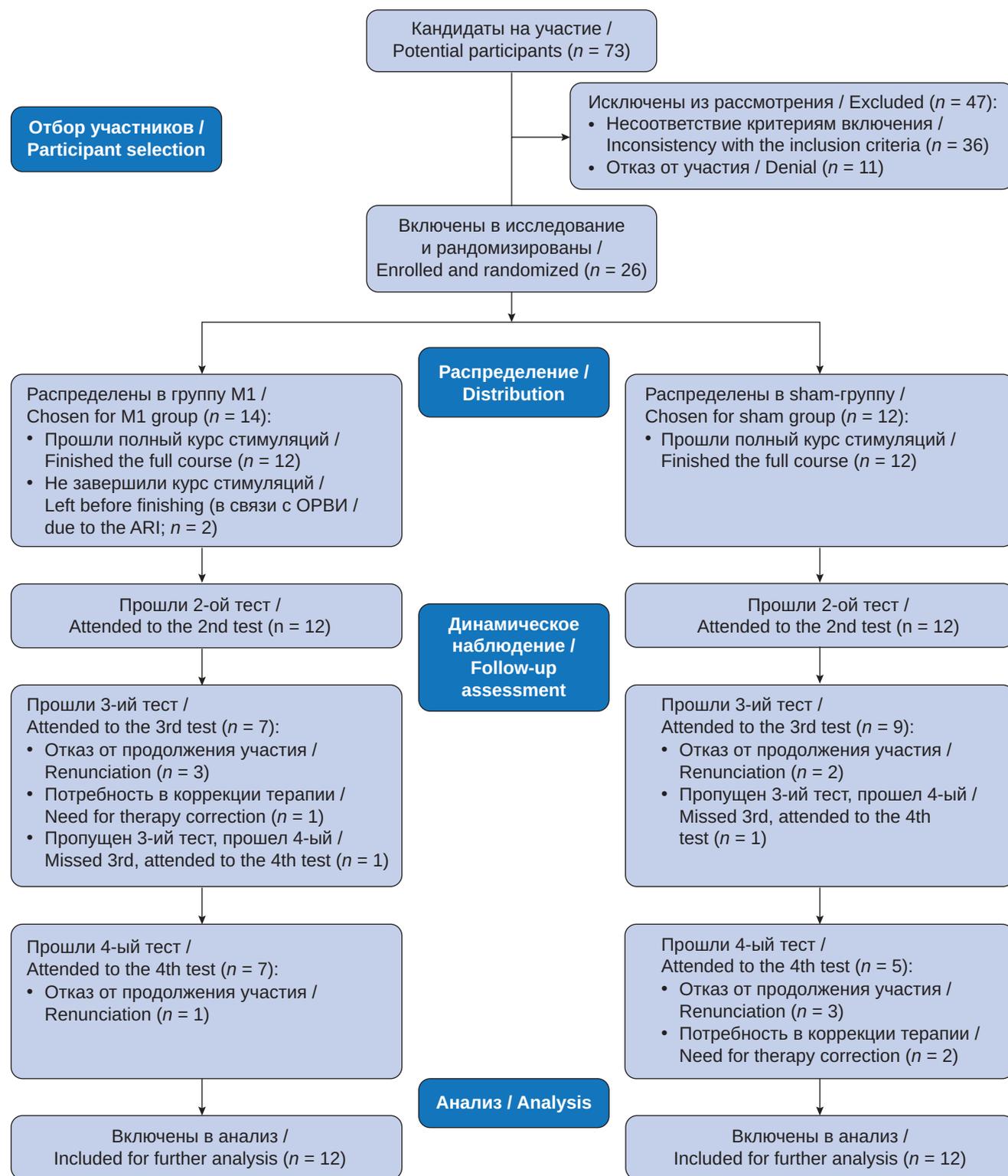


Рис. 1. Отбор пациентов и динамика повторных наблюдений

Fig. 1. Patients' selection and follow-up assessment

Примечание: M1 — первичная моторная кора, sham — имитация стимуляции, ОРВИ — острая респираторная вирусная инфекция.

Note: M1 — primary motor core, sham — simulated stimulation, ARI — acute respiratory infection.

Исходные показатели 10-метрового теста ходьбы между группами не различались. Улучшение прохождения теста с комфортной скоростью после стимуляции в обеих группах выражалось в уменьшении времени прохождения в off-фазе — на 0,6 сек [0,3; 1,8] в группе M1 и меньше (на 0,0 сек [-0,0; 1,6]) в sham-группе. Улучшение в группе M1 при этом не сохранилось в динамике, а вот в sham-группе стало более выражен-

ным при оценке через 3 месяца — на 1,2 сек [1,0; 1,4]. В группе M1 также отмечалось небольшое уменьшение числа шагов на 0,0 [0,0; 2,0] после стимуляции; в динамике различий не отмечалось. Сравнение величины эффекта между группами не выявило значимых различий. Динамика показателей 10-метрового теста ходьбы с комфортной скоростью представлена в таблице 4.

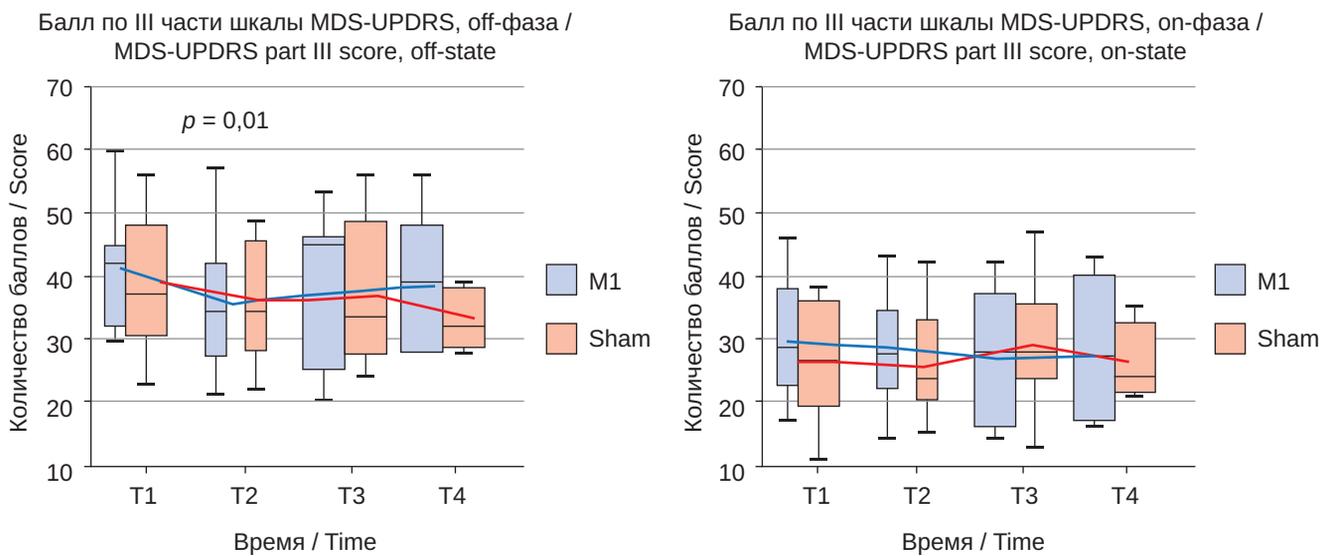


Рис. 2. Изменение балла по III части шкалы MDS-UPDRS-III в обеих группах

Fig. 2. MDS-UPDRS part III change in both groups

Примечания: T1 — тест до стимуляции, T2 — тест непосредственно после курса стимуляции, T3 — тест через 1 месяц, T4 — тест через 3 месяца. Указанные уровни значимости $p(W)$ — сравнение результатов повторных тестирований с исходным значением для обеих групп.

Note: T1 — baseline, T2 — after the course, T3 — 1 month after the course, T4 — 3 months after the course. Significance levels $p(W)$ refer to comparison of follow-ups with the baseline, for both groups.

Таблица 4. Динамика изменений показателей 10-метрового теста ходьбы с комфортной скоростью в обеих группах
Table 4. Comfortable speed 10-meter walking test parameters change for both groups

Параметр / Parameter	Фаза / State	Группа / Group	T1	T2	$p(W)$	T3	$p(W)$	T4	$p(W)$
Время, сек / Time, sec	off	M1	10,8 [8,9; 12,2]	10,3 [8,1; 11,8]	< 0,01*	10,2 [7,8; 11,9]	0,13	9,5 [7,6; 11,9]	0,25
		sham	9,1 [8,4; 10,1]	8,3 [7,4; 9,5]	0,03*	7,8 [7,3; 10,1]	0,14	7,6 [7,1; 8,6]	0,04*
	on	M1	9,0 [8,5; 11,0]	9,4 [7,4; 12,0]	1,00	7,9 [6,9; 10,7]	0,06	7,7 [7,1; 8,6]	0,13
		sham	8,3 [8,0; 9,1]	8,0 [6,9; 9,0]	0,10	8,5 [7,0; 8,8]	0,11	7,2 [7,0; 8,3]	0,23
Шаги, n / Steps, n	off	M1	19,0 [17,0; 22,0]	19,0 [15,0; 21,0]	0,04*	18,0 [14,0; 23,0]	0,15	17,0 [14,0; 19,5]	0,10
		sham	16,5 [14,0; 19,5]	15,5 [14,3; 19,3]	0,06	15,0 [14,5; 19,0]	0,16	15,0 [13,0; 17,0]	0,08
	on	M1	17,0 [16,0; 19,0]	17,5 [15,0; 20,0]	0,81	15,0 [14,0; 19,0]	0,49	16,0 [14,0; 17,0]	0,17
		sham	15,0 [14,0; 17,8]	14,0 [14,0; 16,8]	0,13	15,0 [14,0; 17,0]	0,32	15,0 [13,5; 16,0]	0,56

Примечание: * — статистически значимое изменение, T1 — тест до стимуляции, T2 — тест непосредственно после курса стимуляции, T3 — тест через 1 месяц, T4 — тест через 3 месяца. Указанные уровни значимости $p(W)$ — сравнение результатов повторных тестирований с исходным значением для обеих групп.

Note: * — statistical significance, T1 — baseline, T2 — after the course, T3 — 1 month after the course, T4 — 3 months after the course. Significance levels $p(W)$ refer to comparison of follow-ups with the baseline, for both groups.

Показатели 10-метрового теста с максимальной скоростью изменились меньше. После окончания курса изменений в группах не отмечалось; через 3 месяца отмечалось статистически значимое улучшение (в виде уменьшения времени прохождения на 0,82 сек [0,59; 0,87]) в off-фазе в группе M1. Динамика показателей прохождения теста с максимальной скоростью представлена в таблице 5.

Стабилометрическая оценка

При сравнении исходных значений было выявлено статистически значимо более низкое значение ПСКГ при выполнении теста Ромберга с закрытыми глаза-

ми в off-фазе в sham-группе (то есть пациенты в sham-группе выполняли тест лучше, чем в основной группе активной стимуляции).

При анализе стабилметрических показателей теста Ромберга с открытыми глазами в группе M1 в on-фазе было выявлено улучшение в виде статистически значимого снижения ПСКГ после окончания курса стимуляции на 96,4 мм² [36,8; 158,7] (32,2 % [3,0; 49,0]), однако в динамике данное улучшение не сохранилось. Значимых изменений в тесте Ромберга с открытыми глазами в sham-группе выявлено не было. Сравнение величины эффекта не выявило различий между группами. Значимых изменений при выполнении теста с закрытыми

глазами не отмечалось ни в одной из групп. Динамика показателей теста Ромберга представлена в таблице 6.

В тесте на устойчивость сравнение исходных значений показателей показало, что в группе M1 исходно

были статистически значимо более низкие значения СДОmax, и в off-, и в on-фазе (то есть пациенты в sham-группе выполняли тест лучше, чем в основной группе).

Таблица 5. Динамика изменений показателей 10-метрового теста ходьбы с максимальной скоростью в обеих группах

Table 5. Maximum speed 10-meter walking test parameters change for both groups

Параметр / Parameter	Фаза / State	Группа / Group	T1	T2	p(W)	T3	p(W)	T4	p(W)
Время, сек / Time, sec	off	M1	7,8 [6,9; 8,7]	7,8 [6,6; 8,4]	0,09	7,3 [5,7; 8,5]	0,74	6,9 [5,9; 7,1]	0,046*
		sham	6,8 [5,5; 8,1]	6,9 [5,7; 7,8]	0,61	6,7 [5,9; 7,5]	0,59	5,9 [5,3; 7,0]	0,08
	on	M1	7,0 [6,4; 8,4]	6,9 [5,9; 8,1]	0,39	6,3 [5,9; 8,0]	0,24	6,2 [5,8; 7,1]	0,09
		sham	6,4 [5,5; 7,4]	6,5 [5,5; 7,0]	0,12	6,5 [5,3; 7,0]	0,44	6,0 [4,7; 6,9]	0,47
Шаги, n / Steps, n	off	M1	16,0 [13,0; 19,0]	16,0 [14,0; 18,0]	0,75	14,5 [12,8; 16,0]	0,16	17,0 [13,0; 18,0]	0,20
		sham	14,0 [12,3; 16,8]	14,0 [13,0; 17,3]	0,76	13,0 [12,5; 16,0]	0,32	15,0 [13,0; 17,5]	0,19
	on	M1	15,0 [14,0; 16,8]	15,5 [13,3; 17,8]	0,40	14,0 [13,0; 17,0]	1,00	14,0 [13,0; 15,0]	0,06
		sham	13,5 [12,0; 16,0]	13,5 [13,0; 15,8]	0,66	14,0 [12,5; 16,5]	0,45	13,0 [11,5; 15,5]	1,00

Примечание: * — статистически значимое изменение, T1 — тест до стимуляции, T2 — тест непосредственно после курса стимуляции, T3 — тест через 1 месяц, T4 — тест через 3 месяца. Указанные уровни значимости p(W) — сравнение результатов повторных тестирований с исходным значением для обеих групп.

Note: * — statistical significance, T1 — baseline, T2 — after the course, T3 — 1 month after the course, T4 — 3 months after the course. Significance levels p(W) refer to comparison of follow-ups with the baseline, for both groups.

Таблица 6. Динамика изменений площади статокнезиограммы в тесте Ромберга в обеих группах

Table 6. Center of pressure (COP) ellipse area change in Romberg test for both groups

Параметр / Parameter	Фаза / State	Группа / Group	T1	T2	p(W)	T3	p(W)	T4	p(W)
ОГ-ПСКГ, мм ² / EO-COPEA, mm ²	off	M1	213,6 [135,7; 449,8]	292,5 [173,3; 449,1]	0,81	193,2 [133,6; 298,1]	0,13	165,1 [89,6; 190,3]	0,60
		sham	158,5 [92,6; 223,7]	219,9 [176,2; 286,1]	0,08	196,4 [90,7; 421,6]	0,11	133,7 [126,0; 286,0]	0,50
	on	M1	294,4 [260,1; 538,7]	200,8 [165,5; 428,7]	< 0,01*	391,3 [155,0; 615,1]	0,13	227,1 [89,3; 441,3]	0,60
		sham	248,2 [177,6; 467,0]	261,8 [164,1; 326,2]	0,70	220,7 [168,9; 266,8]	0,86	205,8 [85,9; 266,6]	0,59
ЗГ-ПСКГ, мм ² / EC-COPEA, mm ²	off	M1	447,5 [245,6; 823,5]	380,3 [249,9; 1326,5]	0,88	496,2 [175,0; 822,7]	0,40	278,3 [189,5; 685,0]	0,75
		sham	237,4 [151,9; 321,1]	300,4 [220,6; 491,5]	0,21	353,3 [122,8; 735,2]	0,26	195,4 [106,1; 1049,4]	0,69
	on	M1	439,4 [388,1; 856,0]	288,8 [238,8; 848,4]	0,24	525,6 [252,3; 1395,3]	0,50	402,3 [307,6; 680,8]	0,46
		sham	430,9 [210,0; 930,0]	505,7 [258,7; 845,5]	0,75	372,2 [215,2; 600,8]	0,95	371,9 [161,7; 533,5]	0,08

Примечание: * — статистически значимое изменение, T1 — тест до стимуляции, T2 — тест непосредственно после курса стимуляции, T3 — тест через 1 месяц, T4 — тест через 3 месяца, ПСКГ — площадь статокнезиограммы, ОГ — открытые глаза, ЗГ — закрытые глаза. Указанные уровни значимости p(W) — сравнение результатов повторных тестирований с исходным значением для обеих групп.

Note: * — statistical significance, T1 — baseline, T2 — after the course, T3 — 1 month after the course, T4 — 3 months after the course, COPEA — center of pressure ellipse area, EO — eyes opened, EC — eyes closed. Significance levels p(W) refer to comparison of follow-ups with the baseline, for both groups.

В off-фазе после окончания курса были получены разнонаправленные изменения: в группе M1 была отмечена положительная динамика — статистически значимое увеличение СДОмах на 9,5 мм [5,5; 20,5] (10,2 % [3,5; 15,2]). В sham-группе было отмечено статистически значимое снижение данного показателя в off-фазе на 17,5 мм [-1,0; 24,3] (9,0 % [-0,5; 14,2]); отмечалось также значимое различие величины эффекта между группами ($p(U) < 0,01$). Ни то, ни другое изменение не отмечалось при повторных тестированиях.

В on-фазе было выявлено статистически значимое увеличение СДОмах в группе M1 как сразу после курса стимуляции на 14,5 мм [9,5; 51,3] (10,8 % [6,6; 44,0]), так и более выраженное при тестировании в динамике через 3 месяца на 22 мм [9,5; 29,3] (16 % [6,7; 17,5]). Тем не менее значимых отличий эффекта от sham-группы не отмечалось; в sham-группе величина СДОмах в on-фазе значимо не изменилась. Динамика изменения данного показателя представлена в таблице 7.

Безопасность и переносимость

За время проведения курса стимуляций не было отмечено жизнеугрожающих нежелательных явлений. Отказов от дальнейшего участия в связи с нежелательными явлениями также не отмечалось. Выраженные нежелательные явления в группе M1 отмечались у 3 пациентов. У 2 пациентов отмечалась головная боль (8 баллов по визуальной аналоговой шкале), в обоих случаях возникала в течение 24 часов после стимуляции и ранее не отмечалась. Еще у 1 пациентки в пределах суток отмечалась боль в руке; локализация совпадала со стороной преобладания паркинсонической симптоматики, эпизодически отмечалась ранее в off-фазе. Все указанные эпизоды отмечались однократно, длились не более 4 часов и регрессировали самостоятельно.

Во время проведения сессии стимуляции нежелательные явления отмечались у 11 пациентов группы M1 и 9 пациентов sham-группы; в пределах суток после стимуляции нежелательные явления отмечались у 8 па-

циентов группы M1 и 5 пациентов sham-группы. Важно отметить, что во всех случаях нежелательные явления возникали в самом начале курса (в пределах 1–3 стимуляций), в большинстве случаев однократно, не повторялись в дальнейшем в течение всего курса стимуляций. Значимых различий по частоте возникновения нежелательных явлений между группами не отмечалось.

Наиболее часто встречаемым нежелательным явлением во время стимуляции в обеих группах была сонливость. Среди нежелательных явлений, возникающих в пределах 24 часов после стимуляции, в группе M1 самым частым была головная боль, а в sham-группе — снижение слуха/шум в ушах и усиление двигательных нарушений. Значимых различий по встречаемости отдельных нежелательных явлений между группами не отмечалось. Спектр возможных нежелательных явлений в группе M1 представлен в таблице 8.

В ходе работы был выявлен ряд положительных изменений двигательной симптоматики и поструральных нарушений после применения iTBS M1. Однако в силу отсутствия значимого группового эффекта в большинстве случаев, к сожалению, нельзя однозначно вынести заключение об эффективности данного протокола. Ранее полученные данные по применению ритмической ТМС указывают на M1 как на наиболее эффективную мишень в коррекции двигательных нарушений при БП [13]. Тем не менее использование протоколов тета-вспышек, в частности iTBS, напротив, существенного эффекта действительно не оказывало [15, 21].

Уменьшение выраженности двигательной симптоматики и нарушений ходьбы отмечалось в группе M1 исключительно в off-фазе. В литературе в целом мало уделено внимания тому, в какой фазе терапевтическая ТМС оказывает наибольший эффект; в большинстве их пациенты тестируются скорее в on-, нежели в off-фазе. Данные нейровизуализации [11, 12] свидетельствуют об увеличении высвобождения дофамина в базальных ганглиях как у пациентов с БП на постоянной терапии, так и у пациентов без нее, что позволяет предполагать

Таблица 7. Динамика изменений диапазона максимального отклонения в сагиттальной плоскости в тесте на устойчивость в обеих группах

Table 7. Maximum sagittal deviation range change in stability test for both groups

Параметр / Parameter	Фаза / State	Группа / Group	T1	T2	p(W)	T3	p(W)	T4	p(W)
СДОмах, мм / SDRmax, mm	off	M1	146,5 [104,8; 174,8]	171,0 [121,5; 184,3]	0,03*	166,0 [135,0; 189,0]	0,50	177,0 [156,5; 199,8]	0,35
		sham	181,5 [152,8; 210,3]	162,5 [147,0; 196,3]	0,03*	185,0 [165,5; 200,0]	0,55	204,0 [191,0; 213,5]	0,50
	on	M1	141,0 [100,3; 170,0]	163,5 [141,5; 186,5]	0,02*	167,0 [164,0; 193,0]	0,09	187,0 [168,3; 195,0]	0,03*
		sham	185,0 [174,3; 206,8]	187,0 [179,5; 191,3]	0,91	175,0 [132,5; 213,5]	0,29	215,0 [190,5; 231,5]	0,47

Примечание: * — статистически значимое изменение, T1 — тест до стимуляции, T2 — тест непосредственно после курса стимуляции, T3 — тест через 1 месяц, T4 — тест через 3 месяца, СДОмах — диапазон максимального отклонения в сагиттальной плоскости. Указанные уровни значимости p(W) — сравнение результатов повторных тестирований с исходным значением для обеих групп.

Note: * — statistical significance, T1 — baseline, T2 — after the course, T3 — 1 month after the course, T4 — 3 months after the course, SDRmax — maximum sagittal deviation range. Significance levels p(W) refer to comparison of follow-ups with the baseline, for both groups.

Таблица 8. Спектр нежелательных явлений в группе М1
Table 8. Adverse events spectrum in M1 group

	Нежелательные явления / Adverse events	Частота / Incidence	Нежелательные явления / Adverse events	Частота / Incidence
Во время стимуляции / During session	Сонливость / Sleepiness	10/12 (83,3 %)	Головная боль / Headache: • Легкая (до 3 баллов по ВАШ) / Mild (VAS scores < 3) • Умеренная (3–7 баллов по ВАШ) / Moderate (VAS scores < 3) • Выраженная (более 7 баллов по ВАШ) / Severe (VAS scores < 3)	6/12 (50 %): 2/12 (16,7 %) 3/12 (25 %) 1/12 (8,3 %)
	Головная боль / Headache: • Легкая (< 3 баллов по ВАШ) / Mild (VAS scores < 3)	3/12 (25 %)	Шум в ушах/снижение слуха / Tinnitus/hearing impairment	3/12 (25 %)
	Трудности концентрации внимания / Attention span deficiency	2/12 (16,7 %)	Боли/дискомфорт других локали- заций / Other localized pain/discomfort: • Шея / Neck • Рука / Arm	2/12 (16,7 %): 1/12 (8,3 %) 1/12 (8,3 %)
	Пресинкопальное состояние / Pre-syncope: • Ассоциировано со снижением артериального давления / Hypotension-related • Не ассоциировано со снижением артериального давления / Hypotension-unrelated	2/12 (16,7 %) 1/12 (8,3 %) 1/12 (8,3 %)	Дискомфорт в области головы / Head area discomfort	2/12 (16,7 %)
	Боли/дискомфорт других локализаций / Other localized pain/ discomfort: • Шея / Neck	1/12 (8,3 %)	Сонливость / Sleepiness	2/12 (16,7 %)
	Головокружение / Dizziness	1/12 (8,3 %)	Трудности концентрации внимания / Attention span deficiency	2/12 (16,7 %)
	—	—	Преходящее ухудшение движений / Transient movement worsening	1/12 (8,3 %)
	—	—	Головокружение / Dizziness	1/12 (8,3 %)
	—	—	«Мушки» в глазах / Eye floaters	1/12 (8,3 %)
	—	—	Снижение фона настроения / Mood disturbance	1/12 (8,3 %)
			В течение 24 часов после стимуляции / In 24 hour duration after session	

Примечание: ВАШ — визуальная аналоговая шкала.

Note: VAS — visual analogue scale.

наличие положительного эффекта ритмической ТМС в обеих фазах. Данное предположение также подтверждается и клиническими методами оценки [22]. Однако при использовании протоколов тета-вспышек, согласно данным метаанализа, более ожидаемо улучшение именно в off-фазе при отсутствии изменений в on-фазе [15].

Полученная величина относительного улучшения двигательной симптоматики по III части шкалы MDS-UPDRS (12,6 %) в сравнении с полученной в работах с использованием ритмической ТМС М1 немного уступает им: как правило, в большинстве данных работ уменьшение отмечается на 13–30 % от исходного [18, 23–25]. Увеличение скорости ходьбы у пациентов в группе М1 в данном случае является слишком незначительным как в силу малой величины изменений, так и в силу наличия улучшения в sham-группе. Изменения в обеих груп-

пах, вероятно, связаны с научением выполнения тестов ходьбы и флуктуациями двигательной симптоматики, свойственной БП даже в пределах одной фазы, нежели с реальным клиническим эффектом. Стоит отметить, что стимуляция М1 в целом оказывает непостоянный положительный эффект в отношении нарушений ходьбы в работах с ритмической ТМС [18, 26–28], а в немногочисленных работах с применением тета-вспышек так и вовсе его не оказывает [29, 30].

Интересны полученные результаты в отношении поструральных нарушений. Уменьшение поструральной неустойчивости в группе М1 наблюдалось в обеих фазах, в отличие от двигательных нарушений в целом. Постуральная неустойчивость как феномен достаточно слабо зависит от дофаминергического влияния и, как следствие, основных противопаркинсонических препаратов.

В обеспечение постуральных реакций преимущественно вовлечены такие структуры, как педункулопонтинное ядро (холин- и глутаматергическое) и голубоватое пятно (норадренергическое) [31, 32]. В подтверждение данной гипотезы в ранних работах был показан потенциальный положительный эффект препаратов с норадренергическим [16, 33] и холинергическим влиянием [34]. Таким образом, можно предположить, что помимо уже известного влияния на дофаминергическую активность, iTBS M1, вероятно, задействует также и другие нейромедиаторные системы. Отсутствие изменений по шкале баланса Берг, наиболее вероятно, связано с эффектом потолка шкалы: большая часть пациентов даже на момент начала исследования имела близкие к идеальным показателям.

Данные стабиллометрии также показывают ряд положительных эффектов. В первую очередь стоит отметить увеличение диапазона максимально возможного отклонения в тесте на устойчивость, наблюдаемого, подобно ранее описанным эффектам, в обеих фазах. Поскольку выполнение теста зависит от постурального контроля при произвольном изменении положения тела, можно предположить, что полученный результат является инструментальным отражением наблюдаемого клинически улучшения (уменьшения постуральной неустойчивости по III части шкалы MDS-UPDRS) и связан с аналогичными механизмами. В отличие от прочих показателей, улучшение в тесте Ромберга наблюдалось только в оп-фазе, притом только в тесте с открытыми глазами, что может предполагать связь полученного эффекта с дофаминергическими механизмами и зрительным контролем равновесия [35].

К сожалению, данная работа имела достаточно значительные ограничения. Кроме небольших размеров выборок, существенным ограничивающим фактором также послужила большая численность выбывших

при динамических наблюдениях (около 50 %), что, скорее всего, непредсказуемо сдвинуло итоговые результаты отсроченных тестирований. В связи с этим полученные при тестированиях через 1 и 3 месяца результаты как с положительными изменениями, так и с их отсутствием не подлежат какому-либо толкованию. Стоит лишь отметить, что в соответствии с данными литературы эффект развивается уже в краткосрочный период (сразу после курса стимуляций) [17, 36].

Наконец, немаловажно подчеркнуть полученные результаты по переносимости. Применение iTBS M1 показало удовлетворительную переносимость и безопасность как непосредственно во время проведения стимуляции, так и в течение суток после нее. Спектр встречаемости различных нежелательных явлений также в целом соответствует данным литературы [37].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты работы показали умеренную эффективность билатеральной интермиттирующей стимуляции тета-вспышками первичной моторной коры в коррекции двигательных нарушений у пациентов с БП. Было показано уменьшение постуральных нарушений как с помощью клинической оценки, так и с помощью стабиллометрического анализа. Данные изменения наблюдались преимущественно в off-фазе, то есть не зависели от медикаментозной терапии. Улучшение показателей отмечалось сразу после окончания курса стимуляции, что свидетельствует о наличии краткосрочного эффекта; наличие долгосрочного эффекта остается спорным. Применяемый протокол безопасен для применения и обладает удовлетворительной переносимостью. Учитывая потенциальную эффективность и безопасность данного протокола, продолжение исследований в данной области сохраняет свою актуальность.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Коцоев Георгий Александрович, врач-невролог 5-го неврологического отделения с молекулярно-генетической лабораторией, Российский центр неврологии и нейронаук. E-mail: kotsoev@neurology.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7417-1402>

Федотова Екатерина Юрьевна, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, руководитель 5-го неврологического отделения с молекулярно-генетической лабораторией, Российский центр неврологии и нейронаук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8070-7644>

Бакулин Илья Сергеевич, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, руководитель группы неинвазивной нейромодуляции, Российский центр неврологии и нейронаук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0716-3737>

Пойдашева Александра Георгиевна, кандидат медицинских наук, научный сотрудник, врач-невролог группы неинвазивной нейромодуляции, Российский центр неврологии и нейронаук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1841-1177>

Лагода Дмитрий Юрьевич, кандидат медицинских наук, научный сотрудник, врач-невролог группы неинвазивной нейромодуляции, Российский центр неврологии и нейронаук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9267-8315>

Забирова Альфия Ходжаевна, врач-невролог группы неинвазивной нейромодуляции, Российский центр неврологии и нейронаук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8544-3107>

Супонева Наталья Александровна, доктор медицинских наук, член-корреспондент Российской академии наук, директор Института нейрореабилитации и восстановительных технологий, главный научный сотрудник, Российский центр неврологии и нейронаук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3956-6362>

Вклад авторов. Авторы данного исследования 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: Коцоев Г.А. — научное обоснование, методология, верификация, курация и анализ данных, обеспечение материалов для исследования, проведение исследования, написание черновика рукописи, визуализация; Федотова Е.Ю. — научное обоснование, методология, обеспечение материалов для исследования, проверка и редактирование рукописи, курирование проекта, руководство проектом; Бакулин И.С. — научное обоснование, методология, курация данных, обеспечение материалов

для исследования, проверка и редактирование рукописи; Пойдашева А.Г. — научное обоснование, методология, курация данных, обеспечение материалов для исследования, проверка и редактирование рукописи; Лагода Д.Ю. — курация данных, обеспечение материалов для исследования; Забирова А.Х. — курация данных, обеспечение материалов для исследования; Супонева Н.А. — научное обоснование, методология, обеспечение материалов для исследования, проверка и редактирование рукописи, курирование проекта, руководство проектом.

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 ФГБНУ «Российский центр неврологии и нейро-наук» (г. Москва, Россия) (протокол № 3–6/22 от 20.04.2022).

Информированное согласие. В исследовании не раскрывается сведений, позволяющих идентифицировать личность пациента(ов). 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

Georgii A. Kotsoev, Neurologist 5th Neurology Department with Molecular Genetics Laboratory, Russian Center of Neurology and Neurosciences.

E-mail: kotsoev@neurology.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7417-1402>

Ekaterina Yu. Fedotova, Ph.D. (Med.), Leading Researcher, Head of the 5th Neurology Department with Molecular Genetics Laboratory, Russian Center of Neurology and Neurosciences.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8070-7644>

Ilya S. Bakulin, Ph.D. (Med.), Senior Researcher, Head of Non-Invasive Neuromodulation Group, Russian Center of Neurology and Neurosciences.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0716-3737>

Alexandra G. Poydasheva, Ph.D. (Med.), Researcher, Non-Invasive Neuromodulation Group Neurologist, Russian Center of Neurology and Neurosciences.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1841-1177>

Dmitry Yu. Lagoda, Ph.D. (Med.), Researcher, Non-Invasive Neuromodulation Group Neurologist, Russian Center of Neurology and Neurosciences.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9267-8315>

Alfiia Kh. Zabirova, Non-Invasive Neuromodulation Group Neurologist, Russian Center of Neurology and Neurosciences.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8544-3107>

Natalia A. Suponeva, D.Sc. (Med.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of Neurorehabilitation and Restorative Technology Institute, Chief Researcher, Russian Center of Neurology and Neurosciences.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3956-6362>

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: Kotsoev G.A. — conceptualization, methodology, validation, data curation, formal analysis, investigation, resources, writing — original draft, visualization; Fedotova E.Yu. — conceptualization, methodology, resources, writing — review & editing, supervision, project administration; Bakulin I.S. — conceptualization, methodology, data curation, resources, writing — review & editing; Poydasheva A.G. — conceptualization, methodology, data curation, resources, writing — review & editing; Lagoda D.Yu. — data curation, resources; Zabirova A.Kh. — data curation, resources; Suponeva N.A. — conceptualization, methodology, resources, writing — review & editing, supervision, project administration.

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

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

Ethics Approval. The 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 Russian Center of Neurology and Neurosciences (Moscow, Russia), Protocol No. 3–6/22 dated 20.04.2022.

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. Postuma R.B., Berg D., Stern M., et al. MDS clinical diagnostic criteria for Parkinson's disease. *Mov Disord.* 2015; 30(12): 1591–1601. <https://doi.org/10.1002/mds.26424>
2. Stolze H., Klebe S., Zechlin C., et al. Falls in frequent neurological diseases — prevalence, risk factors and aetiology. *J Neurol.* 2004; 251(1): 79–84. <https://doi.org/10.1007/s00415-004-0276-8>
3. Debû B., De Oliveira Godeiro C., Lino J.C., Moro E. Managing Gait, Balance, and Posture in Parkinson's Disease. *Curr Neurol Neurosci Rep.* 2018; 18(5): 23. <https://doi.org/10.1007/s11910-018-0828-4>
4. Valero-Cabrè A., Amengual J.L., Stengel C., et al. Transcranial magnetic stimulation in basic and clinical neuroscience: A comprehensive review of fundamental principles and novel insights. *Neurosci Biobehav Rev.* 2017; 83: 381–404. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.10.006>
5. Burke M.J., Fried P.J., Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation: Neurophysiological and clinical applications. *Handb Clin Neurol.* 2019; 163: 73–92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804281-6.00005-7>

6. Fitzgerald P.B., Fountain S., Daskalakis Z.J. A comprehensive review of the effects of rTMS on motor cortical excitability and inhibition. *Clin Neurophysiol.* 2006; 117(12): 2584–2596. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.06.712>
7. Lefaucheur J.P., Aleman A., Baeken C., et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014–2018). *Clin Neurophysiol.* 2020; 131(2): 474–528. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.11.002>
8. Chen K.S., Chen R. Invasive and Noninvasive Brain Stimulation in Parkinson's Disease: Clinical Effects and Future Perspectives. *Clin Pharmacol Ther.* 2019; 106(4): 763–775. <https://doi.org/10.1002/cpt.1542>
9. Bologna M., Merola A., Ricciardi L. Editorial: Innovative Technologies and Clinical Applications for Invasive and Non-invasive Neuromodulation: From the Workbench to the Bedside. *Front Neurol.* 2020; 10: 1350. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.01350>
10. Underwood C.F., Parr-Brownlie L.C. Primary motor cortex in Parkinson's disease: Functional changes and opportunities for neurostimulation. *Neurobiol Dis.* 2021; 147: 105159. <https://doi.org/10.1016/j.nbd.2020.105159>
11. Strafella A.P., Paus T., Fraraccio M., Dagher A. Striatal dopamine release induced by repetitive transcranial magnetic stimulation of the human motor cortex. *Brain.* 2003; 126(Pt 12): 2609–2615. <https://doi.org/10.1093/brain/awg268>
12. Strafella A.P., Ko J.H., Grant J., et al. Corticostriatal functional interactions in Parkinson's disease: a rTMS/[¹¹C]raclopride PET study. *Eur J Neurosci.* 2005; 22(11): 2946–2952. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2005.04476.x>
13. Yang C., Guo Z., Peng H., et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation therapy for motor recovery in Parkinson's disease: A Meta-analysis. *Brain Behav.* 2018; 8(11): e01132. <https://doi.org/10.1002/brb3.1132>
14. Deng S., Dong Z., Pan L., et al. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on gait disorders and cognitive dysfunction in Parkinson's disease: A systematic review with meta-analysis. *Brain Behav.* 2022; 12(8): e2697. <https://doi.org/10.1002/brb3.2697>
15. Cheng B., Zhu T., Zhao W., et al. Effect of Theta Burst Stimulation-Patterned rTMS on Motor and Nonmotor Dysfunction of Parkinson's Disease: A Systematic Review and Metaanalysis. *Front Neurol.* 2022; 12: 762100. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.762100>
16. Карпова Е.А. Постуральные нарушения при болезни Паркинсона (клинико-стабилометрический анализ). Диссертация кандидата медицинских наук. ФГБНУ НЦН. Москва. 2003. [Karpova E.A. Postural disorders in Parkinson's disease (clinical and stabilometric analysis). Dissertation of candidate of medical sciences. FGBNU NCN. Moscow. 2003 (In Russ.)]
17. Афтана́с Л.И., Бра́к И.В., Кули́кова К.И. и др. Клинические и нейрофизиологические эффекты терапевтической сочетанной высокочастотной ритмической транскраниальной магнитной стимуляции моторной и лобной коры при болезни Паркинсона. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020; 120(5): 29–36. <https://doi.org/10.17116/jnevro202012005129> [Aftanas L.I., Brack I.V., Kulikova K.I., et al. Clinical and neurophysiological effects of dual-target high-frequency rTMS over the primary motor and prefrontal cortex in Parkinson's disease. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2020; 120(5): 29–36. <https://doi.org/10.17116/jnevro202012005129> (In Russ.)]
18. Каше́жев А.Г., Синкин М.В., Куликов А.Г., Левин О.С. Влияние ритмической транскраниальной магнитной стимуляции на динамику моторных и немоторных проявлений болезни Паркинсона. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2019; 96(6): 17–21. <https://doi.org/10.17116/kurort20199606117> [Kashezhnev A.G., Sinkin M.V., Kulikov A.G., Levin O.S. Impact of rhythmic transcranial magnetic stimulation on the dynamics of motor and non-motor manifestations of Parkinson's disease. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy.* 2019; 96(6): 17–21. <https://doi.org/10.17116/kurort20199606117> (In Russ.)]
19. Okada K.I., Takahira M., Mano T., et al. Concomitant improvement in anti-saccade success rate and postural instability gait difficulty after rTMS treatment for Parkinson's disease. *Sci Rep.* 2021; 11(1): 2472. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81795-3>
20. Schade S., Mollenhauer B., Trenkwalder C. Levodopa Equivalent Dose Conversion Factors: An Updated Proposal Including Opicapone and Safinamide. *Mov Disord Clin Pract.* 2020; 7(3): 343–345. <https://doi.org/10.1002/mdc3.12921>
21. Benninger D.H., Berman B.D., Houdayer E., et al. Intermittent theta-burst transcranial magnetic stimulation for treatment of Parkinson disease. *Neurology.* 2011; 76(7): 601–609. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e31820ce6bb>
22. Börnke Ch., Schulte T., Przuntek H., Müller T. Clinical effects of repetitive transcranial magnetic stimulation versus acute levodopa challenge in Parkinson's disease. *J Neural Transm Suppl.* 2004; Suppl. (68): 61–67. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0579-5_7
23. Makkos A., Pál E., Aschermann Z., et al. High-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Can Improve Depression in Parkinson's Disease: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study. *Neuropsychobiology.* 2016; 73(3): 169–177. <https://doi.org/10.1159/000445296>
24. Khedr E.M., Al-Fawal B., Abdel Wraith A., et al. The Effect of 20 Hz versus 1 Hz Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Motor Dysfunction in Parkinson's Disease: Which Is More Beneficial? *J Parkinsons Dis.* 2019; 9(2): 379–387. <https://doi.org/10.3233/JPD-181540>
25. Khedr E.M., Mohamed K.O., Ali A.M., Hasan A.M. The effect of repetitive transcranial magnetic stimulation on cognitive impairment in Parkinson's disease with dementia: Pilot study. *Restor Neurol Neurosci.* 2020; 38(1): 55–66. <https://doi.org/10.3233/RNN-190956>
26. Lefaucheur J.P., Drouot X., Von Raison F., et al. Improvement of motor performance and modulation of cortical excitability by repetitive transcranial magnetic stimulation of the motor cortex in Parkinson's disease. *Clin Neurophysiol.* 2004; 115(11): 2530–2541. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.05.025>
27. Khedr E.M., Rothwell J.C., Shawky O.A., et al. Effect of daily repetitive transcranial magnetic stimulation on motor performance in Parkinson's disease. *Mov Disord.* 2006; 21(12): 2201–2205. <https://doi.org/10.1002/mds.21089>
28. Yokoe M., Mano T., Maruo T., et al. The optimal stimulation site for high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation in Parkinson's disease: A double-blind crossover pilot study. *J Clin Neurosci.* 2018; 47: 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2017.09.023>
29. Benninger D.H., Iseki K., Kranick S., et al. Controlled study of 50-Hz repetitive transcranial magnetic stimulation for the treatment of Parkinson disease. *Neurorehabil Neural Repair.* 2012; 26(9): 1096–1105. <https://doi.org/10.1177/1545968312445636>
30. Degardin A., Devos D., Defebvre L., et al. Effect of intermittent theta-burst stimulation on akinesia and sensorimotor integration in patients with Parkinson's disease. *Eur J Neurosci.* 2012; 36(5): 2669–2678. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2012.08158.x>
31. Grimbergen Y.A., Langston J.W., Roos R.A., Bloem B.R. Postural instability in Parkinson's disease: the adrenergic hypothesis and the locus coeruleus. *Expert Rev Neurother.* 2009; 9(2): 279–290. <https://doi.org/10.1586/14737175.9.2.279>
32. Müller M.L., Bohnen N.I. Cholinergic dysfunction in Parkinson's disease. *Curr Neurol Neurosci Rep.* 2013; 13(9): 377. <https://doi.org/10.1007/s11910-013-0377-9>
33. McDonald J., Corbeil P., Poucher E. Balance control improves following replacement of paroxetine with venlafaxine and levodopa in a case of microvascular dementia. *Am J Geriatr Pharmacother.* 2011; 9(2): 133–137. <https://doi.org/10.1016/j.amjopharm.2011.03.002>
34. Chung K.A., Lobb B.M., Nutt J.G., Horak F.B. Effects of a central cholinesterase inhibitor on reducing falls in Parkinson disease. *Neurology.* 2010; 75(14): 1263–1269. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181f6128c>
35. Ickenstein G.W., Ambach H., Klöditz A., et al. Static posturography in aging and Parkinson's disease. *Front Aging Neurosci.* 2012; 4: 20. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2012.00020>
36. Brys M., Fox M.D., Agarwal S., et al. Multifocal repetitive TMS for motor and mood symptoms of Parkinson disease: A randomized trial. *Neurology.* 2016; 87(18): 1907–1915. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000003279>
37. Бакулин И.С., Пойдашева А.Г., Лагода Д.Ю. и др. Безопасность и переносимость различных протоколов высокочастотной ритмической транскраниальной магнитной стимуляции. Ульяновский медико-биологический журнал. 2019; 1: 26–37. <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2019-1-26-37> [Bakulin I.S., Poydasheva A.G., Lagoda D.Yu., et al. Safety and tolerability of different protocols of high-frequency rhythmic transcranial magnetic stimulation. *Ulyanovsk Medico-biological Journal* 2019; 1: 26–37. <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2019-1-26-37> (In Russ.)]

Ультраструктурный анализ митохондрий в клетках коры надпочечников крыс при действии электромагнитного излучения и питьевой минеральной воды

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

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

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Применение различных по своей природе лечебных физических факторов низкоинтенсивного электромагнитного излучения сверхвысокой частоты (ЭМИ СВЧ) и питьевой сульфатной минеральной воды (МВ) вызывает усиление процессов регенерации внутриклеточных ультраструктур, в том числе митохондрий. Вместе с тем механизмы развития этих адаптационных реакций остаются еще мало исследованными. Дальнейшее изучение митохондрий при действии ЭМИ СВЧ и питьевой сульфатной МВ целесообразно провести в клетках пучковой зоны надпочечников — адренокортикоцитах (АКЦ), играющих важную роль в регуляции процессов адаптации в организме.

ЦЕЛЬ. Изучение характера и особенностей развития адаптационных ультраструктурных изменений митохондрий АКЦ пучковой зоны надпочечников крыс при действии ЭМИ СВЧ и питьевой сульфатной МВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Эксперименты проведены на 23 белых нелинейных крысах-самцах. Все животные были разделены на следующие группы: 1-я опытная группа — действие ЭМИ СВЧ; контроль — ложные процедуры (без включения аппарата), 2-я опытная группа — действие питьевой сульфатной МВ; контроль — водопроводная вода. Использовали также группу интактных животных. Курс ЭМИ СВЧ (10 процедур) проводили на поясничную область (зона проекции надпочечников) с помощью аппарата «Акватон-2» (площадь потока мощности — 1 мкВт/см², частота — около 1000 мГц, время воздействия — 2 минуты). Питьевую сульфатную магниевую-кальциевую-натриевую МВ (концентрация сульфат-ионов — 1,93 г/л, минерализация — 3,05 г/л) вводили внутривенно по 3 мл, всего 16 процедур. Объект исследования: АКЦ пучковой зоны надпочечников. Методы исследования: трансмиссионная электронная микроскопия, морфометрия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Действие ЭМИ СВЧ в используемом режиме из двух форм регенерации стимулировало только одну — внутриорганогенную, что приводило к отчетливому укрупнению митохондрий и повышению их биоэнергетического потенциала. Развитие дисбаланса в процессах регенерации, связанного с уменьшением численности митохондрий и, соответственно, с подавлением органогенной регенерации, вызывало определенное стрессорное напряжение в развитии адаптационных реакций. При применении питьевой сульфатной МВ в митохондриях отмечалось более сбалансированное развитие обеих форм регенерации, при этом возрастала как масса митохондрий, так и их биоэнергетический потенциал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Применение ЭМИ СВЧ и питьевой сульфатной МВ вызывало в митохондриях АКЦ разное по интенсивности усиление регенераторно-гиперпластических процессов и повышение их биоэнергетического потенциала. Результаты исследования позволяют понять характерные особенности в механизмах действия ЭМИ СВЧ и питьевой сульфатной МВ на процессы регенерации и биоэнергетической адаптации в митохондриях АКЦ, которые следует учитывать при разработке новых способов профилактики и реабилитации в клинике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: митохондрии, органогенная и внутриорганогенная формы регенерации, адренокортикоциты, электромагнитное излучение, питьевая сульфатная минеральная вода, эксперимент

Для цитирования / For citation: Королев Ю.Н., Никулина Л.А., Михайлик Л.В. Ультраструктурный анализ митохондрий в клетках коры надпочечников крыс при действии электромагнитного излучения и питьевой минеральной воды. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(4):89–95. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-89-95> [Korolev Yu.N., Nikulina L.A., Michailik L.V. Ultrastructural Analysis of Mitochondria in Rat Adrenal Cortex Cells Exposed to Electromagnetic Radiation and Drinking Mineral Water. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):89–95. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-89-95> (In Russ.).]

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

Статья получена: 27.02.2025
Статья принята к печати: 07.05.2025
Статья опубликована: 16.08.2025

Ultrastructural Analysis of Mitochondria in Rat Adrenal Cortex Cells Exposed to Electromagnetic Radiation and Drinking Mineral Water

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

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

ABSTRACT

INTRODUCTION. The application of therapeutic physical factors, different in their nature, such as low-intensity ultrahigh frequency electromagnetic radiation (UHF EMR) and drinking sulphated mineral water (MW), causes the increase of regeneration processes of intracellular ultrastructures, including mitochondria. Meanwhile, the mechanisms of development of these adaptation reactions remain understudied. Further study of mitochondria exposed to microwave EMR and drinking sulfate MW should be carried out in cells of the fascicular zone of the adrenal glands — adrenocorticocytes (ACC), which play an important role in regulating adaptation processes in the body.

ARM. To study the nature and development features of adaptive ultrastructural changes in the mitochondria of the ACC of the fascicular zone of the adrenal glands of rats that are exposed to microwave EMR and drinking sulfate MW.

MATERIALS AND METHODS. Experiments were conducted on 23 white nonlinear male rats. All animals were divided into groups: the 1st experimental group — the effect of microwave EMR; control — false procedures (without turning on the device). The 2nd experimental group — the effect of drinking sulfate MW; control — tap water. A group of intact animals was also used. A course of microwave EMR (10 procedures) was performed on the lumbar region (the area of projection of the adrenal glands) using the Aquaton — 2 devices (power flow area of 1 MW/cm², frequency of about 1000 MHz, exposure time 2 minute). Drinking magnesium-calcium-sodium sulfate MV (sulfate ion concentration — 1.93 g/l, mineralization — 3.05 g/l) was administered intragastrically in 3 ml, for a total of 16 procedures. The object of the study: ACC of the fascicular zone of the adrenal glands. Research methods: transmission electron microscopy, morphometry.

RESULTS AND DISCUSSION. The effect of microwave EMR in the used mode stimulated only one of the two forms of regeneration, the intraorganoid one, which led to a distinct enlargement of mitochondria and an increase in their bioenergetic potential. The development of an imbalance in regeneration processes associated with a decrease in the number of mitochondria and, consequently, with the suppression of organoid regeneration, caused a certain stress in the development of adaptive reactions. When drinking sulfate MW was used in mitochondria, a more balanced development of both forms of regeneration was observed, with an increase in both mitochondrial mass and their bioenergetic potential.

CONCLUSION. The use of microwave EMR and drinking sulfate MW caused increased regenerative-hyperplastic processes in ACC mitochondria of varying intensity and increased their bioenergetic potential. The results of the study make it possible to understand the characteristic features in the mechanisms of action of microwave EMR and drinking sulfate MW on the processes of regeneration and bioenergetic adaptation in ACC mitochondria, which should be taken into account when developing new methods of prevention and rehabilitation in the clinic.

KEYWORDS: mitochondria, organoid and intraorganoid forms of regeneration, adrenocorticocytes, electromagnetic radiation, drinking sulfate mineral water, experiment

For citation: Korolev Yu.N., Nikulina L.A., Michailik L.V. Ultrastructural Analysis of Mitochondria in Rat Adrenal Cortex Cells Exposed to Electromagnetic Radiation and Drinking Mineral Water. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):89–95. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-89-95> (In Russ.).

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

Received: 27.02.2025

Accepted: 07.05.2025

Published: 16.08.2025

ВВЕДЕНИЕ

Митохондрии являются важной органеллой в изучении механизма действия лечебных физических факторов. По современным представлениям, кроме своей основной функции (выработка энергии), митохондрии участвуют в зависимости от типа клеток в различных структурно-метаболических реакциях, в частности, в процессах синтеза и секреции, продукции активных форм кислорода, регуляции апоптоза, клеточном гомеостазе [1–4]. Показано, что митохондрии вырабатывают различные специфические белки, которые способствуют как слиянию самих митохондрий (в частности, в условиях дефицита энергии и при развитии стресса), так и наоборот, стимулируют их деление [5–8]. Проводятся различные исследования по

целевому воздействию на митохондрии при различной патологии и старении организма с применением митохондриально-направленных антиоксидантов [2, 9, 10]. Разработка такого лечебного подхода, где митохондрии становятся «терапевтической мишенью», продолжает активно развиваться в разных аспектах [2, 11]. В свете представленных данных перспективным является изучение митохондрий при действии лечебных физических факторов различной природы, в частности, низкоинтенсивного электромагнитного излучения (ЭМИ) сверхвысокой частоты (СВЧ) и питьевой сульфатной минеральной воды (МВ), обладающих антиоксидантным и мембраностабилизирующим эффектами, которые лежат в основе их лечебно-профилактического и реабилитационного действия. При

этом были выявлены активация митохондриальных регенераторно-гиперпластических реакций, увеличение массы митохондрий и их энергообеспечение [12–14]. Дальнейшее изучение механизмов адаптации митохондрий целесообразно провести в клетках пучковой зоны надпочечников — адренокортикоцитах (АКЦ), что связано с определенной спецификой в их структуре и с их функцией. В основном это проявляется в более крупных размерах как самих клеток, так и их митохондрий, которые выполняют ключевую роль в синтезе глюкокортикоидных гормонов [1, 3, 4, 6].

ЦЕЛЬ

Изучение характера и особенностей развития адаптационных ультраструктурных изменений митохондрий АКЦ пучковой зоны надпочечников крыс при действии ЭМИ СВЧ и питьевой сульфатной МВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты проведены на 23 нелинейных крысах-самцах массой 220–250 г, которые были получены из питомника «Столбовая» ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий Федерального медико-биологического агентства». Исследования осуществляли в соответствии с правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных (требования Европейской конвенции по защите экспериментальных животных (Страсбург, 1986)). Методом рандомизации животные были распределены на 5 групп. Животные 1-й опытной группы ($n = 5$) подвергались действию ЭМИ СВЧ; в контрольной группе ($n = 5$) вместо ЭМИ СВЧ животные получали ложные процедуры (аппарат не включали). Животные 2-й опытной группы ($n = 5$) получали питьевую сульфатную магниевую-кальциевую натриевую МВ (концентрация сульфата — 1,93 г/л, минерализация — 3,05 г/л); в контрольной группе ($n = 5$) вместо сульфатной МВ животные получали водопроводную воду. Использовались также интактные животные ($n = 3$), которые никаким воздействиям не подвергались. Воздействие ЭМИ СВЧ (курс из 10 процедур) проводили на поясничную область (зона проекции надпочечников) с помощью аппарата «Акватон -2» (плотность потока мощности — 1 мкВт/см², частота — около 1000 МГц, время воздействия — 2 минуты). МВ и водопроводную воду вводили крысам внутрижелудочно через иглу с оливой на конце, 1 раз в день по 3 мл в течение 16 дней. Животных выводили из эксперимента путем дислокации шейного отдела позвоночника после окончания курса процедур. Для электронно-микроскопических исследований образцы коры надпочечников фиксировали в 2,5 % растворе глутаральдегида, постфиксировали в 1 % растворе OsO₄. После обезвоживания образцы заключали в смесь эпона и аралдита. Исследования проводили на электронном микроскопе Libra 120 (Германия) с программой Carl Zeis Technology System Division, которая включает математическую обработку внутриклеточных структур. Осуществляли морфометрический анализ митохондрий (число, средняя и суммарная площади). Количественную оценку полученных данных проводили с помощью методов вариационной статистики. Для оценки достоверности различий сравниваемых величин использовали *t*-критерий Стьюдента. Достоверными считали различия при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В проведенном исследовании различали две формы регенерации митохондрий АКЦ — органоидную (изменение количества митохондрий) и внутриорганодную (изменение размеров митохондрий и числа внутримитохондриальных структур — крист). Установлено, что у животных контрольной группы к действию ЭМИ СВЧ количество митохондрий сохранялось, но при этом происходило снижение их средней площади (на 26,4 %, $p < 0,01$) и числа крист (на 23,1 %, $p < 0,01$) в связи с ослаблением процессов внутриорганодной формы регенерации. Следствием этих изменений являлось уменьшение суммарной площади митохондрий. У животных контрольной группы к действию питьевой МВ, наоборот, отмечалось уменьшение количества самих митохондрий и увеличение их средней площади (на 23,9 %, $p < 0,01$), что было связано со снижением активности органоидной и усилением внутриорганодной форм регенерации. Все эти изменения приводили к снижению суммарной (общей) площади митохондрий и к ослаблению в той или иной мере биоэнергетических ресурсов в АКЦ у животных обеих контрольных групп.

Применение лечебных физических факторов вызвало усиление развития в основном однонаправленных, но разных по интенсивности регенераторно-гиперпластических реакций в митохондриях. В наибольшей степени они проявлялись при действии ЭМИ СВЧ, особенно подвергались изменениям средняя площадь митохондрий (увеличение на 69,8 %, $p < 0,01$) и численность крист (увеличение на 68,6 %, $p < 0,01$) (рис. 1). Эти сдвиги представляли собой процессы гипертрофии митохондрий, развивавшиеся в сочетании с гиперплазией внутримитохондриальных структур — крист. В результате митохондрии становились более крупными и мощными энергетическими структурами. Однако при этом происходило, что важно отметить, снижение общего количества митохондрий (на 28,2 %, $p < 0,01$), которое повлияло и на их суммарную площадь: она возростала по сравнению с контролем, но не достигала уровня интакта (рис. 1). Такие изменения в соотношении исследуемых показателей митохондрий при действии ЭМИ СВЧ свидетельствовали о выраженном усилении внутриорганодной формы регенерации и подавлении органоидной, что указывало на определенную напряженность в развитии этих адаптационных реакций.

При действии питьевой сульфатной МВ (рис. 2), в отличие от ЭМИ СВЧ, число митохондрий не снижалось, а наоборот, возростало (на 13,6 %, $p < 0,05$) по сравнению с контролем, что указывало на активацию органоидной формы регенерации митохондрий, которая сочеталась с внутриорганодной. При этом средняя площадь митохондрий практически не изменялась, однако численность крист, как весьма важный показатель внутриорганодной регенерации, проявляла тенденцию к повышению (на 8,4 %). В этих условиях суммарная площадь митохондрий возростала на 16,1 % ($p < 0,05$) по сравнению с контролем и в виде тенденции превышала уровень интакта. Следовательно, при применении питьевой сульфатной МВ характерным являлось достоверное увеличение числа митохондрий и суммарной их площади по сравнению с контролем, хотя биоэнергетический потенциал этих митохондрий (с учетом более низкой численности крист) был выражен слабее, чем при действии ЭМИ СВЧ.

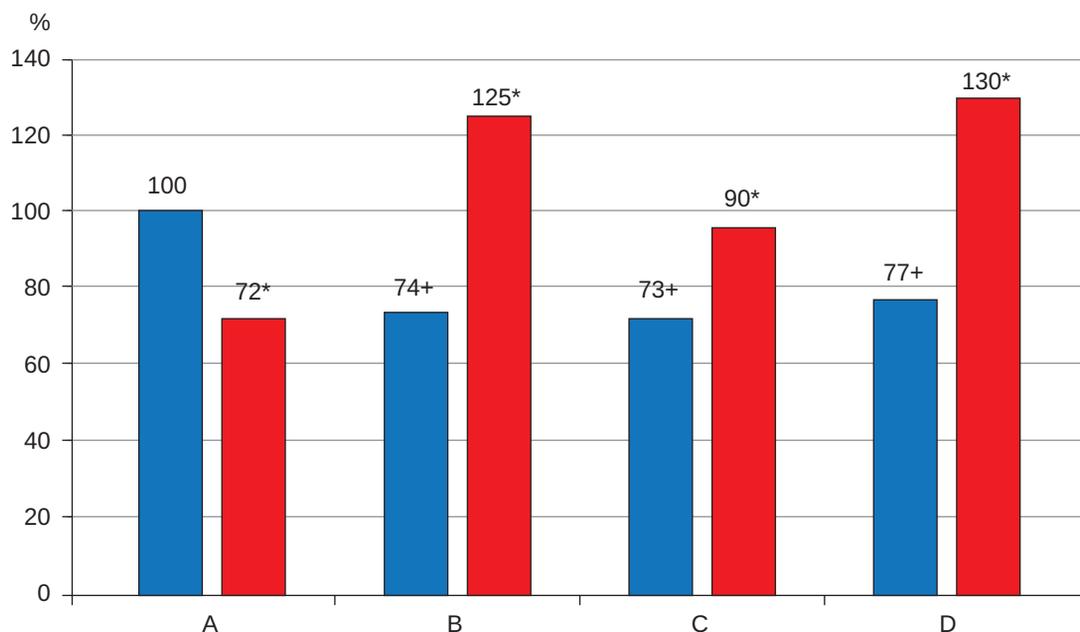


Рис. 1. Ультраструктурная характеристика митохондрий адренокортикоцитов пучковой зоны коры надпочечников при действии электромагнитного излучения сверхвысокой частоты

Fig. 1. Ultrastructural characteristics of mitochondria of adrenocorticocytes of the fascicular zone of the adrenal cortex when exposed to ultrahigh frequency electromagnetic radiation

Примечание: Светлые столбики — контроль; темные — электромагнитное излучение сверхвысокой частоты; А — количество митохондрий; В — средняя площадь митохондрий; С — суммарная площадь митохондрий; D — количество крист. + — $p < 0,01$ по сравнению с интактной группой, * — $p < 0,01$ по сравнению с контрольной группой.

Note: Light columns are control; dark columns are ultrahigh frequency electromagnetic radiation; A — the number of mitochondria; B — the average area of mitochondria; C — the total area of mitochondria; D — the number of crystals. + — $p < 0.01$ compared to the intact group, * — $p < 0.01$ compared to the control group.

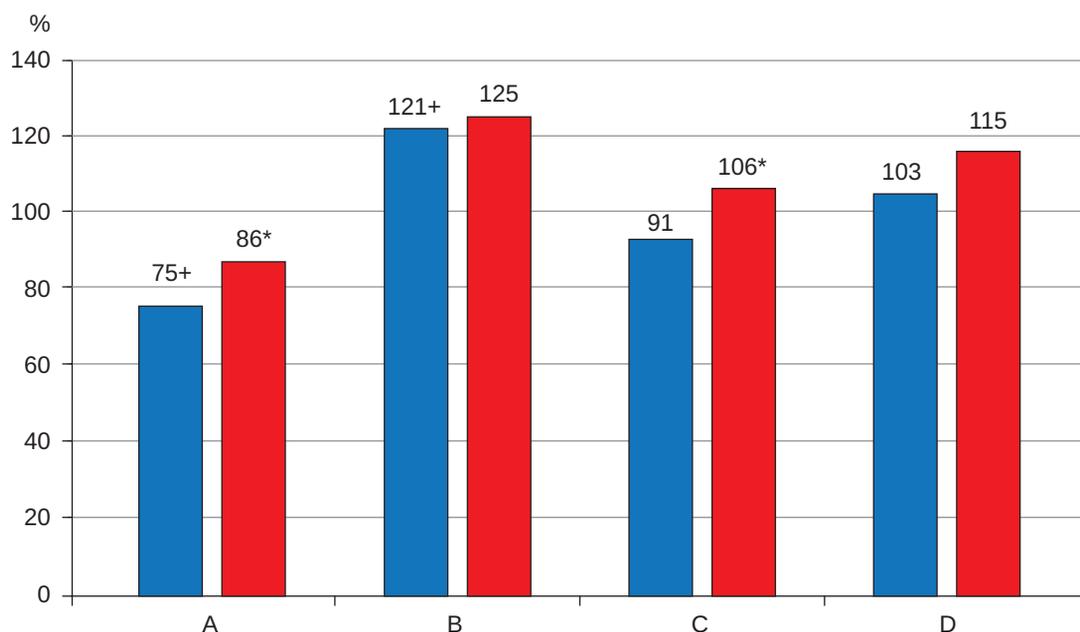


Рис. 2. Ультраструктурная характеристика митохондрий адренокортикоцитов пучковой зоны коры надпочечников при действии сульфатной минеральной воды

Fig. 2. Ultrastructural characteristics of mitochondria of adrenocorticocytes of the fascicular zone of the adrenal cortex under the action of sulfate mineral water

Примечание: Светлые столбики — контроль; темные — сульфатная минеральная вода. А — количество митохондрий; В — средняя площадь митохондрий; С — суммарная площадь митохондрий; D — количество крист. + — $p < 0,01$ по сравнению с интактной группой, * — $p < 0,05$ по сравнению с контрольной группой.

Note: The light bars are control; the dark ones are sulfate mineral water. A — the number of mitochondria; B — the average area of mitochondria; C — the total area of mitochondria; D — the number of crystals. + — $p < 0.01$ compared to the intact group, * — $p < 0.05$ compared to the control group.

Таким образом, применение ЭМИ СВЧ и питьевой сульфатной МВ вызывало усиление адаптационных сдвигов в митохондриях АКЦ, основу которых составляли регенераторно-гиперпластические реакции, проявлявшиеся в двух формах регенерации — органоидной и внутриорганойдной (внутримитохондриальной). Оказалось, что исследуемые факторы по-разному стимулировали эти формы регенерации: ЭМИ СВЧ — только внутриорганойдную, питьевая сульфатная МВ — в большей мере органоидную, но в сочетании с внутриорганойдной. Основной причиной этих различий являлась разная интенсивность воздействия исследуемых факторов на организм.

При применении ЭМИ СВЧ на область надпочечников организм включал ту форму регенерации митохондрий АКЦ, которая была необходима для быстрого реагирования на действующий фактор в связи с выраженным усилением функциональной нагрузки и повышенным потреблением энергии в клетках зоны воздействия. И такой реакцией становилась внутриорганойдная регенерация, которая увеличивала число структур, производящих аденозинтрифосфат (АТФ), — крист. Однако в связи с тем, что потребность в энергии явно превышала возможность ее производства и не была удовлетворена, включался дополнительный механизм адаптации, связанный со слиянием митохондрий для повышения биоэнергетики [5, 6]. Тем самым организму пришлось в этих условиях «жертвовать» числом митохондрий в обмен на создание укрупненных в результате слияния и образования более мощных митохондрий, что в свою очередь вызывало снижение их суммарной площади (общей массы). При влиянии питьевой сульфатной МВ, когда отсутствовала необходимость в быстром реагировании на действие этого фактора, происходило относительно сбалансированное развитие обеих форм регенерации. В этих условиях митохондрии функционировали на более устойчивом физиологическом уровне, что было связано с достоверным увеличением их численности, суммарной площади и возросшим биоэнергетическим ресурсом.

Выявленные адаптационные перестройки являлись результатом антиоксидантного и мембраностабилизирующего действия ЭМИ СВЧ и МВ как непосредственно на мембранные структуры клеток и их митохондрии, так и на регуляторные системы организма с преимущественным развитием реакций неспецифического харак-

тера. В наибольшей степени эти реакции проявлялись при действии ЭМИ СВЧ (как оказалось, не в полной мере адекватным), при котором увеличивались количественные сдвиги, но терялись качественные (специфические) особенности в ответных реакциях организма, что привело к дисбалансу в развитии форм регенерации.

В условиях действия питьевой сульфатной МВ, напротив, были очевидны и качественные особенности в адаптационных перестройках митохондрий, обусловленные избирательным действием комплекса ионов, макро- и микроэлементов — природных регуляторов метаболических процессов. В этом плане больше известен механизм действия кальция, который способен вмешиваться в митохондриальный метаболизм, регулируя выработку АТФ, а также подвижность митохондрий для обеспечения местного энергоснабжения в клетке [15, 16].

Эти и другие специфические особенности в действии МВ способствовали более широкому развитию адаптационных реакций, которые, по своей совокупности, становились основой для сбалансированного (гармоничного) развития обеих форм регенерации митохондрий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение ЭМИ СВЧ и питьевой сульфатной МВ вызывало в митохондриях АКЦ пучковой зоны надпочечников разное по интенсивности усиление регенераторно-гиперпластических процессов и повышение их биоэнергетического потенциала. Для оптимизации адаптивных процессов при применении ЭМИ СВЧ, имея в виду в основном активацию обеих форм регенерации и повышение митохондриальных ресурсов, следует использовать более адекватные режимы воздействия этого фактора. Результаты исследования позволяют понять характерные особенности в механизмах действия ЭМИ СВЧ и питьевой сульфатной МВ на ультраструктуру митохондрий АКЦ, которые важно учитывать при разработке новых способов профилактики и реабилитации. Необходимо дальнейшее изучение адаптационных изменений митохондрий под влиянием лечебных физических факторов и развитие в целом митохондриального направления исследований в курортологии и физиотерапии (в рамках митохондриальной медицины [17]), что будет способствовать повышению эффективности проводимых лечебно-профилактических и реабилитационных мероприятий.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Королев Юрий Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела 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 отдела 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 отдела 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 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). Вклад распределен следующим образом: Королев Ю.Н. — научное обоснование, концепция и дизайн, написание текста, проверка и редактирование рукописи; Никулина Л.А. — проведение исследования, анализ данных, статистическая обработка данных; Михайлик Л.В. — проведение исследования, анализ данных, статистическая обработка данных.

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 осуществляли 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. Korolyov, D.Sc. (Med.), Professor, Head of the Department the Study the Mechanisms of Action of Physical Factors, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

E-mail: korolev.yur@yandex.ru, korolevyn@nmicr.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5530-1538>

Liudmila A. Nikulina, Ph.D. (Med), Senior Researcher of the Department the Study 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. Michailik, Researcher of the Department the Study 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, formal analysis, writing — original draft, writing — review & editing; Nikulina L.A. — investigation, formal analysis; Michailik L.V. — investigation, formal analysis.

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 Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes (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

- Vega-Vasquez T., Langgartner D., Wang J.Y., et al. Mitochondrial morphology in the mouse adrenal cortex: Influence of chronic psychosocial stress. *Psychoneuroendocrinology*. 2024; 160(4): 106683. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2023.106683>
- Caldeira D.A.F., Weiss D.J., Rieken P.R.M., et al. Mitochondria in focus: from function to therapeutic strategies in chronic lung diseases. *Frontiers Immunology*. 2021; 12: 782074. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.782074>
- Bassi G., Sidhu S.K., Mishra M. The Expanding Role of Mitochondria, Autophagy and Lipophagy in Steroidogenesis. *Frontiers Immunology*. 2021; 10(8): 1851. <https://doi.org/10.3389/fcels.2021.1851>
- Valero-Ochando J., Canto A., Lopez-Pedrajas R., et al. Role of Gonadal steroid hormones in the eyes: therapeutic implication. *Biomolecules*. 2024; 14(10): 1262. <https://doi.org/10.3390/biom14101262>
- Garci M.M., Paz, Castillo A., et al. New insights into signal transduction pathways in adrenal steroidogenesis: the role of mitochondrial fusion, lipid mediators, and MARC phosphatase. *Frontiers endocrinology*. 2023; 14: 1175677. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1175677>
- Rong Yu., Lendah U., Nister M., Zhao J. Regulation of mammalian mitochondrial dynamics: opportunities and challenges. *Frontiers Endocrinology* 2020; 11: 374. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00374>
- Ferry A., Shirihai O. Mitochondrial dynamics: The Intersection of form and Function. *Advance in Experimental Medicine and Biology*. 2012; 748: 13–40. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3573-0_2
- Yule R.J., Van der Blick A.M. Mitochondrial fission, fusion, and stress. *Science*. 2012; 337(6098): 1062–1065. <https://doi.org/10.1126/science.1219855>
- Birch J., Barnes P., Passos J.F. Mitochondria, telomeres, and cell aging: implications for lung aging and disease. *Pharmacology* 2018. 183: 34–49. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2017.10.005>
- Бакеева Л.Е. Возраст-зависимые изменения ультраструктуры митохондрий. Действие SkQ1. *Биохимия*. 2015; 8(12): 1843–1850. [Bakeeva L.E. Age-dependent changes in the ultrastructure of mitochondria. SkQ1 action. *Biokhimiya*. 2015; 8(12): 1843–1850 (In Russ.)]
- Франциянц Е.М., Нескубина И.В., Шейко Е.А. Митохондрии трансформированной клетки как мишень противоопухолевого воздействия. *Исследования и практика в медицине*. 2020; 7(2): 92–108. <https://doi.org/10.17709/2409-2231-2020-7-2-9> [Franzyants E.M., Neskubina I.V., Sheiko E.A. Mitochondria of transformed cell as a target of antitumor. *Research and Practical Medicine Journal*. 2020; 7(2): 92–108. <https://doi.org/10.17709/2409-2231-2020-7-2-9> (In Russ.)]
- Королев Ю.Н., Михайлик Л.В., Никулина Л.А. Механизмы действия питьевой сульфатной минеральной воды при первичном профилактическом и лечебном применении в условиях экспериментального стресса: сравнительный анализ. *Вестник восстановительной медицины* 2023; 22(4): 3–10. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-4-90-95> [Korolev Y.N., Michailik 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): 3–10. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-4-90-95> (In Russ.)]
- Королев Ю.Н., Никулина Л.А., Михайлик Л.В. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения на структурно-метаболические процессы у здоровых крыс. *Вестник восстановительной медицины*. 2019; 6 (94): 60–62. [Korolev Yu.N., Nikulina L.A., Michailik L.V. Effect of low-intensity electromagnetic radiation on structural and metabolic processes in healthy rats. *Journal of Restorative Medicine and Rehabilitation*. 2019; 6(94): 60–62 (In Russ.)]
- Королев Ю.Н., Михайлик Л.В., Никулина Л.А. Сочетанное действие питьевой сульфатной минеральной воды и низкоинтенсивного электромагнитного излучения на семенники крыс при метаболическом синдроме. *Вестник восстановительной медицины*. 2022; 21(6): 127–133. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-6-127-133> [Korolev Yu.N., Michailik L.V., Nikulina L.A. Drinking Mineral Water and Low-Intensity Electromagnetic Radiation Combinational Effect on Rat Testes in Metabolic Syndrome: a Randomized Controlled Study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2022; 21(6): 127–133. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-6-127-133> (In Russ.)]

15. Glancy B., Balaban R.S. Role of mitochondrial Ca^{2+} the in regulation of cellular energetics. *Biochemistry* 2012; 51: 2959–2573. <https://doi.org/10.1021/bi2018909>
16. Jeyaraju D.V., Cisbani G., Pellegrini L. Calcium regulation of mitochondrial motility and morphology. *Biochimica Biochysica Acta* 2009; 1787(11): 13631373. <https://doi.org/10.1016/j.bbabo.2008.12.005>
17. Царегородцев А.Д., Сухоруков В.С. Митохондриальная медицина — проблемы и задачи. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2021; 4(2): 4–13. [Tsaregorodtsev A.D. Sukhorukov V.S. Mitochondrial medicine — problems and tasks. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2021; 4(2): 4–13 (In Russ).].

Стандартизованные подходы к медицинской фотографии в практической деятельности врача — травматолога-ортопеда: диагностическое исследование

 **Василевич С.В.***

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Фотографирование пациентов является доступным и оправданным методом диагностики и документирования, который следует активно использовать при обращениях пациентов с патологией опорно-двигательной системы. В то же время до сих пор не согласованы основные требования к выполнению фотографии, с помощью которой можно проводить всестороннюю оценку текущего состояния и изменений. Создание оптимальных стандартов для фотограмметрии улучшило бы информативность результатов, позволило бы осуществлять обмен между специалистами, в том числе в смежных областях.

ЦЕЛЬ. Обосновать стандартизированные подходы к выполнению медицинской фотографии пациентов с ортопедической патологией для улучшения качественной и количественной оценки показателей ортопедического статуса и преемственности лечения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В публикации изложен опыт практического применения фотограмметрии при оценке ортопедического статуса пациентов с опорно-двигательной патологией и возможные пути стандартизации для выполнения медицинской фотографии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В результате работы можно сделать следующие заключения: выполнение 4 фотографий тела (вид сзади, сбоку с захватом головы и ног полностью, тест Адамса спереди и сзади) в 95–98 % случаев позволяет диагностировать статические нарушения позвоночника и нижних конечностей. При оценке функции конечности (амплитуды движений в суставах) или проведении функциональных проб оправдано максимально полное документирование зоны обследования с захватом сопряженных сегментов. При фотографировании необходимо обеспечить равномерное, неяркое освещение от центра фотографируемой области для сохранения полутеней и возможности оценки асимметрии поверхности тела. При фотографировании пациента следует правильно ориентировать фотокамеру в трех плоскостях пространства для исключения искажений, связанных с ее наклоном. Для этого возможно применение программных решений либо фотографирование пациента на фоне эталонных прямоугольных объектов (с последующим использованием фоторедакторов). Для улучшения восприятия и анализа фотографий оправдано использовать вспомогательные инструменты и решения (программные приложения, лазерные уровни, разметка на теле пациента, диагностические сетки, проекция на тело пациента видеоизображения, равномерная неяркая подсветка для контрастирования асимметрий поверхности тела и т. д.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Фотографирование пациента целесообразно выполнять так, чтобы анализируемая область тела занимала 80–95 % площади экрана. Диагональ экрана мобильного устройства для визуальной оценки должна быть не менее 8 дюймов (оптимально 11–12 дюймов для планшетов или более в случае использования стационарных мониторов). Возможность масштабирования полученного изображения имеет важное значение, так как позволяет детализировать наблюдаемые изменения. Перспективна интеграция фотографий пациентов с видимой патологией опорно-двигательной системы в медицинские информационные системы с возможностью анализа изображений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фотограмметрия, диагностика, сколиоз, ортопедия, скрининговые исследования, стандартизация

Для цитирования / For citation: Василевич С.В. Стандартизованные подходы к медицинской фотографии в практической деятельности врача — травматолога-ортопеда: диагностическое исследование. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(4):96–112. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-96-112> [Vasilevich S.V. Standardized Approaches to Medical Photography in the Practical Activity of a Traumatologist and Orthopedic Surgeon: a Diagnostic Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4): 96–112. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-96-112> (In Russ.)]

* **Для корреспонденции:** Василевич Сергей Викторович, E-mail: svasilevich@mail.ru, ogonek@zdrav.spb.ru

Статья получена: 31.07.2024
Статья принята к печати: 14.11.2024
Статья опубликована: 16.08.2025

Standardized Approaches to Medical Photography in the Practical Activity of a Traumatologist and Orthopedic Surgeon: a Diagnostic Study

 **Sergey V. Vasilevich***

Saint-Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, Saint-Petersburg, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Photographing patients is an affordable and justified method of diagnosis and documentation, which should be actively used when contacting patients with pathology of the musculoskeletal system. At the same time, the basic requirements for the execution of photographs have not yet been agreed upon, with the help of which a comprehensive assessment of the current state and changes can be carried out. The creation of optimal standards for photogrammetry would improve the information content of the results, would allow for exchange between specialists, including in related fields.

AIM. To substantiate standardized approaches to performing medical photography of patients with orthopedic pathology to improve qualitative and quantitative assessment of orthopedic status indicators and treatment continuity.

MATERIALS AND METHODS. The publication describes the experience of practical application of photogrammetry in assessing the orthopedic status of patients with musculoskeletal pathology and possible ways of standardization for performing medical photography.

RESULTS AND DISCUSSION. As a result of the work, the following conclusions can be drawn: performing 4 photos of the body (rear view, side view with full head and leg capture, Adams test from front and back) in 95–98 % of cases, it allows you to diagnose static disorders of the spine and lower extremities. When assessing the function of a limb (amplitude of movements in joints) or conducting functional tests, it is justified to document the examination area as fully as possible with the capture of conjugate segments. When photographing, it is necessary to ensure uniform, not bright illumination from the center of the photographed area in order to preserve the penumbra and the possibility of assessing the asymmetry of the body surface. When photographing a patient, the camera should be correctly oriented in three planes of space to eliminate distortions associated with its tilt. To do this, it is possible to use software solutions or photograph the patient against the background of reference rectangular objects (followed by the use of photo editors). To improve the perception and analysis of photographs, it is justified to use auxiliary tools and solutions (software applications, laser levels, markings on the patient's body, diagnostic grids, projection of video images onto the patient's body, uniform non-bright illumination to contrast asymmetries of the body surface, etc.).

CONCLUSION. It is advisable to photograph the patient so that the analyzed area of the body occupies 80–95 % of the screen area. The diagonal of the mobile device screen for visual evaluation is at least 8 inches (optimally 11–12 inches for tablets or more in the case of stationary monitors). The ability to scale the resulting image is important, as it allows you to detail the observed changes. The integration of photographs of patients with visible pathology of the musculoskeletal system into medical information systems with the ability to analyze images is promising.

KEYWORDS: photogrammetry, diagnostics, scoliosis, orthopedics, screening studies, standardization

For citation: Vasilevich S.V. Standardized Approaches to Medical Photography in the Practical Activity of a Traumatologist and Orthopedic Surgeon: a Diagnostic Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):96–112. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-96-112> (In Russ.).

* **For correspondence:** Sergey V. Vasilevich, E-mail: svasilevich@mail.ru, ogonek@zdrav.spb.ru

Received: 31.07.2024

Accepted: 14.11.2024

Published: 16.08.2025

ВВЕДЕНИЕ

С момента своего изобретения в начале XIX в. фотография нашла применение в медицинской науке и практике. По вполне очевидным причинам особое значение фотоизображению отводили при курации пациентов с заболеваниями и деформациями опорно-двигательного аппарата. Данные литературы свидетельствуют о фотографировании пациентов в одной из частных ортопедических клиник Мюнхена в 1857 г. [1]. В конце XIX – начале XX в. применение фотографии рассматривается уже как рутинный метод у пациентов с ортопедическими проблемами. Такой подход можно отметить как в нашей стране, так и в странах Европы [2]. Совершенствование технологии получения изображения привело к популяризации его применения в медицине. Толчком для прикладного применения фото-

графии в медицине послужило появление цифровых технологий получения изображения. Эти цифровые технологии открыли возможности для развития новых направлений диагностики в травматологии и ортопедии. На базе описанного Takasaki H. в 1973 г. принципа муаровой диагностики поверхности тела была создана и существует компьютерная оптическая топографическая диагностика — бесконтактный оптический метод исследования поверхности тела [3]. Дальнейшим развитием применения цифровой фотосъемки для получения изображения пациента можно считать медицинские топографические системы ТОДП, КОМОТ (1996, Новосибирск) и зарубежную реплику DIERS formetric 4D (Германия).

Среди отечественных ортопедов, работавших в направлении фотограмметрии, следует отметить работы

Цыкунова Б.М., Еремушкина М.А., предложивших ряд фотометрических аппаратов для анализа состояния опорно-двигательного аппарата человека, диагностики заболеваний и деформаций позвоночника и стоп [4].

Общим фактором, характеризующим упомянутые методики, является реализация их практического применения при выполнении определенных условий: необходимость использования дорогостоящего сертифицированного оборудования в строго стандартизированных условиях. Это сдерживает широкое применение методов в практической медицине.

Развитие микропроцессорных технологий привело к массовому распространению мобильных коммуникационных устройств (смартфоны, планшеты) с функциями цифровой фотографии.

Возможности цифровых фотокамер используются травматологами-ортопедами, специалистами восстановительной медицины для решения консервативных задач, таких как обучающие и диагностические (оценки амплитуды движений крупных суставов, состояния сводов стоп, осанки), а также хирургического планирования [5, 6].

Имеется ряд публикаций, в которых проведен сравнительный анализ результатов измерений амплитуды движений в различных суставах с помощью гониометра и измерений амплитуды движения по фотографиям (на фотографиях сегменты конечности, смежных с суставами, находятся в крайних положениях). Результаты публикаций показывают идентичность получаемых результатов [7–10].

По мнению Vago J. et al. оценка даже единственной фотографии задней части туловища является эффективным способом выявления асимметрии, наблюдаемой при тяжелом идиопатическом сколиозе. В частности, по имеющейся у пациента асимметрии в области талии могут быть определены с высокой степенью вероятности сколиотические изменения поясничной и грудопоясничной локализации [11].

Несмотря на то, что фотографирование в клинической практике травматолога-ортопеда используется уже продолжительное время, к нему до сих пор не выработаны единые подходы и стандарты [12].

Имеются публикации, в которых предприняты попытки унифицировать подходы к медицинской фотографии, в том числе в практике врача — травматолога-ортопеда (аналогичные подходы уже сформулированы при выполнении фотографий, используемых для документирования в дерматологии, пластической и реконструктивной хирургии) [13–15].

В работе Uzun M. et al. обоснованы некоторые рекомендации по выполнению фотографий [16]. Эти рекомендации касались преимущественно качественного восприятия изображения при фотографировании конечностей, а именно:

- 1) выбора цвета фона: фон должен обеспечивать соответствующий контраст;
- 2) подготовки пациента: конечности должны быть представлены без одежды или аксессуаров, не должно быть видимой одежды, колец, часов или браслетов;
- 3) техники изображения: анатомические ориентиры фотографируемой области должны быть видны на каждом изображении и должны заполнять сфотографированную область.

В то же время до сих пор не согласованы основные требования к выполнению фотографий, используя которые можно улучшить качественную и количественную оценку текущего состояния и изменений.

Создание стандартов для фотографического представления клинических результатов улучшило обмен и информативность результатами, идеями и информацией между специалистами, в том числе в смежных областях.

ЦЕЛЬ

Обосновать стандартизированные подходы к выполнению медицинской фотографии пациентов с ортопедической патологией для улучшения качественной и количественной оценки показателей ортопедического статуса и преемственности лечения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для работы послужил анализ цифровых фотоизображений более 2200 пациентов, получивших лечение в Санкт-Петербургском государственном бюджетном учреждении здравоохранения «Санаторий для детей «Огонек»» (далее — санаторий для детей «Огонек») и более 400 воспитанников Государственного бюджетного общеобразовательного учреждения школы-интерната № 49 Петродворцового района Санкт-Петербурга «Школа здоровья» (далее — «Школа здоровья»). Возраст пациентов составил от 4 до 17 лет. Подавляющее большинство обследованных (82 %) имели деформации позвоночного столба: сколиоз, патологический кифоз, кифосколиоз, при этом девочек было 61 %, мальчиков — 39 %.

Для фотографирования пациентов использовался планшетный компьютер Samsung Galaxy Tab S2 8.0» с основной камерой 8 Мпк, 2015 года выпуска и Samsung Galaxy Tab S7 Plus 12.4» с основной камерой 13 Мпк 2020 года выпуска.

Для получения, обработки и хранения полученных данных использовался оригинальный программный пакет «Смарт-Орто 2D», установленный на указанные устройства. Программный пакет «Смарт-Орто 2D» обеспечивал возможность выровнять мобильное устройство в соответствии с осями координат в пространстве (угол крена и тангажа) при выполнении фотосъемки, то есть для соблюдения повторяющихся условий фотосъемки при выполнении последующего фотографирования и минимизации перспективных искажений на фотографии [17, 18].

Для выполнения фотографирования на мобильном устройстве на каждого пациента создавалась электронная карта, которая включала в себя не менее 4 фотоизображений: фронтальное и боковое в полный рост, а также снимки задней поверхности туловища при выполнении теста Адамса (спереди и сзади). У ряда пациентов выполнялись дополнительные фотоснимки произвольных областей на выбор врача, позволяющие осуществлять отдельные линейные и угловые измерения, а также документировать внешний вид патологических изменений, например, деформаций или контрактур суставов.

Для проведения экспресс-анализа визуально оценивали панорамную (или локальную) фотографию пациента или сравнивали фотографии пациента в динамике. Период некоторых наблюдений составлял до 8 лет [19].

Фотографирование пациентов в санатории для детей «Огонек» выполняли на фоне обычного интерьера медицинских кабинетов, экрана для проектора, в том числе освещенного изображением с диагностической сеткой, а в «Школе здоровья» — на фоне диагностической сетки. Дополнительно для подсветки тела пациента использовались светодиодные матрицы монохромного цвета мощностью 20 и 50 Вт. Длина световой волны в светодиодных матрицах была 440, 460, 520, 590, 660 нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенной работы выявлен ряд особенностей применения фотограмметрии в клинической практике при обследовании пациентов с патологией опорно-двигательного аппарата.

Использование современных мобильных устройств, таких как планшетные компьютеры и смартфоны, позволяет создавать и многократно воспроизводить стан-

дартизированные условия фотосъемки, минимизировав искажения изображения, связанные с неправильным положением фотокамеры. Стандартизированные условия фотосъемки в свою очередь дают возможность врачу проводить анализ изображения пациента с получением множества качественных и количественных характеристик ортопедического статуса пациента.

При проведении скрининговой диагностики получение 4 стандартных фотографий пациента (фронтальный вид сзади в полный рост, вид сбоку в полный рост, изображение спины при выполнении теста Адамса (вид спереди и сзади)) вполне достаточно для выполнения всестороннего анализа постуральных особенностей пациента (рис. 1–4). Анализ фотографий пациентов со спины и сбоку позволяет оценить правильность осей верхних и нижних конечностей (включая отклонение стопы), позвоночника, асимметрию кожных складок (подколенных, ягодичных, талии), асимметрию (в том числе объ-

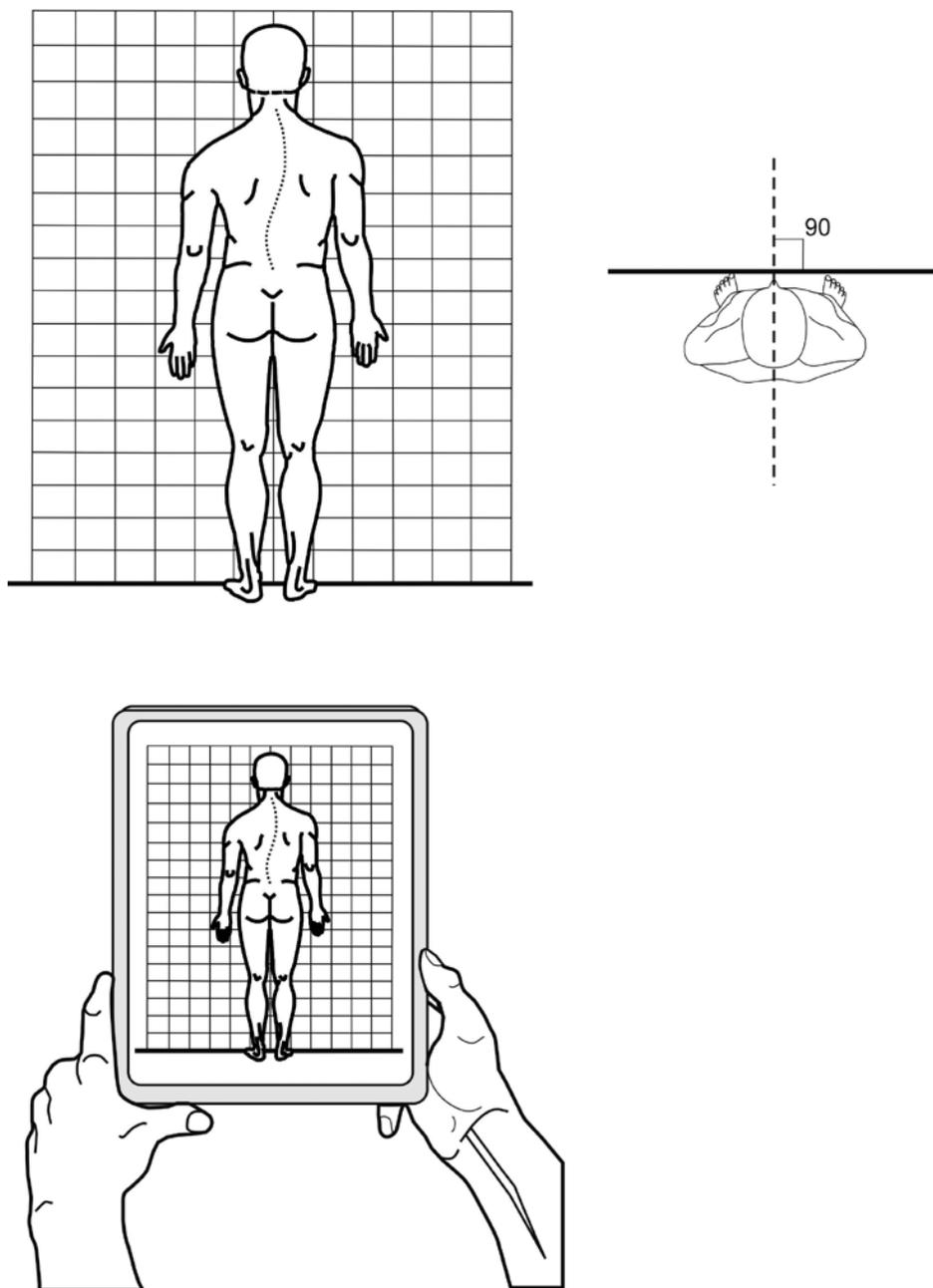


Рис. 1. Рисунок желаемого стандартного расположения пациента при его фотографировании сзади (фронтальная плоскость)

Fig. 1. Picture of the desired standard patient positioning when the patient is photographed from behind (frontal plane)

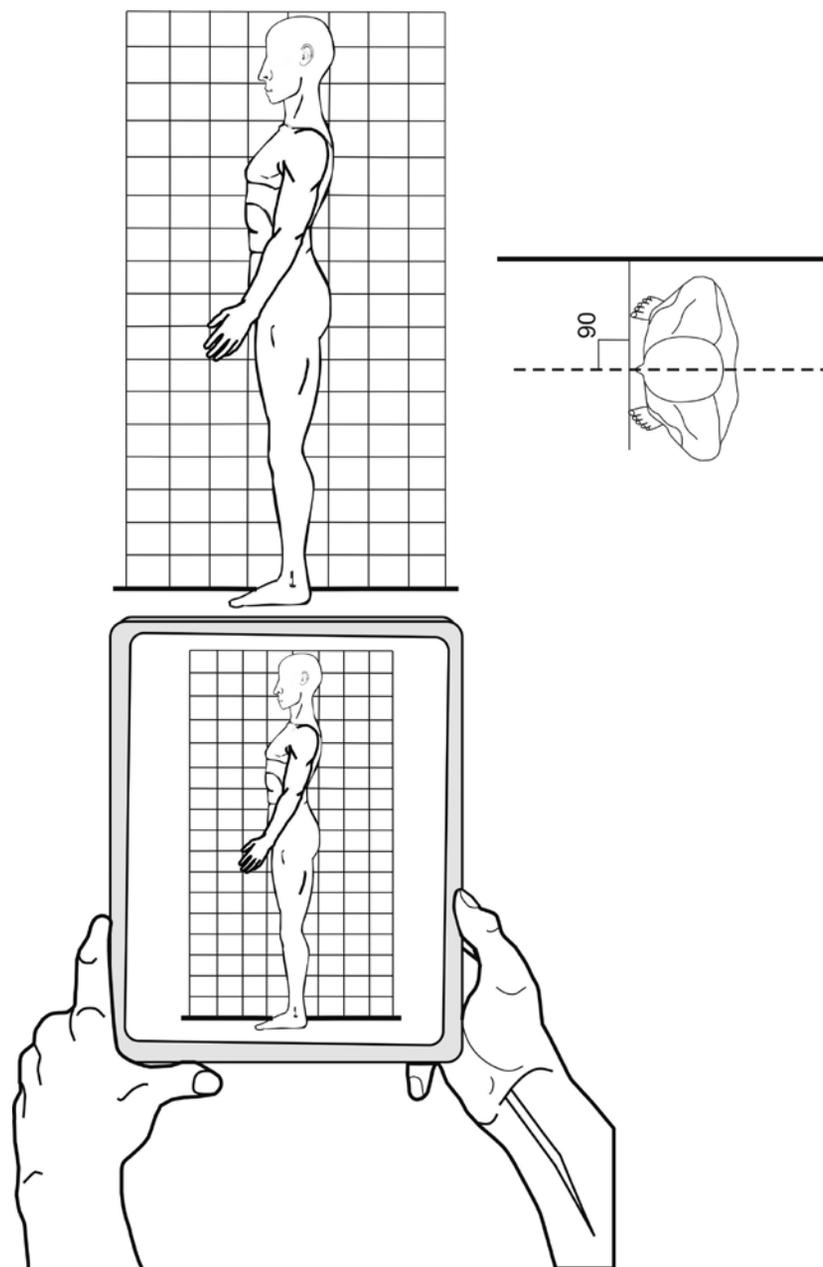


Рис. 2. Рисунок желаемого стандартного расположения пациента при его фотографировании сбоку (сагиттальная плоскость)

Fig. 2. Picture of the desired standard patient positioning when the patient is photographed from the side (sagittal plane)

ема) конечностей, асимметрию треугольников талии, надплечий, лопаток, разновеликость конечностей, характеристики сагиттального профиля и его баланс. Фотографии спины при выполнении теста Адамса (вид спереди и сзади) позволяют выявить и ориентировочно оценить ротацию позвоночника/туловища, связанную со сколиотической деформацией позвоночника.

Для лучшей визуализации костных ориентиров у пациентов со сглаженными контурами тела (например, при ожирении) оправдано выделение этих костных ориентиров (остистые отростки позвонков, ости подвздошных костей, углов лопаток) на теле пациента с помощью маркеров (полосок кинезиотейпа, водорастворимого маркера и т. д.).

Для лучшего восприятия фотоизображения фотографирование пациента целесообразно выполнять так, чтобы анализируемая область тела занимала 80–95 % площади экрана. По возможности, следует максимально исключить попадание в кадр предметов одежды, инте-

рьера, украшений. В случае оценки поструральных особенностей (фотографии спины и туловища) длинные волосы не должны закрывать зону шеи, надплечий, спины.

Следует использовать неяркое освещение фотографируемой области предпочтительно от источника света, расположенного на средней линии туловища (центр фотографируемой зоны).

Возможность масштабирования полученного изображения имеет важное значение, так как позволяет более детально оценить как ортопедический статус, так и состояние кожных покровов (для исключения попадания родимых пятен, акне и т. д. в область воздействия физиотерапевтических (контактных) факторов).

Для удобства работы целесообразно использовать мобильные устройства с диагональю экрана 8 дюймов и более. Использование мобильных устройств с экраном 11–12 дюймов наиболее оптимально. Использование устройств с большими размерами вызывает некоторые затруднения из-за их габаритности.

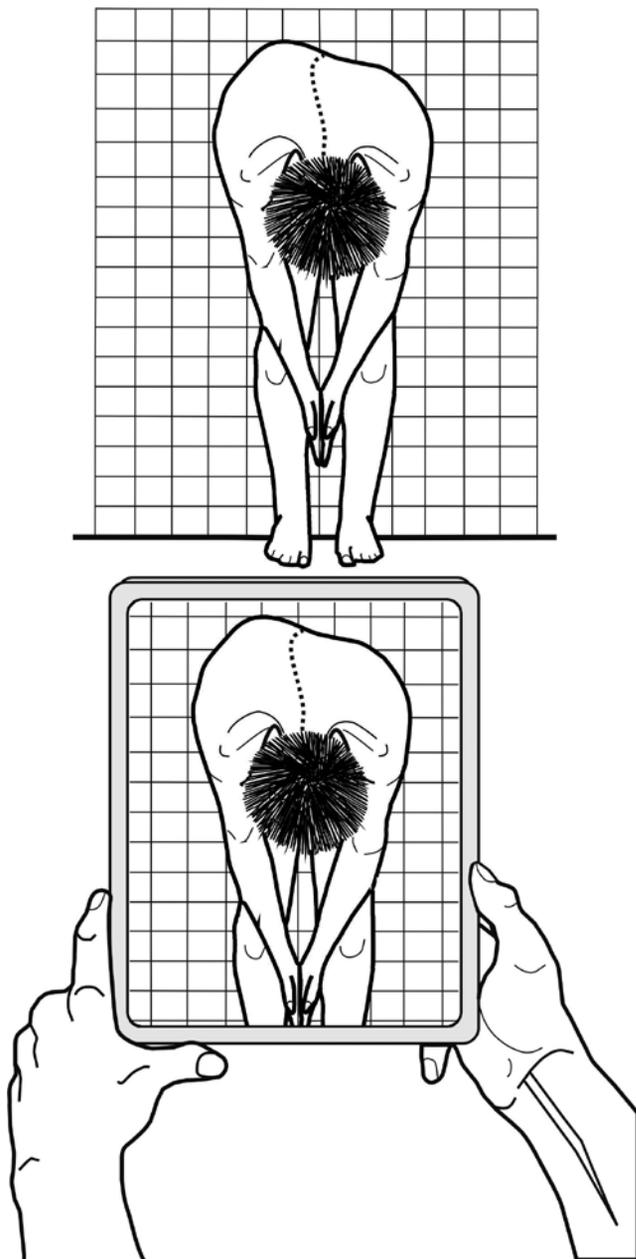


Рис. 3. Рисунок желаемого стандартного расположения пациента при его фотографировании спереди в тесте Адамса (выявление ротации грудной клетки в горизонтальной плоскости)

Fig. 3. Picture of the desired standard patient positioning when photographed from the front in the Adams test (detection of horizontal chest rotation)

При фотографировании пациентов целесообразно иметь видимые горизонтальные и вертикальные линии к поверхности тела. С этой целью можно использовать программные решения, установленные на мобильное устройство [20, 21], или внешние устройства (например, лазерные уровни).

При наличии у врача постоянного места приема пациентов для обеспечения контрастного фона, на котором выполняют фотографирование пациента, может быть использован экран или диагностическая постурологическая сетка (рис. 5).

Наличие диагностической сетки дает ряд преимуществ. Так, она создает контрастный фон с телом пациента, вносит масштаб в полученное изображение, облегчает визуальную оценку и позволяет произвести

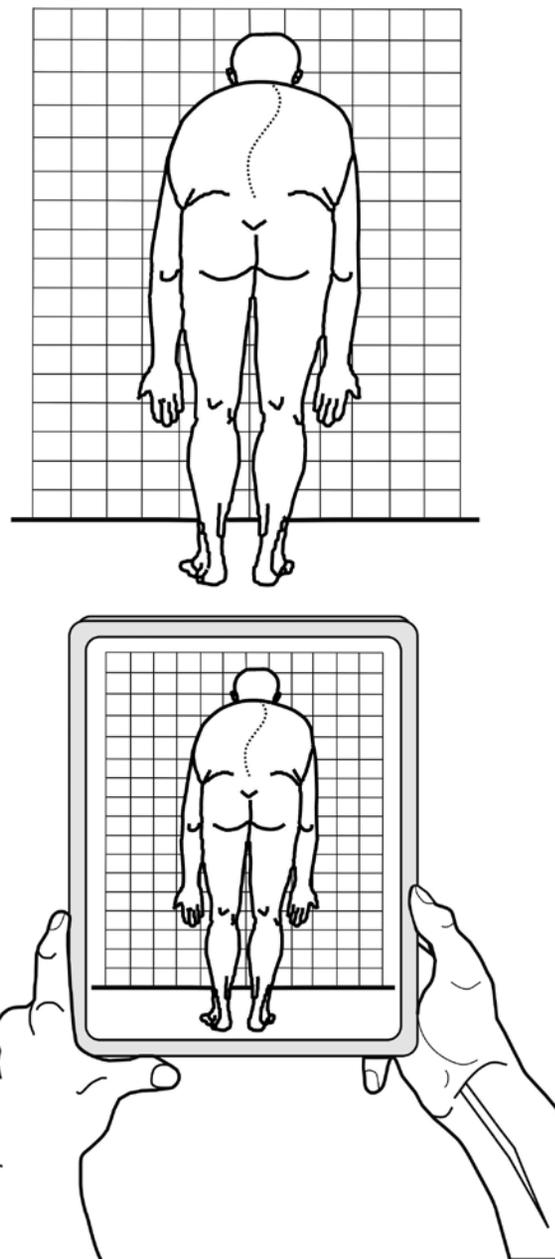


Рис. 4. Рисунок желаемого стандартного расположения пациента при его фотографировании спереди в тесте Адамса (выявление ротации грудной клетки и поясничной области в горизонтальной плоскости)

Fig. 4. Picture of the desired standard patient positioning when photographed from the front in the Adams test (detection of thoracic and lumbar rotation in the horizontal plane)

выравнивание фотографирующего устройств при фотографировании.

Также с этой целью тело пациента может быть освещено от видеопроектора с изображением диагностической сетки. При использовании видеопроектора, на наш взгляд, наилучшее восприятие достигается при использовании видеоизображения со светлыми полосами на черном фоне (рис. 6).

Освещение тела пациента от видеопроектора с изображением диагностической сетки также позволяет выявлять невыраженную ротационную асимметрию правой и левой половин туловища — по изменению формы горизонтальных линий (на правой и левой половине туловища), проецируемых на тело.



Рис. 5. Фотография пациентов со спины, сбоку на фоне диагностической постурологической сетки
Fig. 5. Photograph of patients from the back, from the side against the background of the diagnostic postural grid

Важное значение имеет правильная ориентация фотокамеры мобильного устройства по отношению к фотографируемому пациенту (без наклона в плоскостях пространства). Правильная ориентация может быть достигнута программным способом за счет обработки показаний внутреннего акселерометра [21]. При отсутствии необходимого программного обеспечения выравнивание фотокамеры может быть решено следующим образом: при выполнении снимков перед пациентом располагают плоскую контрастную диагностическую сетку прямоугольного рисунка, желательно, чтобы размер диагностической сетки превышал фронтальный и вертикальный размер пациента. Пациента размещают перед сеткой так, чтобы передние отделы его стоп находились на линии, перпендикулярной сагиттальной плоскости туловища пациента (рис. 1, 2). Эта линия должна быть параллельной основанию диагностической сетки при выполнении фотоснимков во фронтальной плоскости и перпендикулярной основанию диагностической сетки при выполнении фотоснимков в сагиттальной плоскости. При выполнении фотоснимков мобильную фотографическую технику ориентируют следующим образом: в горизонтальной плоскости так, чтобы на экране мобильной фотографической техники верхние и нижние горизонтальные линии диагностической сетки были параллельны друг другу, в сагиттальной плоскости так, чтобы на экране правая и левая вертикальные линии диагностической сетки были параллельны друг другу, а во фронтальной плоскости так, чтобы на экране верхняя и нижняя горизонтальные линии диагностической сетки были параллельны верхнему и нижнему краю экрана мобильной фотографической техники. На рисунках 7–12 представлена логика выравнивания фотокамеры по диагностической сетке.

При отсутствии диагностической сетки (например, родителями ребенка необходимо выполнить фотоснимки

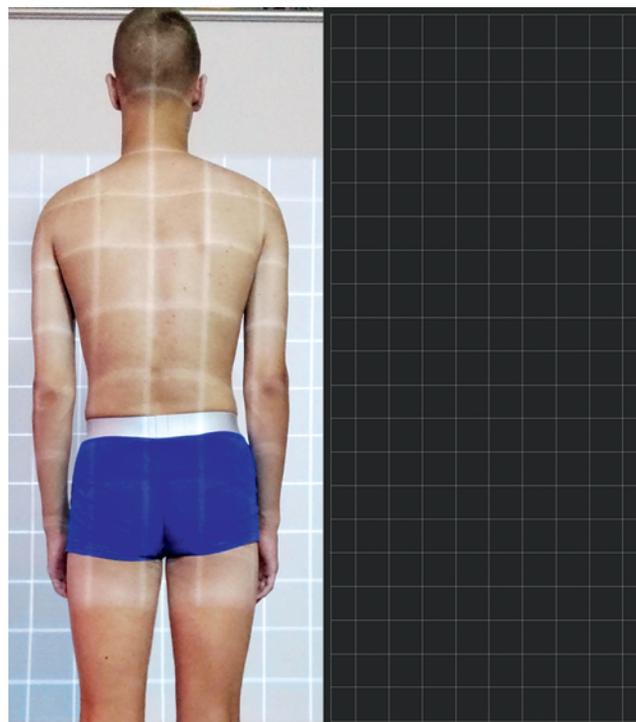


Рис. 6. Проецирование на тело пациента изображения с горизонтальными и вертикальными полосами — слева. Проецируемое изображение — справа
Fig. 6. Projecting an image with horizontal and vertical stripes onto the patient's body on the left. The projected image is on the right

дома) альтернативой описанному методу возможно расположение пациента перед прямоугольным предметом (например, мебельный шкаф, дверь и т. д.), имеющим желательный больший размер, чем пациент. В случае неправильно выполненных фотографий возможна коррекция изображения во встроенном фоторедакторе мобильного приложения за счет использования функций поворота фотоизображения и изменения перспективы (рис. 13).

Фотографирование следует выполнять в помещении с равномерным неярким освещением, при котором сохраняются тени от кожных складок и возможно различить неодинаковую освещенность асимметричных участков тела. Для лучшего субъективного восприятия деформаций позвоночника тело пациента может быть подсвечено, в том числе монохромным светом (источник света следует располагать по средней линии тела пациента). Незначительное улучшение восприятия (субъективное) асимметрий тела наблюдается при использовании неинтенсивного зеленого или синего цвета. Освещение тела пациента более теплым монохромным светом или от яркого источника нивелирует асимметрию его поверхности, и преимуществ для восприятия асимметрий тела не выявило (рис. 14).

В случае необходимости оценить области суставов и конечностей оправдано, помимо стандартных фотографий в прямой и боковой проекции, выполнить фотографирование конечностей и суставов в крайних положениях (для оценки амплитуды движений) с максимальным захватом сопряженных сегментов (рис. 15). Это также следует делать при проведении функциональных тестов и оценки подвижности позвоночника, при этом фотография должна полностью включать изображение пациента (с ногами и головой).

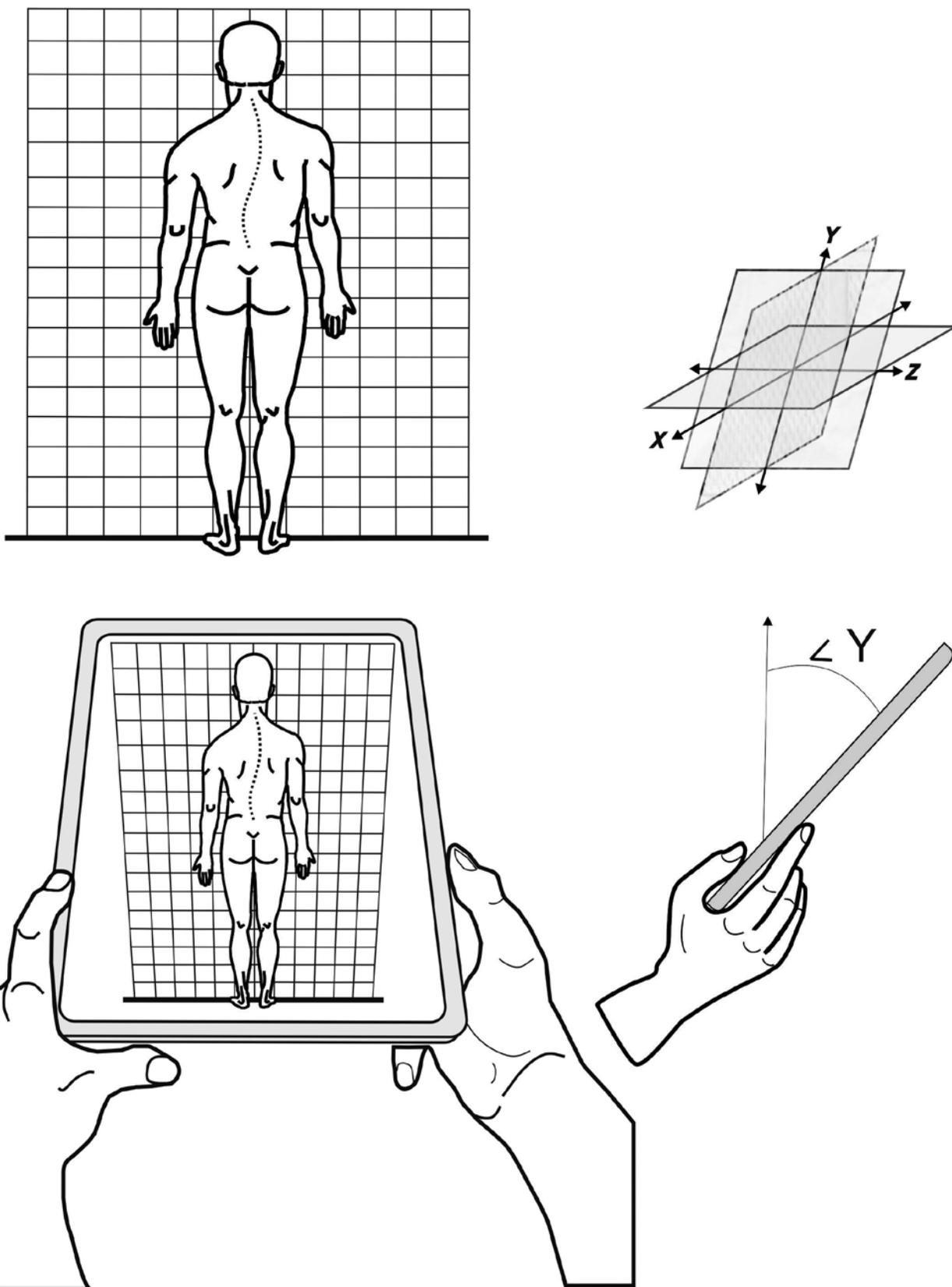


Рис. 7. Наклон фотокамеры мобильного устройства вперед (сагиттальная плоскость)
Fig. 7. Tilting the mobile device camera forward (sagittal plane)

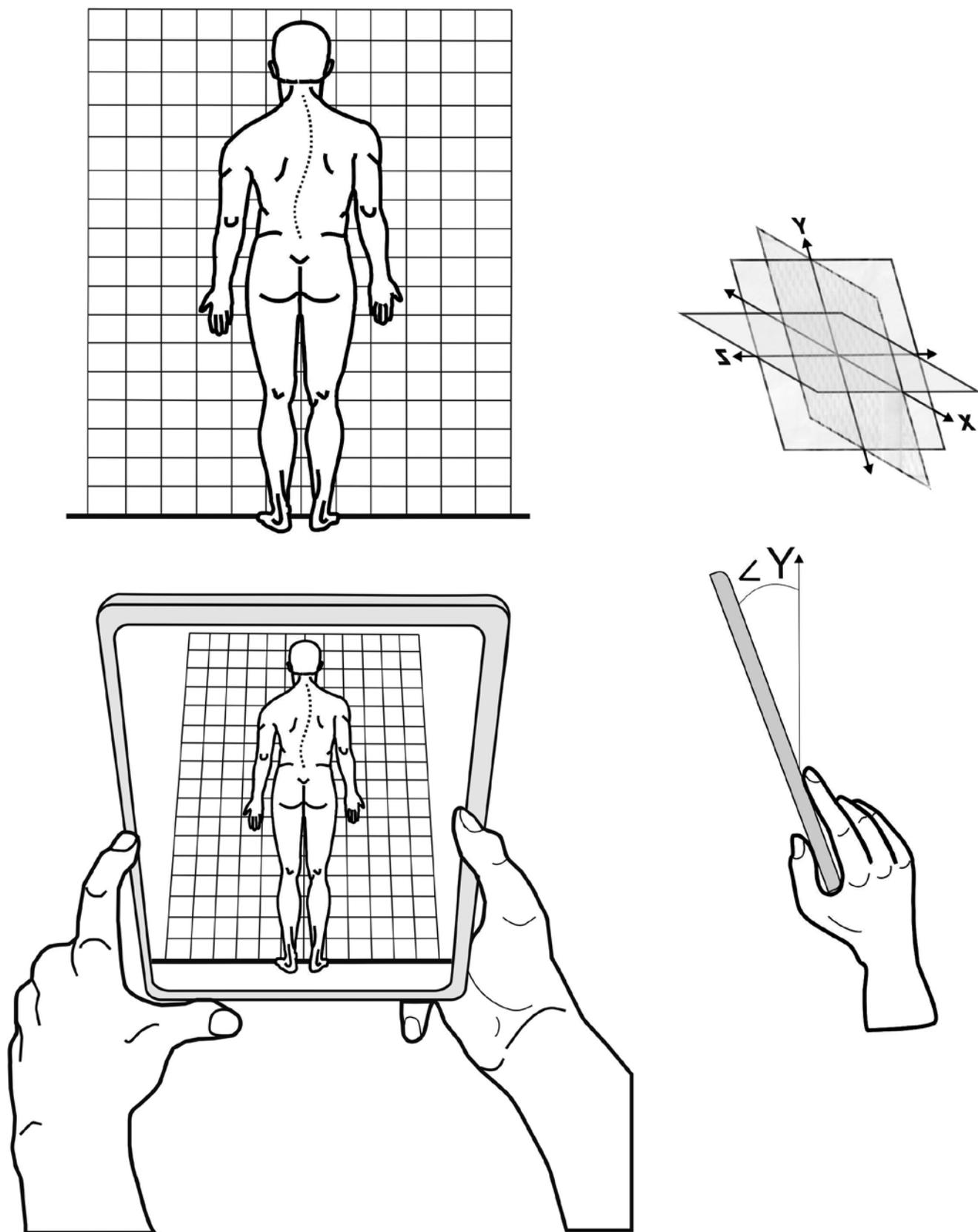


Рис. 8. Наклон фотокамеры мобильного устройства кзади (сагиттальная плоскость)
Fig. 8. Tilting the camera of the mobile device to the rear (sagittal plane)

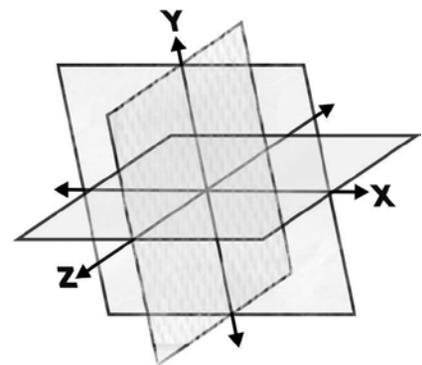
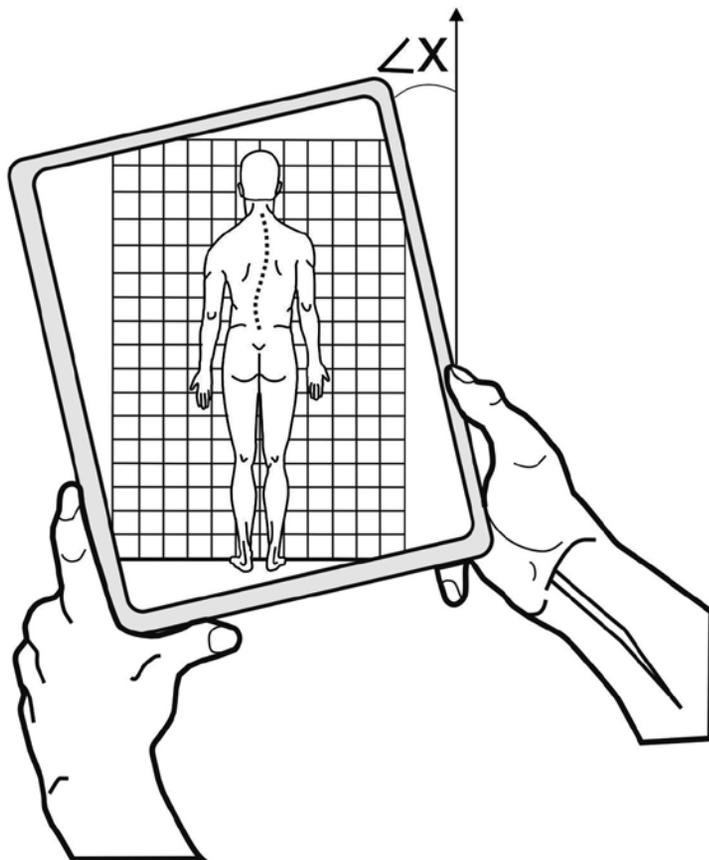
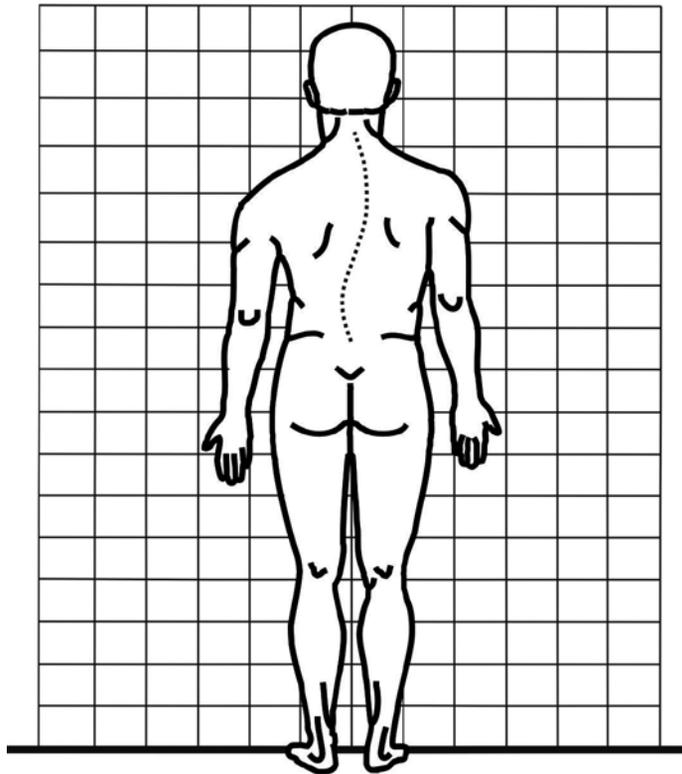


Рис. 9. Наклон фотокамеры мобильного устройства влево (фронтальная плоскость)
Fig. 9. Tilting the mobile device camera to the left (frontal plane)

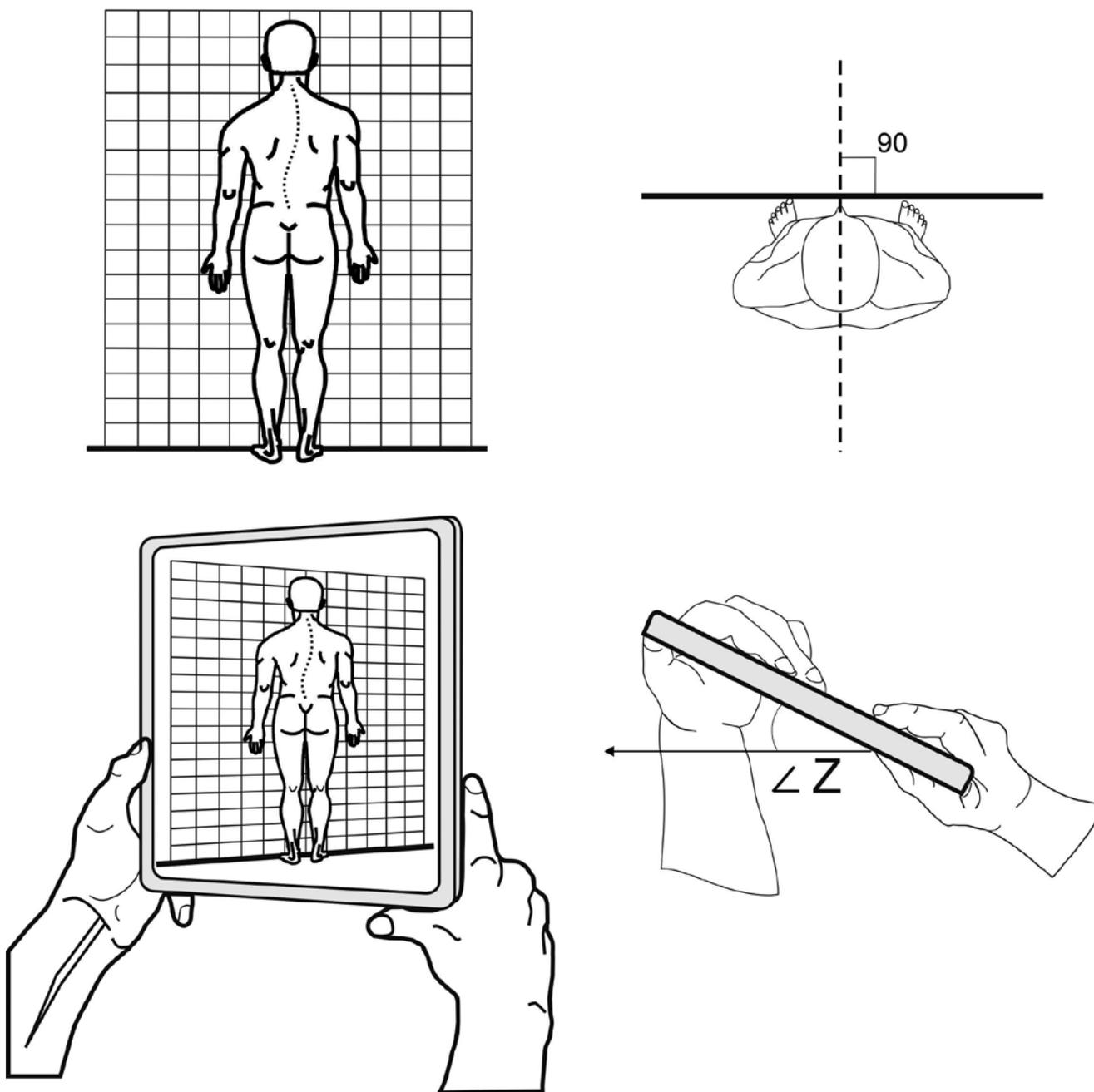


Рис. 10. Смещение фотокамеры мобильного устройства к плоскости диагностической сетки слева (горизонтальная плоскость)
Fig. 10. Offset of the mobile device camera to the diagnostic grid plane on the left (horizontal plane)

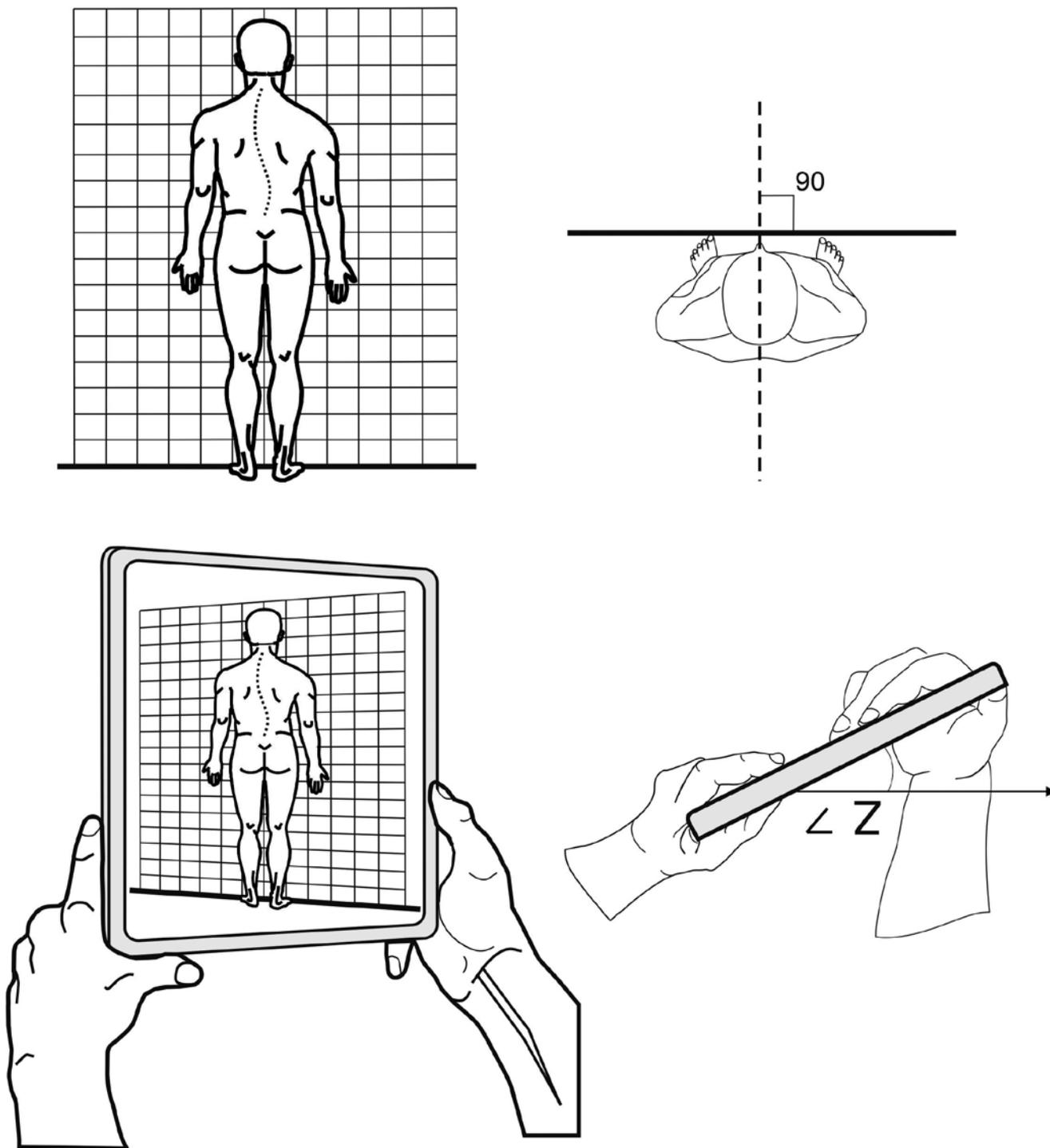


Рис. 11. Смещение фотокамеры мобильного устройства к плоскости диагностической сетки справа (горизонтальная плоскость)

Fig. 11. Offset of the mobile device camera to the plane of the diagnostic grid on the right side (horizontal plane)

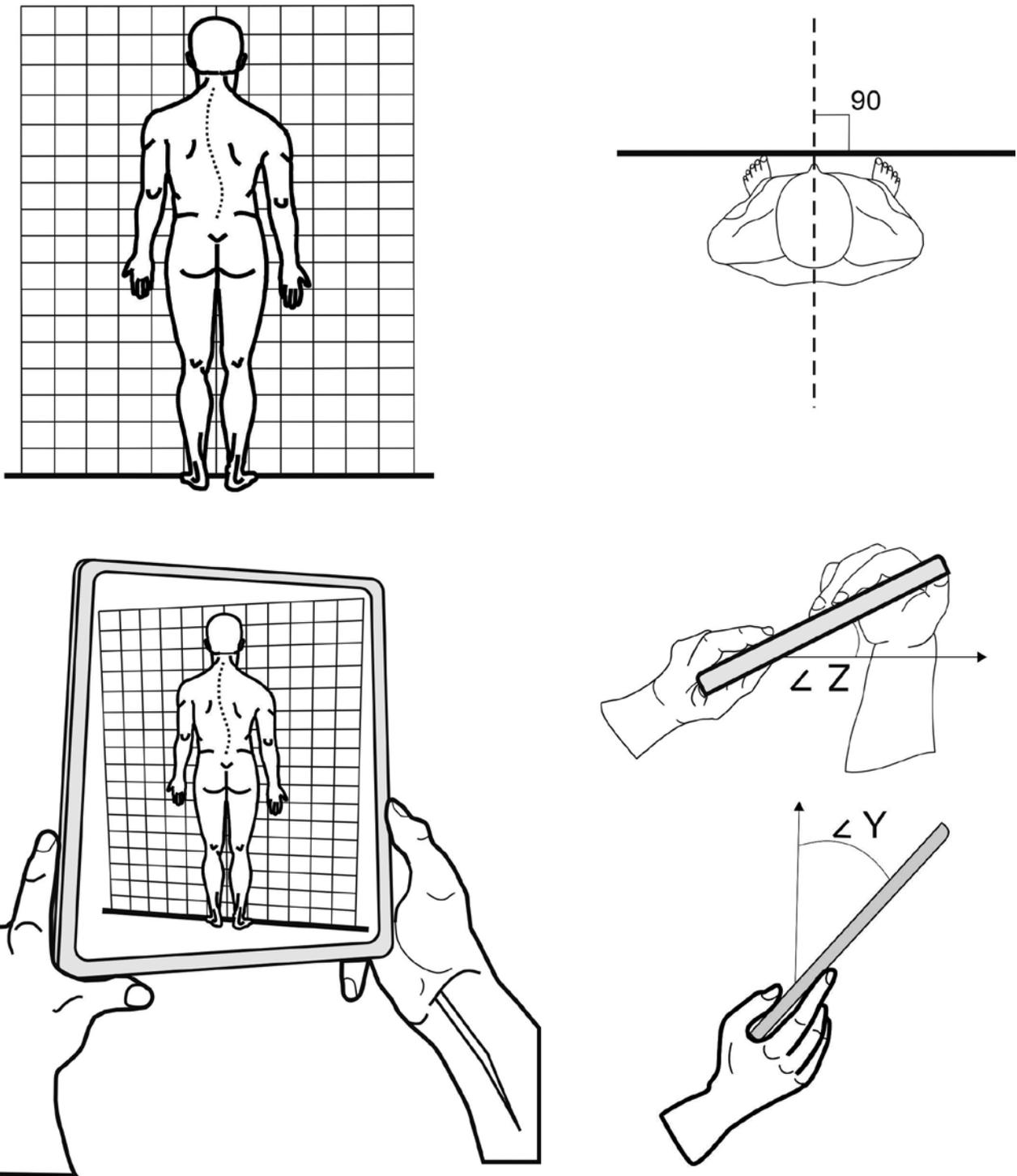


Рис. 12. Смещение фотокамеры мобильного устройства к плоскости диагностической сетки в двух плоскостях (в сагиттальной и горизонтальной плоскостях)

Fig. 12. Displacement of the mobile device camera to the plane of the diagnostic grid in two planes (sagittal and horizontal planes)

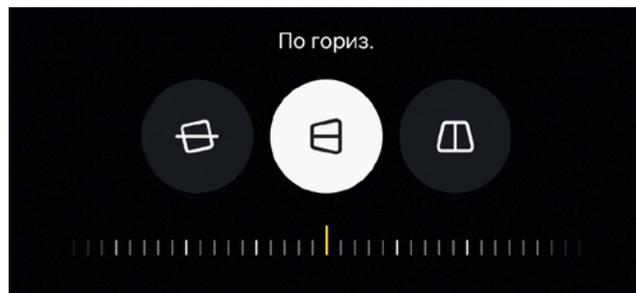


Рис. 13. Панель встроенного фоторедатора для выравнивания изображения в трех плоскостях

Fig. 13. Built-in photo editor panel for image alignment in three planes

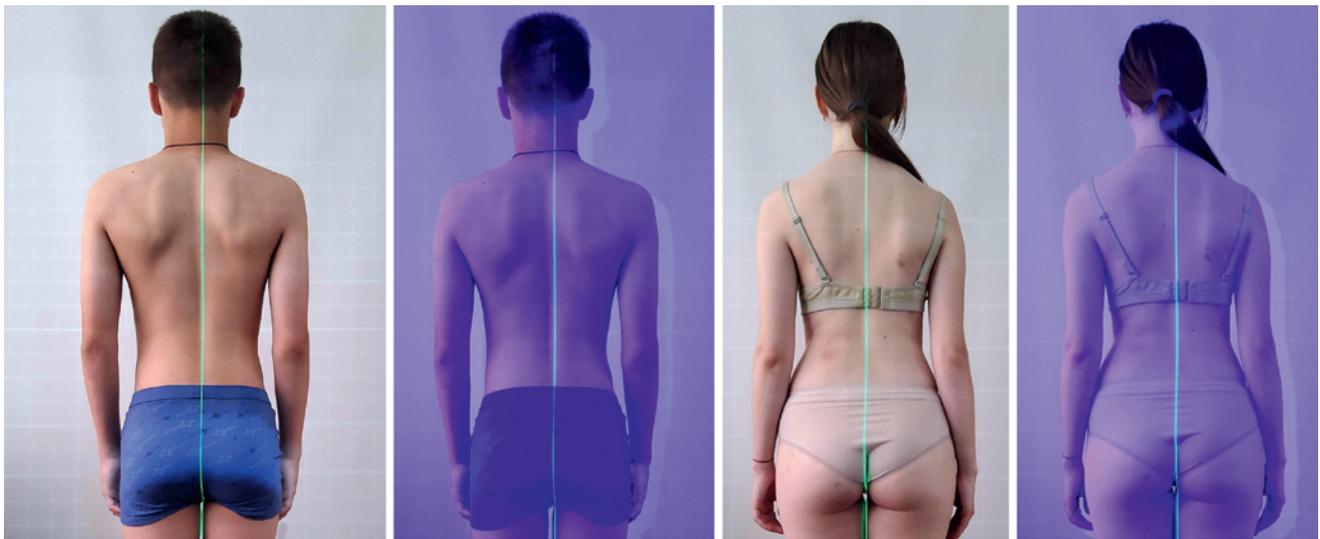


Рис. 14. Фотографии пациентов при дневном освещении (слева) и при освещении от светодиодной матрицы синего цвета (460 нм)

Fig. 14. Photographs of patients in daylight (left) and under illumination from a blue-colored LED array (460 nm)

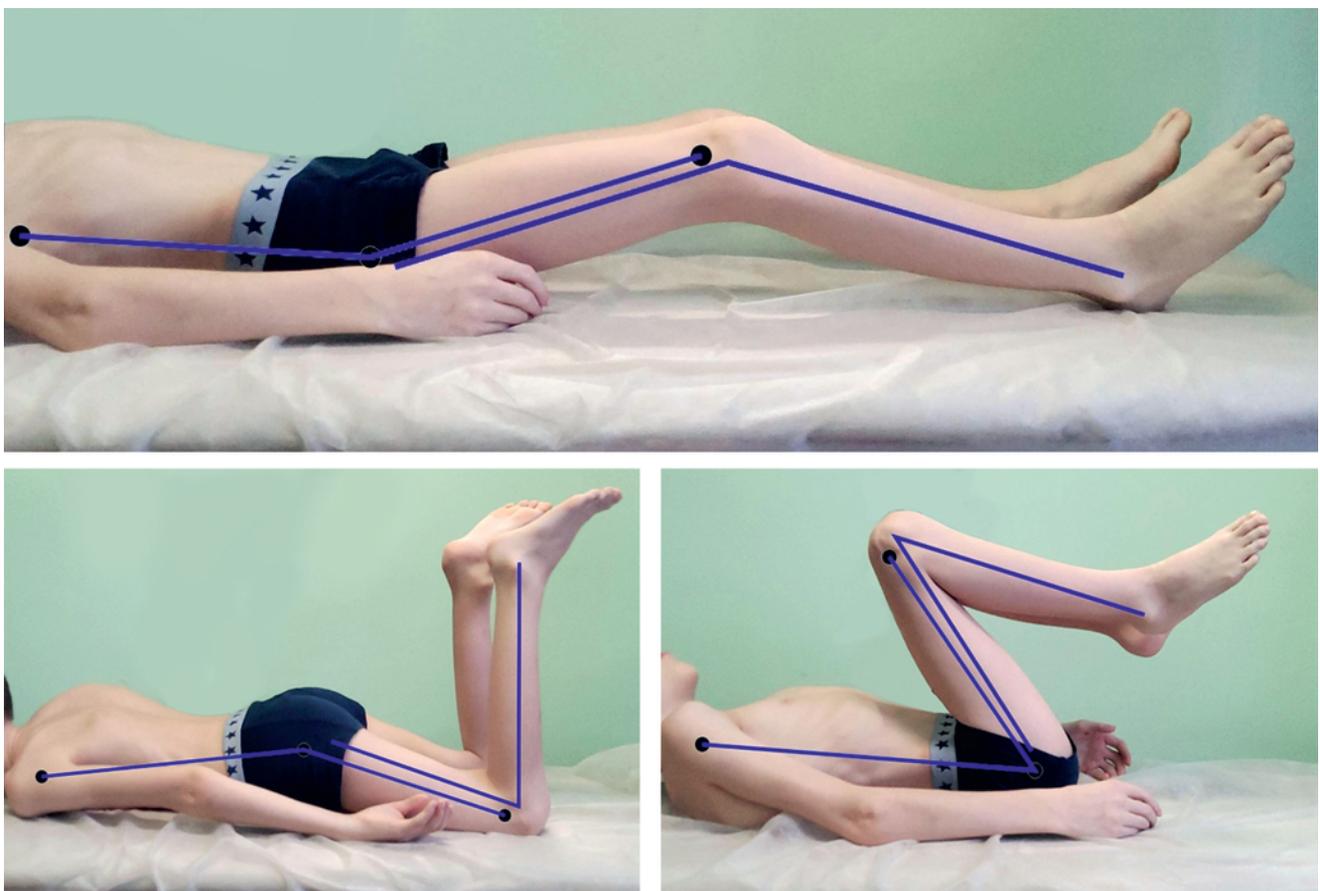


Рис.15. Пациент Г. 2012 г.р. Диагноз: артрогрипоз. Множественные контрактуры суставов. В положении лежа на спине при полном разгибании в коленных и тазобедренных суставах, в положении сгибания в коленных и тазобедренных суставах лежа на животе и спине

Fig. 15. Patient G. born in 2012. Diagnosis: arthrogryposis. Multiple joint contractures. In the supine position with full extension in the knee and hip joints, in the flexion position in the knee and hip joints lying on the stomach and back

Применение цифровой фототехники в травматологии и ортопедии имеет ряд особенностей, которые в свою очередь уже частично освещены в некоторых публикациях [19, 22, 23].

Сбалансированное применение мобильных фотографических устройств открывает перспективы, улучшающие условия работы врача и повышающие каче-

ство общения между врачом и пациентом. Наблюдение пациентов ортопедического профиля, как правило, осуществляется длительно, при этом фотографический контроль изменений должен выполняться регулярно с демонстрацией пациенту результатов исходных результатов и результатов лечения. Мобильные устройства обеспечивают моментальный доступ к базе данных

пациентов с их фотографиями, что удобно для быстрого сравнения фотографий предыдущих состояний пациента и текущего состояния.

Мы активно используем эту возможность для демонстрации динамики самим пациентам и их родственникам. Наглядная демонстрация положительных результатов лечения в доступной форме мотивирует как самих детей-пациентов, так и их родителей.

Оценка по панорамной фотографии ортопедического статуса пациента, несомненно, обладает преимуществом по сравнению с обычной визуальной оценкой глазом: фотография выполняется таким образом, что тело пациента находится в середине кадра (или в условиях, которые определил сам врач), при этом есть возможность последующего детального качественного/количественного анализа с минимизацией фактора субъективизма, связанного с положением самого врача и зачастую с недостатком времени [24].

При комплексном подходе к лечению пациента наличие фотографий пациента в мобильном доступе позволяет быстро согласовывать работу смежных специалистов (врачи лечебной физической культуры, протезисты, физиотерапевты, массажисты, педиатры).

Наш многолетний опыт применения стандартизированных подходов при выполнении фотографирования для оценки ортопедического статуса у школьников полностью оправдал свою необходимость и значимость.

Использование фотографии позволяет оперативно и наглядно видеть ортопедические особенности пациента, а также динамику изменений на протяжении периодов лечения и наблюдения в течение нескольких лет, позволяет соблюдать преемственность подходов и взглядов.

Наличие фотографий, выполненных в стандартизированных условиях, позволяет выполнять количественную оценку линейных и угловых показателей специальными (например, «Смарт-Орто 2D») или общедоступными (угломеры, программы для оценки длин объектов на фотографии) программными приложениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фотографирование пациентов на сегодня является доступным и оправданным методом диагностики и документирования, который следует использовать во всех случаях обращения пациентов с патологией опорно-двигательной системы.

Для получения объективной картины и возможности количественных измерений фотографирование пациента следует выполнять в стандартизированных условиях.

Выполнение 4 фотографий тела (фронтальный вид сзади и вид сбоку с захватом головы и ног полностью, а также тест Адамса спереди и сзади) в 95–98 % случаях позволяет диагностировать статические нарушения позвоночника и нижних конечностей даже на ранних стадиях.

При оценке функции конечности (амплитуды движений в суставах) или проведении функциональных проб (тесты Томайера, Маттиаса и т. д.) оправдано максимально полное документирование зоны обследования с захватом сопряженных сегментов.

При фотографировании пациента следует правильно ориентировать камеру устройства по трем плоскостям в пространстве. Для этого возможно использование программных решений либо фотографирование пациента на фоне эталонных прямоугольных объектов (в этом случае возможно дополнительное использование фоторедакторов).

Для улучшения восприятия и анализа фотографического изображения оправдано использовать вспомогательные инструменты и решения (программные приложения, лазерные уровни, разметка на теле пациента, контрастный фон без посторонних предметов, диагностические сетки, проекция на тело пациента видеоизображения с диагностической сеткой, равномерная неяркая подсветка для контрастирования асимметрий поверхности тела и т. д.).

Необходимо обеспечить равномерное, неяркое освещение от центра фотографируемой области. Для усиления создания полутеней и восприятия асимметрии поверхности тела возможно использовать неяркие источники, в том числе монохромный свет (зеленый, синий), с расположением источника в центре изображения.

Возможность масштабирования полученного изображения имеет важное значение, так как позволяет детализировать наблюдаемые изменения.

Следует стараться исключить из попадания в кадр мешающих предметов (распущенные волосы, лишняя одежда, предметы интерьера, украшения и т. д.).

Фотографирование пациента целесообразно выполнять так, чтобы анализируемая область тела занимала 80–95 % площади экрана. Предпочтительной диагональю экрана мобильного устройства для визуальной оценки будет диагональ не менее 8 дюймов (оптимально 11–12 дюймов для планшетов или более в случае использования стационарных мониторов).

На наш взгляд, перспективна интеграция фотографических изображений пациентов с видимой патологией опорно-двигательной системы в медицинские информационные системы с возможностью анализа изображений.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Василевич Сергей Викторович, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория «Торакальная ортопедия», Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии Минздрава России.

E-mail: svasilevich@mail.ru; ogonek@zdrav.spb.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6386-9913>

Вклад автора. Автор подтверждает свое авторство в соответствии с международными критериями ICMJE (автор внес единоличный вклад в концепцию, дизайн исследования и подготовку статьи, прочитал и одобрил окончательный вариант до публикации).

Информированное согласие. В исследовании не раскрывается сведений, позволяющих идентифицировать личность пациента(ов). Получено письменное информи-

рованное согласие пациентов (законных представителей) на использование данных и фотографий.

Источники финансирования. Исследование выполнено при поддержке гранта Фонда поддержки инноваций (2016–2017, 2019–2020).

Конфликт интересов. Автор является владельцем патентов, связанных с методами, описанными в исследовании. Автор участвовал в разработке программного обеспечения,

использованного в этом исследовании, коммерческого интереса в его распространении не имеет.

Доступ к данным. Автор подтверждает, что программное приложение, используемое для проведения исследования, доступно в свободном доступе по адресу <http://www.smart-ortho.ru/download/>. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Sergey V. Vasilevich, Ph.D. (Med.), Senior Researcher, Thoracic Orthopedics Research Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology.

E-mail: svasilevich@mail.ru; ogonek@zdrav.spb.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6386-9913>

Author Contribution. The author confirms his authorship according to the international ICMJE criteria (author contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Informed Consent for Publication. The study does not disclose information to identify the patient(s). Written consent

was obtained from all patients (legal representatives) for publication of all relevant medical information included in the manuscript.

Funding. The study was supported by the grant of Innovation Support Fund (2016–2017, 2019–2020).

Disclosure. The author is the owner of patents related to the methods described in the study. The author participated in the development of the software used in this study, and has no commercial interest in distributing it.

Data Access Statement. The author confirms that the software application used for research is freely available at <http://www.smart-ortho.ru/download/>. The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

- Halter U. Frühe Orthopädie in München um 1860. *Z Orthop Unfall*. 1999; 137(3): 284–287. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1037408> [Halter U. Early Orthopaedics in Munich around the Year 1860. *Journal for Orthopaedics and Trauma Surgery*. 1999; 137(3): 284–287. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1037408> (In Ger.)]
- Шанц А. Практическая ортопедия. Пер. с нем. А. Шенк. Москва: Государственное медицинское издательство. 1933; 564 с. [Shants A. Practical orthopedics. Trans. from German A. Schenk. Moscow: State Medical Publishing House. 1933; 564 p. (In Russ.)]
- Takasaki H. Moiré topography. *Appl. Opt.* 1973; 12(4): 845–850. <https://doi.org/10.1364/ao.12.000845>
- Цыкунов М.Б., Малахов О.А., Еремушкин М.А. и др. Способ оценки функционального состояния опорно-двигательной системы с использованием аппаратно-программного комплекса «СУПЕР М». Патент RU 2265395. 10.12.2005. [Tsykunov M.B., Malakhov O.A., Eremushkin M.A., et al. Method for evaluating functional state of locomotor system by means of hardware and software package. Patent RU 2265395. 10.12.2005 (In Russ.)]
- Solan M.C., Calder J.D., Gibbons C.E., et al. Photographic wound documentation after open fracture. *Injury*. 2001; 32(1): 33–35. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(00\)00124-8](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(00)00124-8)
- Smythe T., Nogaro M.-C., Clifton L.J., et al. Remote monitoring of clubfoot treatment with digital photographs in low resource settings: Is it accurate? *PLoS One*. 2020; 15(5): 0232878. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232878>
- Meislin M.A., Wagner E.R., Shin A.Y. A comparison of elbow range of motion measurements: Smartphone-based digital photography versus goniometric measurements. *J. Hand Surg Am.* 2016; 41(4): 510–515. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2016.01.006>
- Russo R.R., Burn M.B., Ismaili S.K., et al. Is digital photography an accurate and precise method for measuring range of motion of the shoulder and elbow? *J. Orthop. Sci.* 2018; 23(2): 310–315. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2017.11.016>
- Conti Mica M.A., Wagner E.R., Shin A.Y. Smartphone photography utilized to measure wrist range of motion. *J. Surg. Orthop. Adv.* 2018; 27(1): 52–57.
- Wagner E.R., Conti Mica M.A., Shin A.Y. Smartphone photography utilized to measure wrist range of motion. *J. Hand. Surg. Eur. Vol.* 2018; 43(2): 187–192. <https://doi.org/10.1177/1753193417729140>
- Bago J., Pizones J., Matamalas A., et al. Clinical photography in severe idiopathic scoliosis candidate for surgery: Is it a useful tool to differentiate among Lenke patterns? *Eur Spine J.* 2019; 28(12): 3018–3025. <https://doi.org/10.1007/s00586-019-06096-w>
- Иванов П.А., Неведров А.В., Каленский В.О. и др. К вопросу о подготовке иллюстраций в публикациях травматолого-ортопедического профиля. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2017; 1: 58–65. <https://doi.org/10.17816/vto201724158-65> [Ivanov P.A., Nevedrov A.V., Kalenskiy V.O., et al. On preparation of illustrations for scientific publications on traumatology and orthopaedics. *Vestnik travmatologii i ortopedii imeni N.N. Priorova*. 2017; 1: 58–65. <https://doi.org/10.17816/vto201724158-65> (In Russ.)]
- Galdino G.M., Swier P., Manson P.N., et al. Converting to digital photography: A model for a large group or academic practice. *Plast Reconstr Surg.* 2000; 106(1): 119–124. <https://doi.org/10.1097/00006534-200007000-00023>
- DiBernardo B.E. Standardized photographs in aesthetic surgery. *Plast Reconstr Surg.* 1991; 88(2): 373–374. <https://doi.org/10.1097/00006534-199108000-00053>
- DiBernardo B.E., Adams R.L., Krause J., et al. Photographic standards in plastic surgery. *Plast Reconstr Surg.* 1998; 102(2): 559–568. <https://doi.org/10.1097/00006534-199808000-00045>
- Uzun M., Bülbül M., Tokar S., et al. Medical photography: Principles for orthopedics. *J. Orthop. Surg. Res.* 2014; 9: 23. <https://doi.org/10.1186/1749-799x-9-23>
- Василевич С.В., Арсеньев А.В., Дудин М.Г. и др. Способ скрининговой диагностики сколиотической деформации. Патент RU 2638644. 14.12.2017. [Vasilevich S.V., Arsenev A.V., Dudin M.G., et al. Screening diagnostic technique for scoliotic deformation. Patent RU 2638644. 14.12.2017 (In Russ.)]
- Василевич С.В., Арсеньев А.В. Способ исследования для выявления признаков, характерных для сколиотической деформации. Патент RU 2745132. 22.03.2021. [Vasilevich S.V., Arsenev A.V. Research method for identification of signs characteristic for scoliotic deformation. Patent RU 2745132. 22.03.2021 (In Russ.)]

19. Арсеньев А.В., Балошин Ю.А., Василевич С.В. и др. Объективная оценка ортопедического статуса у пациентов с деформирующими дорсопатиями. Вестник восстановительной медицины. 2017; 4(80): 29–32. [Arsenev A.V., Baloshin U.A., Vasilevich S.V. et al. Objective assessment of orthopedic status in patients with deforming dorsopathies. Journal of Restorative Medicine and Rehabilitation. 2017; 4(80): 29–32 (In Russ.)]
20. Василевич С.В., Арсеньев А.В. Способ исследования для выявления признаков, характерных для сколиотической деформации. Патент RU 2745132. 22.03.2021. [Vasilevich S.V., Arsenev A.V. Research method for identification of signs characteristic for scoliotic deformation. Patent RU 2745132. 22.03.2021 (In Russ.)]
21. Василевич С.В. Способ диагностики опорно-двигательной системы. RU 2820980. 14.06.2024. [Vasilevich S.V. Diagnostic technique for locomotor system. RU 2820980. 14.06.2024 (In Russ.)]
22. Арсеньев А.В., Василевич С.В., Дудин М.Г. и др. Опыт и перспективы объективной оценки симптомов нарушения осанки с использованием мобильной техники. Научные труды VIII Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». Санкт-Петербург, 10–14 сентября 2018 года. Т. 8. СПб: ПЦ «Синтез». 2018; С. 163. [Arsenev A.V., Vasilevich S.V., Dudin M.G., et al. Experience and perspectives of objective evaluation of symptoms disorders of posture with the use of mobile technology. VIII International congress “Weak and ultra-weak fields and radiation in biology and medicine”. St. Petersburg, September 10–14, 2018. Vol. 8. St. Petersburg: “PC “Synthesis”. 2018; P. 163 (In Russ.)]
23. Василевич С.В., Арсеньев А.В. Пятилетний опыт использования новой методики ортопедической диагностики «SMART-ОРТО 2D» в условиях СПб ГБУЗ ВЦДОИТ «Огонек». Сборник статей Ежегодной научно-практической конференции, посвященной актуальным вопросам травматологии и ортопедии детского возраста «Турнеровские чтения». Санкт-Петербург, 8–9 октября 2020 г. СПб: Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера. 2020; С. 71–75. [Vasilevich S.V., Arsenev A.V. Five years of experience in using the new technique of orthopedic diagnostics “SMART ORTHO 2D” in the conditions of St. Petersburg State Medical University VTSDOIT Ogonek. A collection of articles of the Annual scientific and practical conference devoted to topical issues of traumatology and orthopedics of childhood “Turner readings”. St. Petersburg, October 8–9, 2020. St. Petersburg: G.I. Turner National Medical Research Center for Pediatric Traumatology and Orthopedics. 2020; P. 71–75 (In Russ.)]
24. Роджерс Б. Экспериментальные исследования осознаваемых и неосознаваемых процессов переработки информации в когнитивной психологии. Вестник Санкт-Петербургского университета. 2014; 16(4): 80–89. [Rogers B. Experimental studies of conscious and unconscious information processing processes in cognitive psychology. Bulletin of St. Petersburg University. 2014; 16(4): 80–89 (In Russ.)]

Влияние ишемического инсульта на зрительные функции: ретроспективное исследование

 Марфина Т.В.* ,  Кончугова Т.В.,  Апханова Т.В.,  Агасаров Л.Г.,
 Мухина А.А.,  Марченкова Л.А.

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

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. При формировании реабилитационных программ для пациентов, перенесших ишемический инсульт (ИИ), практически не учитываются нарушения зрения, вызванные острым нарушением мозгового кровообращения (ОНМК) несмотря на то, что это может существенно снижать качество жизни, общее функционирование таких пациентов и, как результат, ведет к снижению реабилитационного потенциала.

ЦЕЛЬ. Изучить распространенность и структуру зрительных нарушений у пациентов, проходивших медицинскую реабилитацию в восстановительный период ИИ на основании ретроспективного анализа историй болезни.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Проведен ретроспективный анализ 3457 историй болезни пациентов, перенесших ИИ и находившихся на 2-м этапе медицинской реабилитации в ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России, за 2021–2023 гг. Учитывались все анамнестические данные, возраст, пол, неврологический статус, данные компьютерной/магнитно-резонансной томографии головного мозга, осмотр врачом-офтальмологом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Было выявлено 1521 (43,9 %) пациентов с нарушениями зрения, связанными с перенесенным инсультом. Среди вновь выявленных нарушений зрения и глазодвигательных функций преобладали дефекты поля зрения у 686 (45,1 %) пациентов. Из них: гомономная гемианопсия — у 607 (88,5 %) пациентов, верхняя квадрантная — у 56 (8,2 %), нижняя квадрантная гемианопсия — у 23 (3,4 %). Наряду с этим было выявлено нарушение центрального зрения в виде снижения остроты зрения у 427 (28,1 %) пациентов, нарушение моторики глаз — у 577 (37,9 %), трудности с восприятием — у 228 (15,0 %). Наибольшая связь с нарушением периферического зрения выявлена при локализации ишемического очага в бассейне задней мозговой артерии (ОШ (отношение шансов) = 6,24; 95 % ДИ (доверительный интервал): 4,459–8,73; $p < 0,01$). Статистически значимой связи между наличием нарушений зрения и такими факторами, как пол, возраст и тяжесть состояния пациентов по принятому набору оценочных шкал не выявлено ($p > 0,05$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Анализ структуры вновь выявленных зрительных нарушений показал, что подобные нарушения достаточно распространены и среди них преобладают дефекты поля зрения. Для комплексной оценки необходимо использовать дополнительные инструменты, которые будут учитывать и вновь возникшие зрительные нарушения. Выявленные закономерности помогут определить диагностический алгоритм ведения пациентов после ОНМК и стратегию их зрительной реабилитации, которая должна быть направлена на коррекцию зрительных нарушений с первых дней поступления пациентов на медицинскую реабилитацию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инсульт, постинсультные нарушения зрения, поле зрения, гомономная гемианопсия

Для цитирования / For citation: Марфина Т.В., Кончугова Т.В., Апханова Т.В., Агасаров Л.Г., Мухина А.А., Марченкова Л.А. Влияние ишемического инсульта на зрительные функции: ретроспективное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(4):113–120. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-113-120> [Marfina T.V., Konchugova T.V., Apkhanova T.V., Agasarov L.G., Mukhina A.A., Marchenkova L.A. Impact of Ischaemic Stroke on Visual Function: a Retrospective Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):113–120. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-113-120> (In Russ.).]

* **Для корреспонденции:** Марфина Татьяна Владимировна, E-mail: marfinatv@nmicrk.ru

Статья получена: 30.04.2025
Статья принята к печати: 16.06.2025
Статья опубликована: 16.08.2025

Impact of Ischaemic Stroke on Visual Function: a Retrospective Study

 Tatyana V. Marfina*,  Tatiana V. Konchugova,  Tatiana V. Apkhanova,
 Lev G. Agasarov,  Anastasiya A. Mukhina,  Larisa A. Marchenkova

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

ABSTRACT

INTRODUCTION. The formation of rehabilitation programmes for patients who have suffered ischemic stroke (IS) practically does not take into account visual impairment caused by acute cerebral circulatory failure (ACCF), despite the fact that it can significantly reduce the quality of life, general functioning of such patients and, as a result, leading to a decrease in rehabilitation potential.

AIM. To study the prevalence and structure of visual impairments in patients undergoing medical rehabilitation during the recovery period of IS based on retrospective analysis of case histories.

MATERIALS AND METHODS. A retrospective analysis of 3457 case histories of patients who underwent a IS and were at the 2nd stage of medical rehabilitation in National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of the Russian Federation, for the period from 2021 to 2023 was carried out. All anamnestic data, age, gender, neurological status, brain computer/magnetic resonance imaging data, and examination by an ophthalmologist were taken into account.

RESULTS AND DISCUSSION. There were 1521 (43.9 %) patients identified with visual impairment associated with stroke. Among the newly detected visual and oculomotor disorders, visual field defects prevailed — in 686 (45.1 %). Of these: homonymous hemianopsia in 607 (88.5 %) patients, upper quadrant hemianopsia in 56 (8.2 %), and lower quadrant hemianopsia in 23 (3.4 %). Along with this, the following was revealed: central vision impairment in the form of reduced visual acuity — 427 (28.1 %), eye motor impairment — 577 (37.9 %), perceptual difficulties — 228 (15.0 %). The greatest association with peripheral vision impairment was found when the ischaemic focus was localised in the posterior cerebral artery basin (OR = 6.24; 95% CI: 4.459–8.73; $p < 0.01$). No statistically significant relationship between the presence of visual impairment and such factors as gender, age and severity of patients' condition according to the accepted set of evaluation scales was revealed ($p > 0.05$).

CONCLUSION. The analysis of the structure of newly detected visual disorders has shown that such disorders are quite common and visual field defects predominate among them. For a comprehensive assessment, it is necessary to use additional tools that will also take into account newly detected visual impairments. The revealed regularities will help to determine the diagnostic algorithm for the management of patients after ACCF and the strategy of their visual rehabilitation, which should be aimed at the correction of visual disturbances from the first days of patients' admission to medical rehabilitation.

KEYWORDS: stroke, postnatal visual impairment, visual field, homonymous hemianopsia

For citation: Marfina T.V., Konchugova T.V., Apkhanova T.V., Agasarov L.G., Mukhina A.A., Marchenkova L.A. Impact of Ischaemic Stroke on Visual Function: a Retrospective Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):113–120. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-113-120> (In Russ.).

* **For correspondence:** Tatyana V. Marfina, E-mail: marfinatv@nmicrk.ru

Received: 30.04.2025

Accepted: 16.06.2025

Published: 16.08.2025

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой восстановительной медицины и медицинской реабилитации является разработка оптимальных комплексных программ реабилитации для пациентов с социально значимыми заболеваниями, к которым относится острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК), в частности, ишемический инсульт (ИИ). На сегодня основными задачами медицинской реабилитации пациентов, перенесших ОНМК, в зависимости от категориального профиля Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья являются восстановление функций передвижения путем формирования правильного стереотипа ходьбы, улучшение навыков самообслуживания, нормализация психоэмоционального состояния, формирование мотивации к восстановлению, повышение толерантности к физическим нагрузкам¹. Локальные наруше-

ния функций головного мозга, в том числе зрительные, сопровождаемые характерными жалобами, возникают при нарушении кровообращения в зависимости от топографических особенностей кровоснабжения головного мозга. При формировании реабилитационных программ практически не учитываются нарушения зрения, вызванные ОНМК, несмотря на то, что это может существенно снижать качество жизни, общее функционирование таких пациентов вплоть до потери независимости, развития депрессии, может стать причиной низкой мотивационной составляющей всего восстановительного процесса и, как результат, снизить реабилитационный потенциал [1, 2]. По данным мультицентровых исследований по изучению распространенности зрительных нарушений у пациентов, перенесших инсульт, от 45 % до 65 % имеют выраженные зрительные нарушения в виде снижения остроты центрального зрения, ограничений подвижности глаз, нарушений зрительного восприятия, в том числе выпадение полей зрения [3, 4].

Nouh A. et al. были проанализированы многочисленные регистры инсультов для изучения характеристик

1 Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 31 июля 2020 г. № 778н «О Порядке организации медицинской реабилитации взрослых»

пациентов. При нарушении периферического зрения наиболее распространенными причинами инсульта явился патологический очаг, располагающийся в бассейне задних мозговых артерий (ЗМА). [5].

Именно в зонах кровоснабжения полушарных ветвей ЗМА с контралатеральной стороны при инфарктах мозга развивается гемианопсия [6]. В отсутствие вовлеченности затылочного полюса макулярное зрение остается сохранным. Дефект полей зрения может ограничиваться лишь одним квадрантом. Верхнеквадрантная гемианопсия возникает при инфаркте стриарной коры ниже шпорной борозды или нижней части зрительной лучистости в височно-затылочной области. Нижнеквадрантная гемианопсия — следствие поражения стриарной коры выше шпорной борозды или верхней части зрительной лучистости в теменно-затылочной области. Нарушения зрения развиваются не только после инфарктов в бассейне ЗМА, но и после инфарктов в зоне зрительной лучистости и вторичных корковых зрительных полей, которые не относятся к зоне кровоснабжения ЗМА [7]. В зависимости от размеров выпавших участков поля зрения гемианопсия бывает полной, частичной, квадрантной или в виде гемианопических скотом и может быть изолированным симптомом или сочетаться с другими очаговыми проявлениями. Характерным симптомом вертебрально-базилярной недостаточности является внезапное двустороннее ухудшение зрения, связанное с нарушением кровообращения в дистальном отделе основной артерии. При затылочных корковых поражениях центральное поле зрения обычно сохраняется, что отличает их от поражения зрительных трактов. Локализация патологических очагов в наружной поверхности затылочных долей головного мозга приводит не к слепоте, а к зрительной агнозии [8].

Целенаправленный подход к медицинской реабилитации пациентов, перенесших ИИ со зрительными нарушениями, позволит улучшить их социальную адаптацию, повысить возможности вернуться к повседневной бытовой и трудовой деятельности и улучшить качество жизни данной категории пациентов.

ЦЕЛЬ

Изучить распространенность и структуру зрительных нарушений у пациентов, проходивших медицинскую реабилитацию в восстановительный период ИИ на основании ретроспективного анализа историй болезни.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках исследования проведен ретроспективный анализ 3457 историй болезни пациентов, перенесших

ИИ и находившихся на 2-м этапе медицинской реабилитации в ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России, за 2021–2023 гг. Для анализа отбирались все случаи ИИ у лиц мужского и женского пола в возрасте 18 лет и более. Учитывались все анамнестические данные, возраст, пол, время от начала заболевания до госпитализации, неврологический статус, данные компьютерной/магнитно-резонансной томографии головного мозга. Все пациенты, предъявлявшие жалобы на изменение зрительных функций, были осмотрены врачом-офтальмологом для выявления постинсультных нарушений зрения.

Статистическая обработка результатов исследования осуществлялась в приложении Microsoft Statistica 10.0. Количественные данные описаны с применением методов описательной статистики и представлены средними значением (M) и стандартным отклонением (S) в случае нормального распределения и медианой (Me) и интерквартильным интервалом [Q25; Q75] — в случае распределения, отличного от нормального. Для оценки нормальности распределения данных использовался тест Шапиро — Уилка. Количественные данные, распределение которых не отвечает требованиям нормальности, сравнивались с помощью непараметрического *U*-теста Манна — Уитни. Связь между категориальными параметрами исследовалась с применением таблиц сопряженности (критерий χ^2). Степень связи между параметрами представлена в виде отношений шансов (ОШ) с 95 % доверительным интервалом (95% ДИ). Различия будут считаться статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате ретроспективного анализа 3457 историй болезней пациентов, прошедших 2-й этап медицинской реабилитации и перенесших ИИ, был выявлен 1521 (43,9 %) пациент с нарушениями зрения, связанными с перенесенным инсультом. Ранее приобретенная глазная патология была отмечена у 532 (34,9 %) пациентов, включенных в исследование, в том числе были отмечены катаракта, возрастная дегенерация желтого пятна, диабетическая ретинопатия, глаукома, миопическая дегенерация, амблиопия, дистрофия сетчатки.

Среди них установлено 882 (57,9 %) мужчины и 639 (42,1 %) женщин. Возраст на момент развития инсульта составил от 18 до 85 лет. Количество дней от развития инсульта до офтальмологического осмотра составило от 8 до 338 дней. Демографические данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Демографические данные

Table 1. Demographic data

Демографические данные / Demographic data	Мужчины / Men	Женщины / Women	Всего / Total
Число пациентов в исследовании / Number of patients in the study	882 (57,9 %)	639 (42,1 %)	1521 (100 %)
Возраст на момент инсульта (лет) / Age at the time of stroke (years)	65 [58; 71]	68 [57; 72]	66 [57; 71]
Количество дней от развития инсульта (дней) / Days from stroke development (days)	60 [26,5; 139,5]	72 [24,5; 154,5]	65 [26; 141]

Причиной ИИ у пациентов со зрительными нарушениями в 90 % (1369 больных) явилась артериальная гипертензия (гипертония) 3-й степени, 325 (23 %) пациентов страдали ишемической болезнью сердца, атеросклероз диагностировался у 473 (31,1 %), у 289 (19 %) сопутствующим заболеванием был сахарный диабет 2-го типа с развитием ангиопатии сетчатки, острый инфаркт миокарда был выявлен в анамнезе у 130 (8,5 %) пациентов. Структура сопутствующих заболеваний представлена на рисунке 1.

Среди вновь выявленных нарушений зрения и глазодвигательных функций, возникших в результате церебрального инсульта, преобладали дефекты поля зрения у 686 (45,1 %) пациентов. Из них гомономная гемианопсия была у 607 (88,5 %) пациентов, верхняя квадрантная — у 56 (8,2 %), нижняя квадрантная гемианопсия — у 23 (3,4 %). Показатели распространенности и структуры нарушений периферического зрения подтверждают наблюдения других авторов [9, 10].

Наряду с этим была выявлена следующая патология со стороны органа зрения: нарушение центрального зрения в виде снижения остроты зрения у 427 (28,1 %) пациентов, нарушение моторики глаз — у 577 (37,9 %), трудности с восприятием — у 228 (15,0 %). Структура вновь выявленных нарушений зрения представлена на рисунке 2.

Анализ таблиц сопряженности не показал статистически значимой связи между наличием нарушений

зрения и такими факторами, как пол ($\chi^2 = 1,219; p > 0,05$) и возраст ($\chi^2 = 4,745; p > 0,05$).

По данным компьютерной томографии и/или магнитно-резонансной томографии головного мозга, у 464 (30,5 %) пациентов имелись очаги ишемии в правом полушарии, у 1039 (68,3 %) — в левом полушарии головного мозга и в 18 случаях (1,2 %) — билатеральное поражение (рис. 3).

Установлено, что средняя мозговая артерия (СМА) — наиболее часто встречающаяся артерия, поражаемая

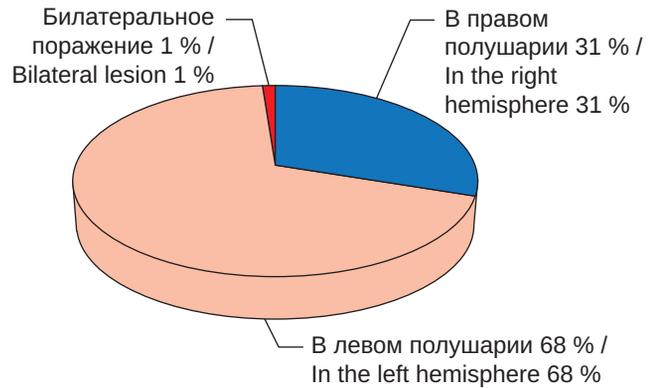


Рис. 3. Локализация очагов ишемии по полушариям головного мозга

Fig. 3. Localization of ischemia foci in the cerebral hemispheres

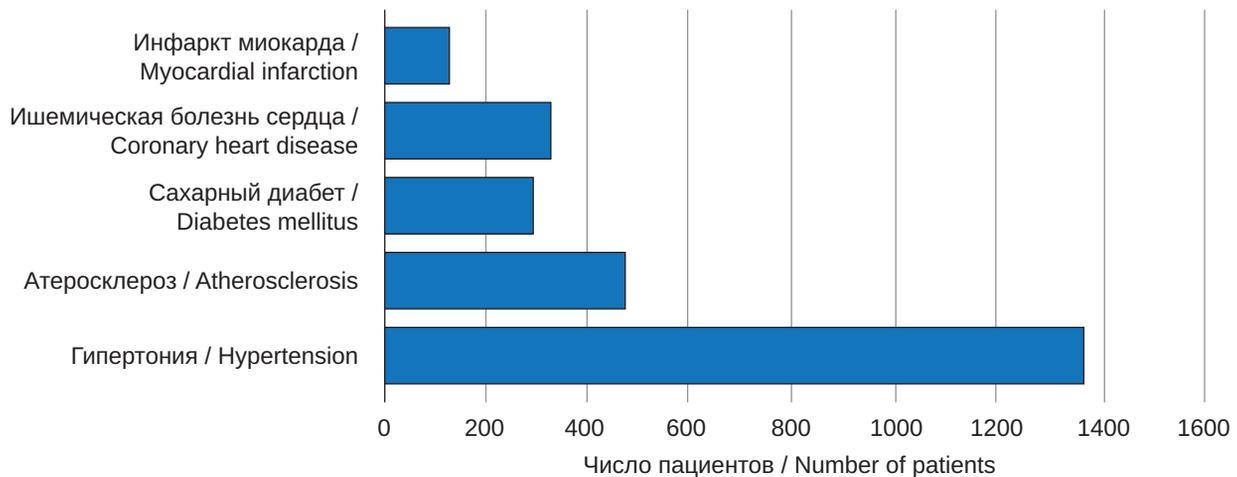


Рис. 1. Структура сопутствующих заболеваний

Fig. 1. The structure of concomitant diseases

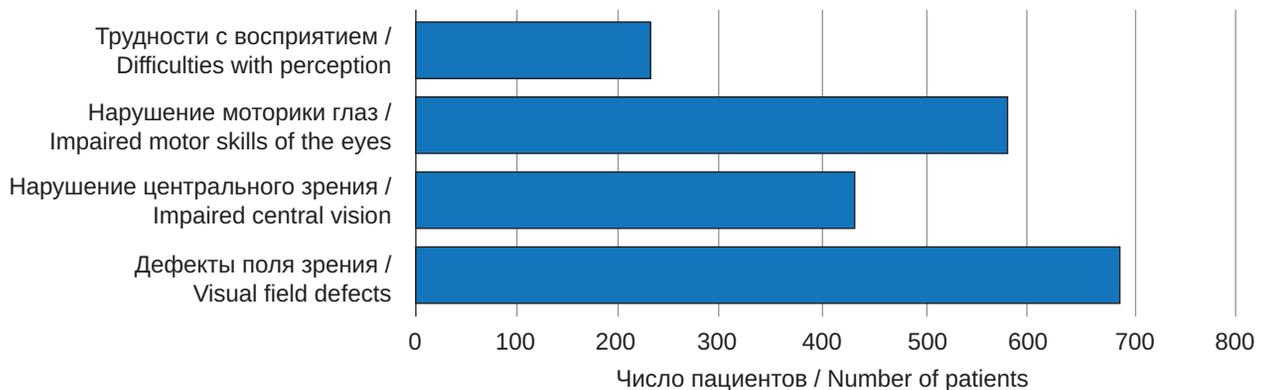


Рис. 2. Структура нарушений зрения

Fig. 2. The structure of visual impairments

при остром инсульте. Высокая частота встречаемости ИИ в бассейне СМА обусловлена не только ее анатомическими особенностями, но и тем, что эта артерия больше всего подвержена атеросклеротическим изменениям, приводящим к стенозам, окклюзии, нередко осложняющихся тромбозами [11, 12].

Это подтверждается и нашими данными: по результатам компьютерной томографии головного мозга у 988 (64,9 %) человек выявлены ишемические изменения в бассейне СМА. Наряду с этим у 238 пациентов (15,6 %) произошли нарушения в бассейне ЗМА, у 44 (2,9 %) — в бассейне внутренней сонной артерии (ВСА), у 251 (16,5 %) — в вертебробазилярном бассейне (ВББ). Структура локализации очага ишемии по сосудистым бассейнам представлена на таблице 2.

Некоторые авторы отмечают зрительные нарушения, как характерные и наиболее распространенные признаки ИИ в бассейне ЗМА. Так, Tharaldsen A. et al. в рамках многоцентрового проспективного исследования 2023 г. отмечают, что у 80 % обследованных пациентов с ОНМК в бассейне ЗМА были обнаружены дефекты полей зрения [13, 14].

Была исследована взаимосвязь между локализацией очага инсульта и наличием нарушения полей зрения. Пациенты с нарушением периферического зрения имеют следующую локализацию очага ишемии: 405 (40,9 %) — в бассейне СМА ($\chi^2 = 20,5$; ОШ = 0,614; 95% ДИ: 0,495–0,76; $p < 0,01$), 190 (79,8 %) — в бассейне ЗМА ($\chi^2 = 136$; ОШ = 6,24; 95% ДИ: 4,459–8,73; $p < 0,01$), 0 (0 %) — в бассейне ВСА, 91 (36,3 %) — в ВББ ($\chi^2 = 9,7$; ОШ = 0,641; 95% ДИ: 0,485–0,848; $p < 0,01$) (рис. 4).

Таким образом, шансы развития нарушений дефектов периферического зрения на фоне ИИ в 6,24 раза больше у пациентов с ОНМК в бассейне ЗМА, чем при других локализациях очага ишемии.

Зависимость тяжести состояния пациентов, перенесших инсульт, и наличия нарушения зрения проанализировали для четырех шкал (индекс мобильности Ривермид, модифицированная шкала Рэнкин, индекс Бартела и шкала инсульта национального института здоровья (NIHSS)) как при поступлении, так и после проведенной реабилитации. Однако статистически значимых результатов получено не было ($p > 0,05$) (табл. 3).

Таблица 2. Структура локализации очага ишемии по сосудистым бассейнам
Table 2. The structure of localization of the ischemia focus by vascular basins

Локализация / Localization	Пациенты с нарушением зрения / Patients with visual impairment (n = 1521)		Пациенты с нарушением периферического зрения / Patients with impaired peripheral vision (n = 686)		ОШ (95% ДИ)* / OR (95% CI)*
	Абс. число / Abs. number	Доля / Percent	Абс. число / Abs. number	Доля / Percent	
СМА / ACA	988	64,9 %	405	59,0 %	0,61 (0,50; 0,76)**
ЗМА / PCA	238	15,6 %	190	27,7 %	6,24 (4,46; 8,73)**
ВСА / ICA	44	2,9 %	0	0 %	—
ВББ / VB	251	16,5 %	91	13,3 %	0,64 (0,49; 0,85)**

Примечание: ОШ — отношение шансов; ДИ — доверительный интервал; * — отношение шансов с 95% ДИ; ** — $p < 0,01$ — статистически значимая разница (критерий χ^2); СМА — средняя мозговая артерия; ЗМА — задняя мозговая артерия; ВСА — внутренняя сонная артерия; ВББ — вертебробазилярный бассейн.

Note: OR — odds ratio; CI — confidence interval; * — is the odds ratio with a 95% CI; ** — $p < 0.01$ is a statistically significant difference (criterion χ^2); MCA — middle cerebral artery; PCA — posterior cerebral artery; ICA — internal carotid artery; VBB — vertebrobasilar basin.

Таблица 3. Зависимость наличия нарушения зрения и тяжести состояния пациентов, перенесших инсульт
Table 3. Dependence of visual impairment and severity of stroke patients

Шкала / The scale	При госпитализации / During hospitalization		После проведенной реабилитации / After the rehabilitation	
	с нарушениями зрения / visually impaired	без нарушений зрения / without visual impairment	с нарушениями зрения / visually impaired	без нарушений зрения / without visual impairment
Индекс мобильности Ривермид / Rivermead Mobility Index	8 [6; 9]	8,5 [5; 10]*	10 [8; 11]	11 [8; 12]*
Модифицированная шкала Рэнкина / Modified Rankin Scale	3 [3; 4]	3 [3; 3,25]*	2 [2; 3]	2 [2; 3]*

Шкала / The scale	При госпитализации / During hospitalization		После проведенной реабилитации / After the rehabilitation	
	с нарушениями зрения / visually impaired	без нарушений зрения / without visual impairment	с нарушениями зрения / visually impaired	без нарушений зрения / without visual impairment
Индекс Бартела / The Barthel Index	75 [60; 80]	75 [60; 80]*	82,5 [70; 90]	85 [75; 90]*
NIHSS	6,5 [5; 9]	6 [5; 9]*	5 [4; 7]	4 [4; 6]*

Примечание: * — $p > 0,05$ — статистически незначимая разница (U-тест Манна — Уитни).

Note: * — $p > 0.05$ — statistically insignificant difference (Mann — Whitney U-test).

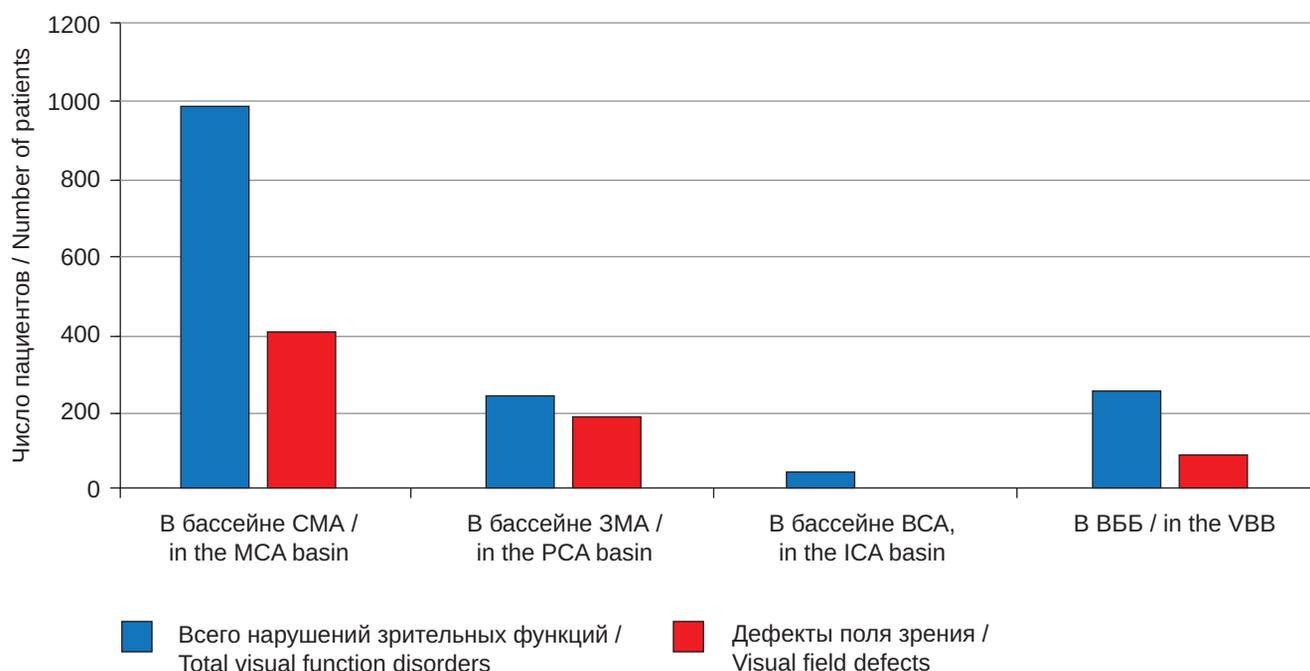


Рис. 4. Локализация очагов ишемии у пациентов с нарушением зрительных функций в целом и с дефектами полей зрения. (на оси Y указано число пациентов)

Fig. 4. Localization of ischemic foci in patients with visual impairment in general and with visual field defects. (the Y-axis shows the number of patients)

Примечание: СМА — средняя мозговая артерия; ЗМА — задняя мозговая артерия; ВСА — внутренняя сонная артерия; ВББ — вертебробазилярный бассейн.

Note: MCA — middle cerebral artery; PCA — posterior cerebral artery; ICA — internal carotid artery; VBB — vertebrobasilar basin.

Шкалы оценки тяжести состояния пациента в основном фокусируются на его двигательной активности и повседневной деятельности, но не охватывают проблем со зрением, активно влияющих на реабилитационный потенциал и качество жизни пациентов данной категории. Единственная шкала NIHSS включает тесты для оценки полей зрения и движений глаз. Однако ее итоговый результат не отражает зависимость наличия нарушения зрения и тяжести состояния пациентов, перенесших инсульт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ структуры вновь выявленных зрительных нарушений, возникших в результате ИИ, у пациентов, прошедших 2-й этап медицинской реабилитации, показал, что подобные нарушения достаточно распространены и среди них преобладают дефекты поля зрения с раз-

витием гомонимной гемианопсии и квадрантанопии, что составило 45 % от всех случаев дефицита зрения. Результаты проведенного ретроспективного анализа совпадают с выводами других исследователей [4, 10].

Обращает на себя внимание тот факт, что в большинстве случаев развития нарушения зрительных функций (75,1 %) до ИИ у пациентов не была диагностирована глазная патология, пациенты не предъявляли жалоб на зрение.

Статистический анализ не выявил статистически значимой связи между наличием нарушений зрения и тяжестью состояния пациентов, перенесших инсульт по принятому набору оценочных шкал. Для комплексной оценки необходимо использовать дополнительные инструменты, которые будут учитывать и вновь возникшие зрительные нарушения, определенным образом влияющие на реабилитационный процесс и, соответ-

ственно, на исход реабилитации и качество жизни пациентов.

Выявленные закономерности помогут определить диагностический алгоритм ведения пациентов после

ОНМК и стратегию их зрительной реабилитации, которая должна быть направлена на коррекцию зрительных нарушений с первых дней поступления пациентов на медицинскую реабилитацию.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Марфина Татьяна Владимировна, научный сотрудник отдела физиотерапии и рефлексотерапии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

E-mail: marfinatv@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2553-1946>

Кончугова Татьяна Венедиктовна, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела физиотерапии и рефлексотерапии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0991-8988>

Апханова Татьяна Валерьевна, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отдела физиотерапии и рефлексотерапии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-2050>

Агасаров Лев Георгиевич, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела физиотерапии и рефлексотерапии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5218-1163>

Мухина Анастасия Александровна, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник, отдел физиотерапии и рефлексотерапии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8960-4318>

Марченкова Лариса Александровна, доктор медицинских наук, доцент, руководитель научно-исследовательского управления, заведующий отделом 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 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: Марфина Т.В. — обеспечение материалов для исследования, верификация данных, написание черновика рукописи, проверка и редактирование рукописи; Кончугова Т.В. — научное обоснование, методология, проверка и редактирование рукописи; Апханова Т.В. — методология, обеспечение материалов для исследования; Агасаров Л.Г. — верификация данных, анализ данных; Мухина А.А. — обеспечение материалов для исследования, верификация данных; Марченкова Л.А. — проверка и редактирование рукописи, руководство проектом.

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

Конфликт интересов. Кончугова Т.В. — заместитель главного редактора журнала «Вестник восстановительной медицины», Апханова Т.В. — научный редактор журнала «Вестник восстановительной медицины», Агасаров Л.Г. — член редакционной коллегии журнала «Вестник восстановительной медицины», Марченкова Л.А. — председатель редакционного совета журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные авторы заявляют отсутствие конфликта интересов.

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.

Информированное согласие. В исследовании не раскрывается сведений, позволяющих идентифицировать личность пациента(ов). 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

Tatyana V. Marfina, Researcher, Department of Physiotherapy and Reflexotherapy, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

E-mail: marfinatv@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2553-1946>

Tatiana V. Konchugova, D.Sc. (Med.), Professor, Chief Researcher of the Department of Physiotherapy and Reflexotherapy, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0991-8988>

Tatiana V. Apkhanova, D.Sc. (Med.), Chief Researcher, Department of Physiotherapy and Reflexotherapy, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-2050>

Lev G. Agasarov, D.Sc. (Med.), Professor, Chief Researcher, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5218-1163>

Anastasiya A. Mukhina, Ph.D. (Med.), Leading Researcher, Department of Physiotherapy and Reflexology, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8960-4318>

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

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

Author Contributions. All authors confirm their authorship in accordance with the international criteria of the ICMJE (all authors have made significant contributions to the concept, design of the study and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Marfina T.V. — resources, validation, writing — original draft, writing — review & editing; Konchugova T.V. — conceptualization, methodology, writing — review & editing; Apkhanova T.V. — methodology, resources; Agasarov L.G. — validation, formal analysis; Mukhina A.A. — resources, validation; Marchenkova L.A. — writing — review & editing, project administration.

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, Apkhanova T.V. — Scientific Editor of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal,

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

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.

Informed Consent for Publication. The study does not disclose information to identify the patient(s). 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. Hashemi A., Hashemi H., Jamali A., et al. The association between visual impairment and mental disorders. *Sci Rep.* 2024; 14(1): 2301. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52389-6>
2. Dogra N., Redmond B.V., Lilley S., et al. Vision-related quality of life after unilateral occipital stroke. *Brain Behav.* 2024; 14: e3582. <https://doi.org/10.1002/brb3.3582>
3. Wijesundera C., Crewther S.G., Wijeratne T., Vingrys A.J. Vision and Visuomotor Performance Following Acute Ischemic Stroke. *Front Neurol.* 2022; 13: 757431. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.757431>
4. Rowe F., Hepworth L., Howard C. et al. Impact of visual impairment following stroke (IVIS study): a prospective clinical profile of central and peripheral visual deficits, eye movement abnormalities and visual perceptual deficits. *Disabil Rehabil.* 2022; 44(13): 3139–3153. <https://doi.org/10.1080/09638288.2020.1859631>
5. Nouh A., Remke J., Ruland S. Ischemic posterior circulation stroke: a review of anatomy, clinical presentations, diagnosis, and current management. *Front. Neurol.* 2014; 5: 30. <https://doi.org/10.3389/fneur.2014.00030>
6. Густов А.В., Сигрианский К.И., Столярова Ж.П. Практическая нейроофтальмология: В 2 т. Т. 1. 2-е издание. Н. Новгород: Издательство НГМА. 2003; 260 с. [Gustov A.V., Sigriansky K.I., Stolyarova Zh.P. Practical neuro-ophthalmology: In 2 volumes Vol. 1. 2nd edition. N. Novgorod: NGMA Publishing House. 2003; 260 p. (In Russ.)]
7. Осложнения и последствия инсультов. Диагностика и лечение ранних и поздних нарушений функции. Под ред.: Г.Я. Юнгехюльзинга, М. Эндерса. Пер с нем. под ред: Л.В. Стаховской. Москва: МЕДпресс-информ. 2017; 257 с. [Complications and consequences of strokes. Diagnosis and treatment of early and late functional disorders. Edited by: G.J. Jungehelsing, M. Enders. Translated from German. edited by L.V. Stakhovskaya. Moscow: MEDpress-inform. 2017; 257 p. (In Russ.)]
8. Ярцева Н.С., Деев Л.А., Гарилова Н.А. Избранные лекции по офтальмологии: в трех томах под ред. Х.П. Тахчиди. Москва: Микрохирургия глаза. 2008; 21 с. [Yartseva N.S., Deev L.A., Gavrilova N.A. Selected lectures on ophthalmology: in three volumes edited by H.P. Takhchidi. Moscow: Eye Microsurgery. 2008; 21 p. (In Russ.)]
9. Gilhotra J.S., Mitchell P., Healey P.R., et al. Homonymous visual field defects and stroke in an older population. *Stroke.* 2002; 33(10): 2417–2420. <https://doi.org/10.1161/01.str.0000037647.10414.d2>
10. Hyndman J., Whelan R., Graham B. Post Stroke Visual Impairment: Interdisciplinary Collaborative Program — Canadian Perspective. *J Binocul Vis Ocul Motil.* 2024; 74(1): 17–31.
11. Carvallo P., Carvallo E., Rivas R., et al. Middle Cerebral Artery Occlusion in Acute Ischaemic Cerebrovascular Attack. 2018; 3(1): 747–751. <https://doi.org/10.32457/IJMSS.2016.003>
12. Nogles T.E., Galuska M.A. Middle Cerebral Artery Stroke. *StatPearls.* 2023.
13. Tharaldsen A.R., Kurz K.D., Kurz M.W., et al. Volume and Visual Field Defects in Occipital Stroke: The NOR-OCCIP Study. *Acta Neurol. Scand.* 2023; 1–6. <https://doi.org/10.1155/2023/3564863>
14. Ng Y.S., Stein J., Salles S.S. et al. Clinical characteristics and rehabilitation outcomes of patients with posterior cerebral artery stroke. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2005; 86: 2138–43.

Биофункционализация альгинатного гидрогеля магнитными наночастицами: результаты экспериментального исследования

 Марков П.А.^{1,*},  Ерёмин П.С.¹,  Торлопов М.А.²,  Мартаков И.С.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. Применение гидроколлоидов и гидрогелей природного происхождения в качестве компонентов биомиметических материалов имеет существенное преимущество, поскольку такие биополимеры обладают высокой биосовместимостью. Вместе с тем масштабному внедрению природных гидрогелей в тканевую инженерию и практическую медицину препятствует сложность стандартизации структуры и химического состава этого класса биополимеров, а следовательно, трудности в прогнозировании клеточного ответа на гидрогелевые биоматериалы. Одним из способов решения данной проблемы может быть интеграция магнитных наночастиц в структуру гидрогелевых биоматериалов.

ЦЕЛЬ. Оценить влияние наночастиц магнетита (НМ) на биосовместимость и адгезию фибробластов к поверхности альгинатного гидрогеля.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для приготовления альгинатной гидрогелевой пленки использовали 2 % водный раствор альгината натрия. Для модификации биофункциональных свойств альгинатного гидрогеля использовали НМ, обработанные лимонной кислотой. Биосовместимость материалов оценивали методами световой и люминесцентной микроскопии с использованием флюоресцентных красителей (DAPI, Rhodamine) и набора для оценки метаболической активности клеток с использованием тетразолиевого красителя (МТТ-тест).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Установлено, что внесение в состав альгинатной пленки НМ сохраняет пролиферативную и метаболическую активность фибробластов. Через 48 часов инкубации количество клеток увеличивается с 30 ± 5 до 60 ± 7 шт./200 мкм², а метаболическая активность фибробластов составляет 93 % от контрольных значений. Поверхность гибридной пленки приобретает способность поддерживать адгезию и жизнеспособность фибробластов, количество клеток на поверхности гибридной пленки более чем в 10 раз превышает количество клеток, адгезированных на альгинатной пленке. Таким образом, НМ, модифицированные лимонной кислотой, можно использовать для регуляции функциональных клеточных реакций на гидрогелевые биоматериалы растительного происхождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Предложен новый способ биофункционализации альгинатного гидрогеля путем включения в его состав НМ. Интеграция НМ с природными гидрогелями и создание биоматериалов с контролируемыми структурно-механическими свойствами могут быть решением проблемы прогнозируемого клеточного ответа на гетерогенные по составу и структуре биополимеры.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: наночастицы магнетита, альгинат, биомиметические материалы, фибробласты, тканевая инженерия, регенеративная медицина, немедикаментозное лечение ран

Для цитирования / For citation: Марков П.А., Ерёмин П.С., Торлопов М.А., Мартаков И.С., Михайлов В.И. Биофункционализация альгинатного гидрогеля магнитными наночастицами: результаты экспериментального исследования. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(4):121–129. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-121-129> [Markov P.A., Eremin P.S., Torlopov M.A., Martakov I.S., Mikhailov V.I. Use of Magnetic Nanoparticles for Biofunctionalization of Alginate Hydrogel: Experimental Study Findings. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):121–129. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-121-129> (In Russ.).]

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

Статья получена: 20.05.2025
Статья принята к печати: 16.06.2025
Статья опубликована: 16.08.2025

Use of Magnetic Nanoparticles for Biofunctionalization of Alginate Hydrogel: Experimental Study Findings

 Pavel A. Markov^{1,*},  Petr S. Eremin¹,  Mikhail A. Torlopov²,  Ilia S. Martakov²,
 Vasily I. Mikhaylov²

¹ National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

² Institute of Chemistry, Federal Research Centre "Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences", Syktyvkar, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. The use of naturally occurring hydrocolloids and hydrogels as components of biomimetic materials has a significant advantage because such biopolymers are highly biocompatible. At the same time, the large-scale introduction of natural hydrogels in tissue engineering and practical medicine is hampered by the complexity of the structure standardization and chemical composition of this class of biopolymers, and, consequently, difficulties in predicting the cellular response to hydrogel biomaterials. One way to solve this problem may be the integration of magnetic nanoparticles into the structure of hydrogel biomaterials.

AIM. To evaluate the effect of magnetite nanoparticles on the biocompatibility and adhesion of fibroblasts to the surface of alginate hydrogel.

MATERIALS AND METHODS. A 2 % aqueous solution of sodium alginate was used to prepare the alginate hydrogel film. Magnetite nanoparticles treated with citric acid were used to modify the biofunctional properties of alginate hydrogel. Biocompatibility of materials was evaluated by light and luminescence microscopy using fluorescent dyes (DAPI, Rhodamine) and a kit for assessing metabolic activity of cell using a tetrazolium dye (MTT assay).

RESULTS AND DISCUSSION. It was found that the introduction of magnetite nanoparticles into the alginate film increases the biocompatibility of the hydrogel material. After 48 hours of incubation, the number of cells increases from 30 ± 5 to 60 ± 7 pcs/200 μm^2 , and the metabolic activity of fibroblasts is 93 % of the control values. The surface of the hybrid film acquires the ability to maintain the adhesion and viability of fibroblasts, the number of cells on the surface of the hybrid film is more than 10 times greater than the number of cells adhered to the alginate film. Thus, magnetite nanoparticles modified with citric acid can be used to regulate functional cellular responses to plant-derived hydrogel biomaterials.

CONCLUSION. A new method for the biofunctionalization of alginate hydrogel by including magnetite nanoparticles in its composition is proposed. The integration of magnetite nanoparticles with natural hydrogels and the creation of biomaterials with controlled structural and mechanical properties can be a solution to the problem of predictable cellular response to biopolymers heterogeneous in composition and structure.

KEYWORDS: magnetite nanoparticles, alginate, biomimetic materials, fibroblasts, tissue engineering, regenerative medicine, non-drug wound treatment

For citation: Markov P.A., Eremin P.S., Torlopov M.A., Martakov I.S., Mikhaylov V.I. Use of Magnetic Nanoparticles for Biofunctionalization of Alginate Hydrogel: Experimental Study Findings. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):121–129. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-121-129> (In Russ.).

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

Received: 20.05.2025

Accepted: 16.06.2025

Published: 16.08.2025

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время увеличивается потребность в новых терапевтических решениях, направленных на восстановление функций тканей, утраченных как в результате физиологических процессов, например, возрастная дегенерация, так и в результате травм и хирургического лечения [1, 2]. Традиционные методы и протоколы лечения с использованием лекарственных средств и хирургических манипуляций могут приводить к неблагоприятным последствиям для пациента, кроме того, при подборе тактики лечения необходимо учитывать соматическое состояние пациента из-за определенных противопоказаний в силу его возраста или общего состояния организма [3].

В связи с этим сохраняется актуальность поиска новых, в том числе немедикаментозных, методов лечения. Тканевая инженерия является одним из передовых подходов, позволяет восстановить функции ткани и ор-

ганов путем создания искусственных биологических структур (биомиметических материалов) для замещения и восстановления утраченных тканей. В качестве компонентов тканеинженерных конструкций используется комбинация из биосовместимых материалов, клеток и биологически активных молекул. Наиболее популярными полимерами для конструирования биомиметических материалов являются гидроколлоиды природного (альгинат, пектин, хитозан, коллаген и др.) и синтетического (производные метакрилата, гликолевой и акриловой кислот и др.) происхождения [4, 5].

Применение гидроколлоидов и гидрогелей природного происхождения в качестве компонентов биомиметических материалов имеет существенное преимущество, поскольку такие биополимеры обладают высокой биосовместимостью [6, 7]. Вместе с тем масштабному внедрению природных гидрогелей в тканевую инженерию и практическую медицину препятствует сложность

стандартизации структуры и химического состава этого класса биополимеров, а следовательно, трудности в прогнозировании клеточного ответа на гидрогелевые биоматериалы.

Хорошо известно, что от структурно-механических свойств биоматериалов, таких как твердость, упругость и шероховатость поверхности, зависят функциональные клеточные реакции [8–10]. Следовательно, изменяя структурно-механические свойства поверхности биоматериалов, можно регулировать и функциональный клеточный ответ, что может служить новым и эффективным методом в немедикаментозном лечении и профилактике заболеваний, связанных с нарушениями клеточных функций (фиброз, хронические раны и аутоиммунные кожные заболевания).

Для регуляции структурно-механических свойств гидрогелевых материалов используют различные методы от простых, как, например, варьирования концентраций компонентов и смешивания различных полимеров [8, 11] до применения сложных физико-химических методов сшивки и использования наночастиц металлов и их оксидов [12, 13].

Применение наночастиц металлов и их оксидов является одним из новейших методов модификации биофункциональных свойств гидрогелевых материалов [14–16]. Отдельно следует отметить применение в качестве модифицирующих агентов наночастиц, способных заданным образом управлять структурой гидрогелевых биоматериалов и функциональным клеточным ответом. Такими наночастицами являются оксиды железа — магнетит и маггемит, которые обладают высокой магнитной восприимчивостью и чувствительностью к внешнему электромагнитному полю. Прикладываемое внешнее магнитное поле заставляет НМ выстраиваться упорядоченным образом, а в случае с интеграцией НМ и гидрогелей это позволит создать упорядоченные микроструктуры на поверхности и регулировать как механические свойства, так и микроархитектуру поверхности [17].

Таким образом, интеграция НМ в структуру гидрогелевых биоматериалов является перспективным направлением исследований в области направленной биофункционализации материалов. Развитие данного направления позволит создать биоматериалы с контролируемыми структурно-механическими свойствами и прогнозируемым клеточным ответом.

ЦЕЛЬ

Оценить влияние НМ на биосовместимость и адгезию фибробластов к поверхности альгинатного гидрогеля.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

В работе использованы гидрогелевые пленки, предоставленные Институтом химии Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Сыктывкар, Россия.

Для приготовления альгинатной гидрогелевой пленки (ГАП) использовали 2 % водный раствор альгината натрия, полученный путем его растворения в нагретой до 70 °С воде. Для модификации биофункциональных свойств ГАП использовали НМ, обработанные лимон-

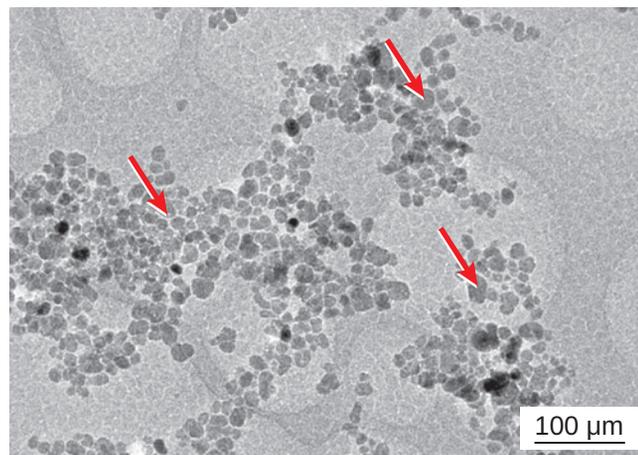


Рис. 1. Микрофотографии просвечивающей электронной микроскопии наночастиц магнетита, модифицированных лимонной кислотой. Размер шкалы 100 нм. Стрелками показаны наночастицы магнетита

Fig. 1. Transmission electron micrographs of magnetite nanoparticles modified with citric acid. Scale bar is 100 nm. Arrows indicate magnetite nanoparticles

ной кислотой. Синтез таких частиц проводили по разработанной авторами методике [18]. В результате были получены стабильные гидрозоли, состоящие из сферических частиц с диаметром до 20 нм (рис. 1).

Для приготовления гибридной гидрогелевой пленки, обогащенной НМ (ГАП-НМ), в горячий раствор альгината натрия при интенсивном перемешивании вносили НМ в виде гидрозоля из расчета 20 масс.% НМ от массы альгината натрия.

Полученный раствор альгината натрия и дисперсию альгината с НМ постепенно остужали до 40 °С и переливали в полистирольные чашки Петри. Полученные гелевые пленки сушили при 40 ± 1 °С в конвекционном сушильном шкафу до влажности 5 ± 2 %, после чего обрабатывали 8 масс.% водным раствором CaCl₂ и отмывали в дистиллированной воде от его избытка. Затем сшитые гели помещали на полипропиленовую поверхность и сушили при 40 ± 1 °С в конвекционном сушильном шкафу до достижения влажности 4 ± 1 %.

Исследования по оценке биофункциональных свойств гидрогелевых пленок проведено на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России (Москва, Россия). В исследовании использовали коммерческую культуру фибробластов кожи человека HdFb d281, приобретенную в Банке клеточных культур «Коллекция клеточных культур» Центра коллективного пользования Института биологии развития им. Н.К. Кольцова Российской академии наук.

Методы

При оценке биологических свойств материалов руководствовались положениями стандартов, изложенных в ГОСТ ISO 10993-5-2011 «Изделия медицинские: оценка биологического действия медицинских изделий. Исследования на цитотоксичность: методы *in vitro*».

Оценку пролиферативной активности проводили при совместной инкубации исследуемых образцов с фибробластами человека в течение 24 и 48 часов. Клеточную суспензию (1 мл), содержащую фибробласты

(5×10^4 шт./мл), вносили в лунки 12-луночного культурального планшета, инкубировали 60 минут в стандартных условиях для прикрепления клеток к поверхности лунок. Затем предварительно простерилизованные 30 % этиловым спиртом и УФ-облучением образцы ($\varnothing 10$ мм) помещали в лунки планшетов из расчета один образец на лунку, общее количество повторов для каждого образца — 7 шт. Инкубировали в стандартных условиях (37°C , 5 % CO_2). Количество и морфометрические характеристики фибробластов оценивали после окрашивания люминесцентными красителями 4',6-диамидино-2-фенилиндолом (DAPI) и Rhodamine B через 24 и 48 часов инкубации. Пролиферативную активность оценивали, подсчитывая количество клеток на 20 квадратах площадью 200 мкм^2 , используя для этого программное обеспечение Leica Application Suite (Leica Microsystems).

Оценку метаболической активности проводили при совместной инкубации исследуемых образцов с фибробластами человека в течение 24 часов. Клеточную суспензию (0,1 мл), содержащую фибробласты ($3,5\text{--}4,0 \times 10^4$ шт./мл), вносили в лунки 96-луночного культурального планшета, инкубировали 60 минут в стандартных условиях для прикрепления клеток к поверхности лунок. Затем предварительно простерилизованные образцы ($\varnothing 5$ мм) помещали в лунки планшетов из расчета один образец на лунку, общее количество повторов для каждого образца — 7 шт. Инкубировали в стандартных условиях (37°C , 5 % CO_2). Через сутки образцы извлекали, лунку промывали стерильным фосфатно-солевым буфером Дульбекко (DPBS) от дебриса, после чего вносили 0,1 мл раствора DPBS, содержащего 5 мг/мл 3-[4,5-диметилтиазол-2-ил]-2,5-дифенилтетразолий бромид (МТТ). Культуральные планшеты инкубировали в течение 5 часов в стандартных условиях. После этого раствор МТТ удаляли, и вносили 0,2 мл диметилсульфоксида, инкубировали 10 минут в темноте (37°C при перемешивании). Оптическую плотность раствора измеряли при 550 нм, используя для этого микропланшетный фотометр iMark (BioRad).

Оценку адгезивных свойств гидрогелевых биоматериалов оценивали по количеству фибробластов, прикрепившихся к поверхности образцов. Предваритель-

но простерилизованные образцы помещали в лунки 12-луночных планшетов из расчета один образец на лунку, общее количество повторов для каждого образца — 5 шт. Затем в лунки внесли 0,1 мл клеточной суспензии, содержащей фибробласты в количестве $3,5\text{--}4,0 \times 10^4$ шт./мл. Инкубировали в стандартных условиях (37°C , 5 % CO_2). Через 24 часа образцы извлекали и промывали от неадгезированных клеток DPBS. Затем образцы обрабатывали 4 % раствором параформальдегида, пермеабелизацию клеток проводили с использованием 0,1 % раствора Triton X-100. После промывания и высушивания при комнатной температуре на поверхность образцов последовательно наносили растворы люминесцентных красителей DAPI и Rhodamine B. Через 10 минут промывали DPBS и помещали на предметное стекло. С использованием световой и люминесцентной микроскопии оценивали количество и морфометрические характеристики фибробластов. Адгезию клеток оценивали, подсчитывая количество клеток на 20 квадратах площадью 200 мкм^2 , используя для этого программное обеспечение Leica Application Suite (Leica Microsystems).

Полученные данные были обработаны с использованием Microsoft Excel 2007. Данные представляли в виде среднего арифметического \pm стандартное отклонение. При сравнении выборочных средних, имеющих нормальное распределение, использовали *t*-критерий Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Типичное изображение поверхности пленок ГАП и ГАП-НМ представлены на рисунке 2. Пленки ГАП обладают шероховатой поверхностью с возвышающимися структурными элементами сферической и продолговатой формы размерами 1–2 мкм (рис. 2А). Пленка ГАП-НМ имеет плотную структуру и ровную поверхность, на которой явно выделяются агрегаты магнетита (рис. 2В).

На первом этапе исследования оценивали биосовместимость гидрогелевых пленок с фибробластами человека при их совместной инкубации. В контроле, через 24 часа культивирования, все фибробласты приобретают веретеновидную форму. Длина клеток

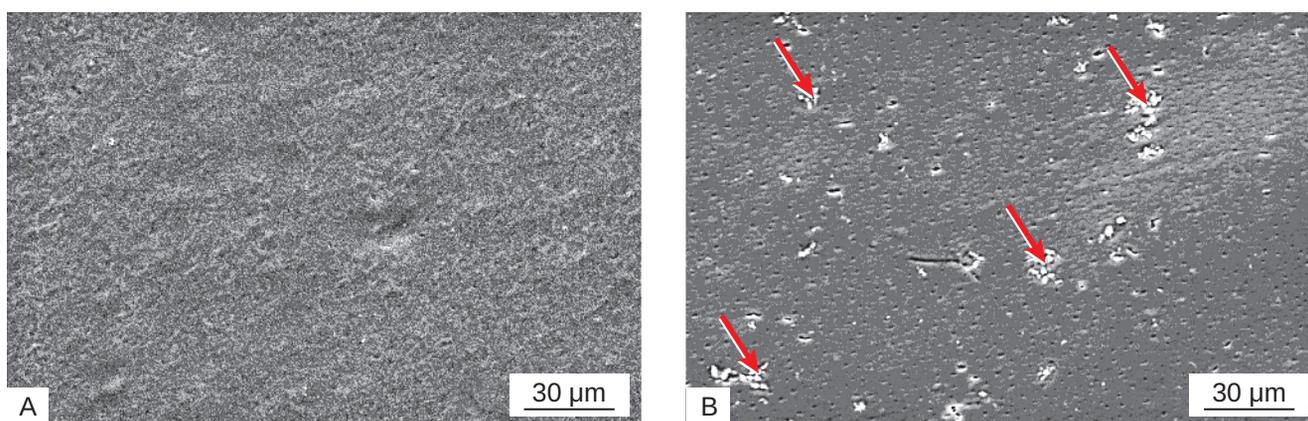


Рис. 2. Микрофотографии сканирующей электронной микроскопии поверхности альгинатной гидрогелевой пленки — ГАП (А) и альгинатной гидрогелевой пленки, обогащенной наночастицами магнетита — ГАП-НМ (В). Длина шкалы 30 мкм; стрелками обозначены агрегаты магнетита

Fig. 2. Scanning electron micrographs of the surface of alginate hydrogel film — AHF (A) and alginate hydrogel film enriched with magnetite nanoparticles — AHF-MN (B). Scale bar is 30 µm; arrows indicate magnetite aggregates

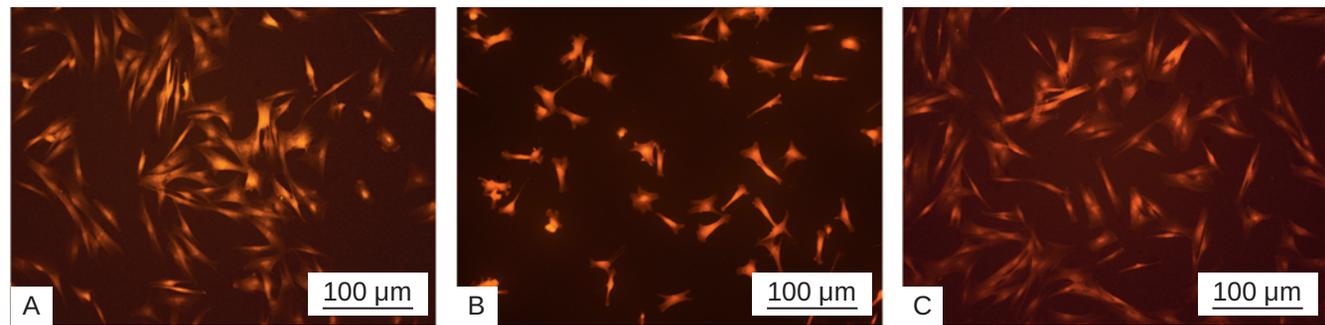


Рис. 3. Фибробласты человека через 24 часа совместного культивирования в стандартных условиях (А), при совместном культивировании с альгинатной гидрогелевой пленкой — ГАП (В) и с альгинатной гидрогелевой пленкой, обогащенной наночастицами магнетита — ГАП-НМ (С); увеличение $\times 100$, размер шкалы 100 мкм, окрашивание Rhodamine

Fig. 3. Human fibroblasts after 24 hours of co-culture under standard conditions (A), and during co-culture with alginate hydrogel film — AHF (B) and alginate hydrogel film enriched with magnetite nanoparticles — AHF-MN (C); magnification $\times 100$, scale bar 100 μm , Rhodamine staining

с учетом филоподий составляет 73 ± 16 мкм (рис. 3А, 4). Установлено, что внесение в культуральную среду ГАП замедляет рост фибробластов, длина клеток составляет 48 ± 6 мкм, что на 35 % меньше контрольных значений (рис. 3В, 4). При инкубации фибробластов с ГАП-НМ существенных различий с контрольными значениями не выявлено, размеры фибробластов сопоставимы с контролем и составляют 81 ± 15 мкм (рис. 3С, 4).

Как правило, задержка в трансформации клеток указывает на задержку пролиферативной активности клеток. Поэтому на следующем этапе исследования оценивали пролиферативную активность фибробластов при совместном культивировании с гидрогелевыми пленками в течение 48 часов.

В контрольной группе количество фибробластов через 48 часов культивирования составляет 65 ± 7 шт./200 мкм² (рис. 5). Полученные результаты указывают, что клетки, используемые в исследовании, обладают нормальной пролиферативной активностью.

Установлено, что внесение в культуральную среду ГАП замедляет пролиферативную активность фибробластов, через 48 часов совместной инкубации количество клеток не увеличивается и составляет 47 ± 7 шт./200 мкм² (рис. 5). При инкубации фибробластов с ГАП-НМ существенных различий с контрольными значениями не выявлено, пролиферативная активность клеток сопоставима с контролем (рис. 5).

Результаты морфометрической характеристики клеточных реакций на исследуемые материалы согласуются с результатами оценки метаболической активности клеток с использованием МТТ-теста. Установлено, что через 48 часов совместной инкубации фибробластов с образцами ГАП метаболическая активность клеток на 30–40 % ниже контрольных значений (рис. 6). При инкубации с ГАП-НМ метаболическая активность клеток сопоставима с контролем (рис. 6).

На следующем этапе исследования оценивали адгезию фибробластов к поверхности гидрогелевых пленок. Поскольку идентификация клеток на поверхности гидрогелевых пленок методом световой микроскопии затруднена из-за наличия значительного количества артефактов, проводили окрашивание с использованием двух флуоресцентных красителей: Rhodamine, окра-

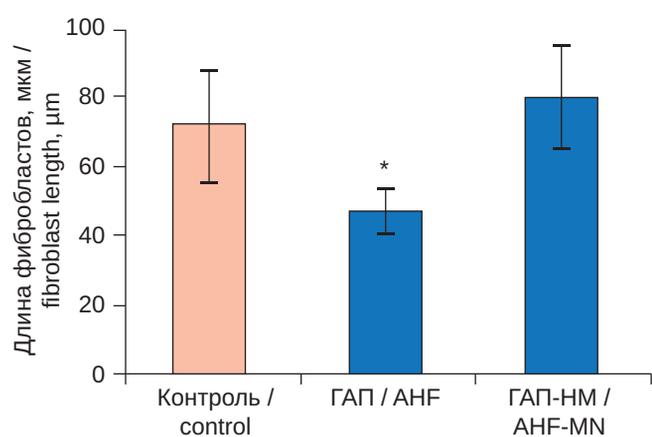


Рис. 4. Длина фибробластов человека через 24 часа совместного культивирования с альгинатными гидрогелевыми пленками — ГАП и альгинатными гидрогелевыми пленками, обогащенными наночастицами магнетита — ГАП-НМ. Данные представлены в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения, количество образцов в каждой группе — 7; * — по сравнению с контролем при $p < 0,05$.

Fig. 4. Human fibroblasts length after 24 hours of co-cultivation with alginate hydrogel films — AHF and alginate hydrogel films enriched with magnetite nanoparticles — AHF-MN. Data are presented as arithmetic mean and standard deviation, number of samples in each group — 7; * — compared to control at $p < 0.05$

шивающим белки, и DAPI, окрашивающим нуклеиновые кислоты. За клетки принимались объекты, окрашиваемые одновременно как Rhodamine, так и DAPI.

Оценка адгезии фибробластов к поверхности ГАП показала, что через 24 часов после внесения клеточной суспензии количество адгезированных фибробластов составляет менее 5 клеток на 200 мкм², клетки имеют вытянутую форму, без видимых филоподий (рис. 7А, В). На поверхности ГАП-НМ фибробласты присутствуют преимущественно в виде конгломератов клеток (на рисунке выделены красными стрелками). Количество клеток в таких колониях варьируется от 10–15 до 50–70 шт. (рис. 7С, D). Полученные результаты указывают, что ГАП-НМ приобретает способность поддерживать адгезию и жизнеспособность фибробластов.

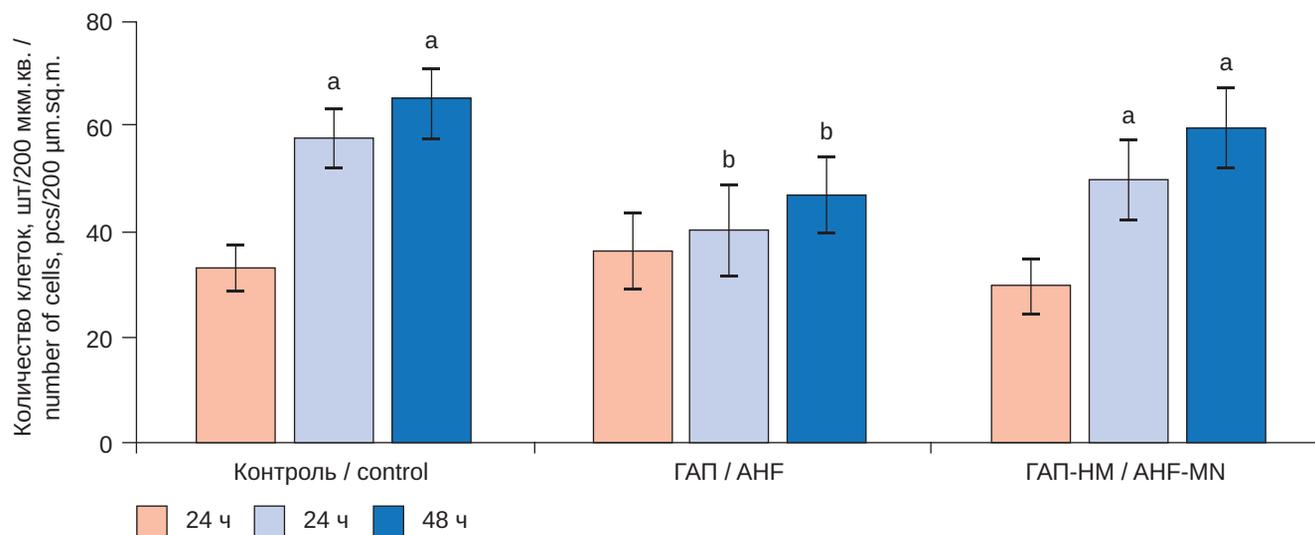


Рис. 5. Проллиферативная активность фибробластов при совместной инкубации с альгинатными гидрогелевыми пленками — ГАП и альгинатными гидрогелевыми пленками, обогащенными наночастицами магнетита — ГАП-НМ. Данные представлены в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения, количество образцов в каждой группе — 7; а — по сравнению с начальной точкой той же группы при $p < 0,05$; b — по сравнению с контролем при $p < 0,05$

Fig. 5. Proliferative activity of fibroblasts during co-incubation with alginate hydrogel films – AHF and alginate hydrogel films enriched with magnetite nanoparticles — AHF-MN. Data are presented as arithmetic mean and standard deviation, number of samples in each group — 7; a — compared to the starting point of the same group at $p < 0.05$; b — compared to the control at $p < 0.05$

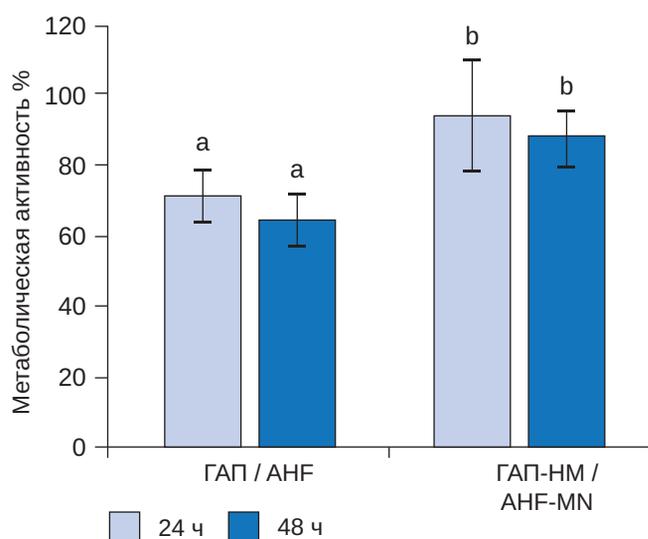


Рис. 6. Метаболическая активность фибробластов человека через 24 и 48 часов совместного культивирования альгинатными гидрогелевыми пленками — ГАП и альгинатными гидрогелевыми пленками, обогащенными наночастицами магнетита — ГАП-НМ. Данные представлены в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения, количество образцов в каждой группе — 7; а — по сравнению с контролем, принятым за 100 % ($p < 0,05$), b — по сравнению с ГАП при $p < 0,05$

Fig. 6. Metabolic activity of human fibroblasts after 24 and 48 hours of co-cultivation with alginate hydrogel films — AHF and alginate hydrogel films enriched with magnetite nanoparticles — AHF-MN. Data are presented as the arithmetic mean and standard deviation, the number of samples in each group is 7; a — compared to the control taken as 100 % ($p < 0.05$), b — compared to AHF at $p < 0.05$

Таким образом, в проведенном исследовании установлено, что внесение в состав альгинатной пленки НМ повышает биосовместимость гидрогелевого материала. Поверхность гибридной пленки приобретает способность поддерживать адгезию и жизнеспособность фибробластов.

В проведенном исследовании оценивалась способность НМ модифицировать биофункциональные свойства поверхности альгинатной гидрогелевой пленки. НМ были получены ранее описанным способом и представляют собой наночастицы оксида железа (Fe_3O_4), покрытые лимонной кислотой, что повышает их биосовместимость [18] и тем самым расширяет области их применения, в том числе для нужд тканевой инженерии.

Традиционно в медицине НМ применяются для улучшения визуализации раковых опухолей при лучевой диагностике с использованием позитронно-эмиссионной и магнитно-резонансной томографии [19, 20]. Кроме того, НМ нашли свое применение в гипертермической терапии раковых опухолей и в качестве носителя в системах адресной доставки лекарственных средств [21, 22].

Применение НМ в качестве самостоятельных биологически активных агентов ограничивается их цитотоксичностью [21]. В связи с этим модификация поверхности НМ лимонной кислотой может быть эффективным способом решения проблемы, поскольку позволяет повысить их биосовместимость [18].

Применение НМ для модификации свойств гидрогелей является сравнительно новым подходом в направленной биофункционализации свойств поверхности биоматериалов. При этом следует отметить, что в большинстве проводимых исследований в качестве матрицы для НМ используются биополимеры, уже обладающие низкой цитотоксичностью и хорошими адгезивными свойствами в отношении клеток человека, такие как хитозан [23], фибрин [24], желатин и их композиции [25].

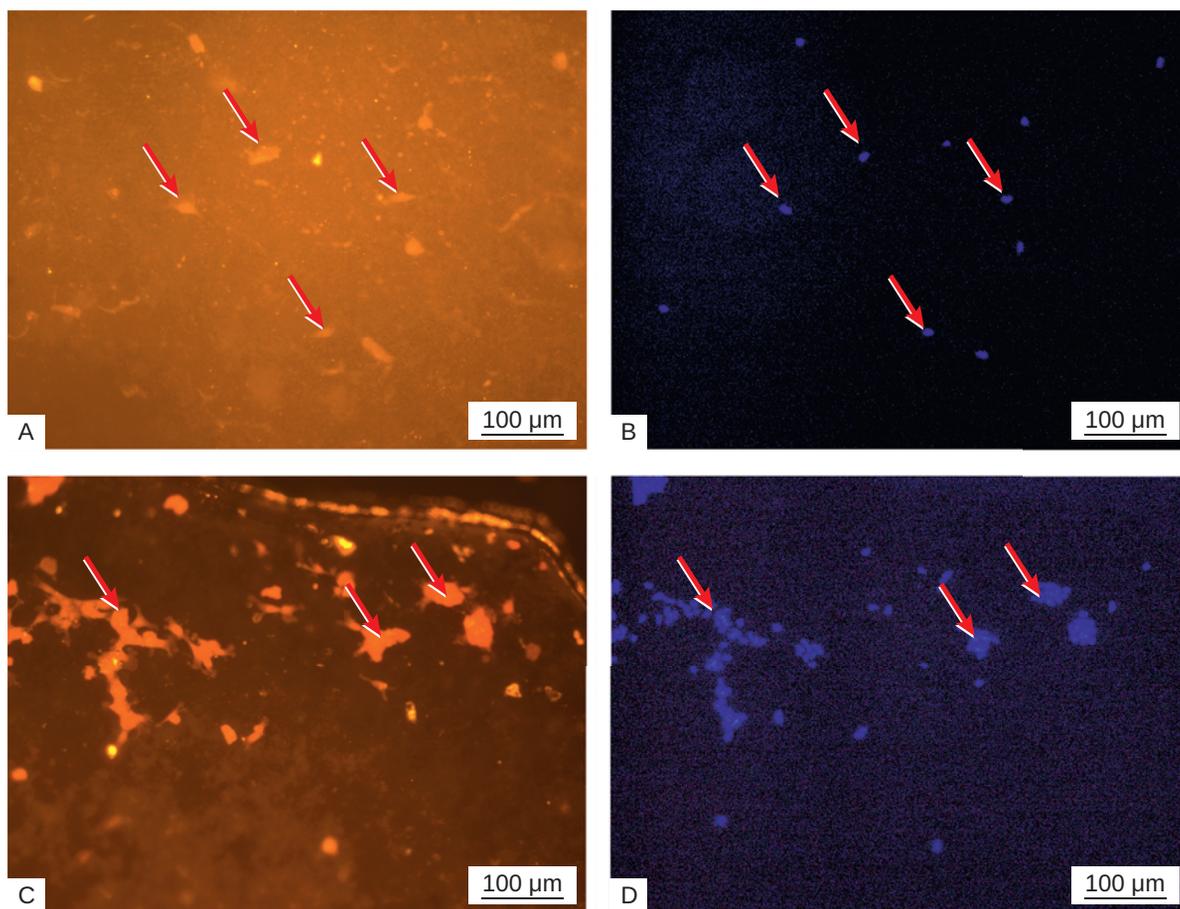


Рис. 7. Фибробласты человека на поверхности альгинатной гидрогелевой пленки — ГАП (A, B) и альгинатной гидрогелевой пленки, обогащенной наночастицами магнетита — ГАП-НМ (C, D); увеличение $\times 100$, размер шкалы 100 мкм, окрашивание Rhodamine и DAPI

Fig. 7. Human fibroblasts on the surface of alginate hydrogel film — AHF (A, B) and alginate hydrogel film enriched with magnetite nanoparticles — AHF-MN (C, D); magnification $\times 100$, scale bar 100 μm , stained with Rhodamine and DAPI

Примечание: красными стрелками показаны клетки и их конгломераты.

Note: red arrows indicate cells and their conglomerates.

Однако с точки зрения медико-биологического применения использование композитных материалов из полимеров животного происхождения не всегда безопасно, поскольку может вызывать чрезмерную активацию иммунновоспалительных реакций и отторжение трансплантата [26, 27].

В проведенном исследовании в качестве матрицы для НМ использовали альгинатный гидрогель. Применение гидрогелевых биоматериалов на основе растительных полисахаридов вызывает менее интенсивный провоспалительный ответ, а также позволяет контролировать функциональную активность макрофагов и нейтрофилов — клеток, регулирующих воспалительно-репаративные процессы [28, 29].

Гидрогели на основе альгината и других полианионных растительных полисахаридов плохо поддерживают адгезию клеток, что обусловлено отсутствием сайтов клеточной адгезии [30]. Мы выявили, что интеграция НМ в состав альгинатного гидрогеля модифицирует поверхность гидрогеля и создает условия для прикрепления клеток и поддержания их в жизнеспособном состоянии. Пока неизвестно какие именно изменения в свойствах поверхности ГАП-НМ привели к изменению клеточного ответа на биоматериал. Согласно данным литературы, это могут быть изменения в пористости, гидрофобности, природы и плотности распределения

химических функциональных групп, а также в механических свойствах биоматериала [31, 32].

Таким образом, полученные нами результаты расширяют методы биофункционализации гидрогелей растительного происхождения. НМ, модифицированные лимонной кислотой, можно использовать для регуляции функциональных клеточных реакций на гидрогелевые биоматериалы растительного происхождения. Интеграция НМ в состав гидрогелевых биоматериалов из природных полисахаридов может решить проблему стандартизации структурно-механических свойств поверхности биоматериалов и селективности клеточных реакций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен новый способ биофункционализации альгинатного гидрогеля путем включения в его состав НМ. Применение НМ, модифицированных лимонной кислотой, позволяет повысить адгезивность композитного гидрогеля в отношении фибробластов человека и снизить его цитотоксичность. Интеграция НМ с природными гидрогелями и создание биоматериалов с контролируемыми структурно-механическими свойствами могут быть решением проблемы прогнозируемого клеточного ответа на гетерогенные по составу и структуре биополимеры.

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, 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 «Ками научный центр Уральского отделения Российской академии наук».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0991-906X>

Мартаков Илья Сергеевич, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Институт химии Федерального исследовательского центра «Ками научный центр Уральского отделения Российской академии наук».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7321-9327>

Михайлов Василий Игоревич, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Институт химии Федерального исследовательского центра «Ками 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; Мартаков И.С. — 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. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-73-10091, <https://rscf.ru/project/24-73-10091/>.

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 of Rehabilitation and Balneology.

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

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

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

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

Mikhail A. Torlopov, Ph.D. (Chem.), Senior Research, Institute of Chemistry, Federal Research Centre "Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences".

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0991-906X>

Iliia S. Martakov, Ph.D. (Chem.), Senior Research, Institute of Chemistry, Federal Research Centre "Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences".

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7321-9327>

Vasily I. Mikhaylov, Ph.D. (Chem.), Senior Research, Institute of Chemistry, 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; Martakov I.S. — investigation; writing — review & editing; Mikhailov V.I. — investigation; writing — review & editing.

Funding. This study was supported by a grant from the Russian Science Foundation No. 24-73-10091, <https://rscf.ru/en/project/24-73-10091/>.

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/ Referents

1. Васильева В.А., Марченкова Л.А., Ответчикова Д.И. и др. Медицинская реабилитация после травм нижних конечностей у пациентов с сахарным диабетом: обзор литературы. Вестник восстановительной медицины. 2024; 22(3): 61–68. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-61-68> [Vasileva V.A., Marchenkova L.A., Otvetchikova D.I., et al. Medical Rehabilitation after Lower Limb Injuries in Patients with Diabetes Mellitus: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 22(3): 61–68. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-61-68> (In Russ.).]
2. Carton F., Rizzi M., Canciani E. et al. Use of Hydrogels in Regenerative Medicine: Focus on Mechanical Properties. Int J Mol Sci. 2024; 25(21): 11426. <https://doi.org/10.3390/ijms252111426>
3. Amadeh A., Mohebbi N., Amadeh Z., Jamshidbeigi A. Comparative Efficacy of Autolytic and Collagenase-Based Enzymatic Debridement in Chronic Wound Healing: A Comprehensive Systematic Review. Int Wound J. 2025; 22(4): e70177. <https://doi.org/10.1111/iwj.70177>

4. Ahmad Z., Salman S., Khan S.A, et al. Versatility of Hydrogels: From Synthetic Strategies, Classification, and Properties to Biomedical Applications. *Gels*. 2022; 8(3): 167. <https://doi.org/10.3390/gels8030167>
5. Tran T., Hamid Z., Cheong K. A Review of Mechanical Properties of Scaffold in Tissue Engineering: Aloe Vera Composites. *J. Phys. Conf. Ser.* 2018; 1082: 012080. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1082/1/012080>
6. Lu P., Ruan D., Huang M., et al. Harnessing the potential of hydrogels for advanced therapeutic applications: current achievements and future directions. *Signal Transduct Target Ther.* 2024; 9(1): 166. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1082/1/012080>
7. Марков П.А., Ерёмин П.С., Падерин Н.М. и др. Влияние биопластического материала на адгезию, рост и пролиферативную активность фибробластов человека в средах, имитирующих кислотность раневого ложа при остром и хроническом воспалении. *Вестник восстановительной медицины*. 2023; 22(2): 42–51. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-2-42-51> [Markov P.A., Eremin P.S., Paderin N.M., et al. Effect of Bioplastic Material on Adhesion, Growth and Proliferative Activity of Human Fibroblasts when Incubated in Solutions Mimic the Acidity of Wound an Acute and Chronic Inflammation. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2023; 22(2): 42–51. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-2-42-51> (In Russ.)]
8. Cambria E., Brunner S., Heusser S. et al. Cell-Laden Agarose-Collagen Composite Hydrogels for Mechanotransduction Studies. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*. 2020; 8:346. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00346>
9. Zhang M., Sun Q., Liu Y., et al. Controllable ligand spacing stimulates cellular mechanotransduction and promotes stem cell osteogenic differentiation on soft hydrogels. *Biomaterials*. 2021; 268: 120543. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2020.120543>
10. Meli V.S., Atcha H., Veerasubramanian P.K., et al. YAP-mediated mechanotransduction tunes the macrophage inflammatory response. *Science advances*. 2020; 6(49): eabb8471. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb8471>
11. Chaudhuri O., Cooper-White J., Janmey P.A., et al. Effects of extracellular matrix viscoelasticity on cellular behaviour. *Nature*. 2020; 584(7822): 535–546. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2612-2>
12. Liu J., Zheng H., Poh P.S., et al. Hydrogels for Engineering of Perfusable Vascular Networks. *Int J Mol Sci.* 2015; 16(7): 15997–6016. <https://doi.org/10.3390/ijms160715997>
13. Zhang M., Sun Q., Liu Y., et al. Controllable ligand spacing stimulates cellular mechanotransduction and promotes stem cell osteogenic differentiation on soft hydrogels. *Biomaterials*. 2021; 268: 120543. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2020.120543>
14. Raja I.S., Fathima N.N. Gelatin-Cerium Oxide Nanocomposite for Enhanced Excisional Wound Healing. *ACS applied bio materials*, 2018; 1(2): 487–495. <https://doi.org/10.1021/acsabm.8b00208>
15. Wu P., Shen L., Liu H., et al. The marriage of immunomodulatory, angiogenic, and osteogenic capabilities in a piezoelectric hydrogel tissue engineering scaffold for military medicine. *Military Medical Research*. 2023; 10(1): 35. <https://doi.org/10.1186/s40779-023-00469-5>
16. Chen L., Zhou X., He C. Mesoporous silica nanoparticles for tissue-engineering applications. *Wiley interdisciplinary reviews. Nanomedicine and nanobiotechnology*. 2019; 11(6): e1573. <https://doi.org/10.1002/wnan.1573>
17. Stiufluc G.F., Stiufluc R.I. Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Their Use in Biomedical Field. *Applied Sciences*. 2024; 14(4): 1623. <https://doi.org/10.3390/app14041623>
18. Mikhaylov V.I., Kryuchkova A.V., Sitnikov P.A., et al. Magnetite Hydrosols with Positive and Negative Surface Charge of Nanoparticles: Stability and Effect on the Lifespan of *Drosophila melanogaster*. *Langmuir*. 2020; 36: 4405–4415. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c00605>
19. Arami H., Teeman E., Troksa A., et al. Tomographic magnetic particle imaging of cancer targeted nanoparticles. *Nanoscale*. 2017; 9(47): 18723–18730. <https://doi.org/10.1039/c7nr05502a>
20. Estelrich J., Sánchez-Martín M.J., Busquets M.A. Nanoparticles in magnetic resonance imaging: from simple to dual contrast agents. *International Journal of Nanomedicine*. 2015; 10: 1727–1741. <https://doi.org/10.2147/IJN.S76501>
21. Rarokar N., Yadav S., Saoji S., et al. Magnetic nanosystem a tool for targeted delivery and diagnostic application: Current challenges and recent advancement. *International Journal of Pharmaceutics*. 2024; 7: 100231. <https://doi.org/10.1016/j.ijpx.2024.100231>
22. Lu Y., Wang X., Jia Y., et al. PAD4 Inhibitor-Loaded Magnetic Fe₃O₄ Nanoparticles for Magnetic Targeted Chemotherapy and Magnetic Resonance Imaging of Lung Cancer. *International journal of nanomedicine*. 2025; 20: 3031–3044. <https://doi.org/10.2147/IJN.S502814>
23. Chircov C., Bejenaru I.T., Nicoară A.I., et al. Chitosan-Dextran-Glycerol Hydrogels Loaded with Iron Oxide Nanoparticles for Wound Dressing Applications. *Pharmaceutics*. 2022, 14(12): 2620. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14122620>
24. Hong J., Wu D., Wang H., et al. Magnetic fibrin nanofiber hydrogel delivering iron oxide magnetic nanoparticles promotes peripheral nerve regeneration. *Regenerative biomaterials*. 2024; 11: rbae075. <https://doi.org/10.1093/rb/rbae075>
25. Najafi P., Tamjid E., Abdolmaleki P., Behmanesh M. Thermomagneto-responsive injectable hydrogel for chondrogenic differentiation of mesenchymal stem cells. *Biomaterials advances*. 2025; 168: 214115. <https://doi.org/10.1016/j.bioadv.2024.214115>
26. Terkawi M.A., Matsumae G., Shimizu T., et al. Interplay between Inflammation and Pathological Bone Resorption: Insights into Recent Mechanisms and Pathways in Related Diseases for Future Perspectives. *Int J Mol Sci.* 2022; 23(3): 1786. <https://doi.org/10.3390/ijms23031786>
27. Ponzetti M., Rucci N. Updates on Osteoimmunology: What's New on the Cross-Talk Between Bone and Immune System. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2019; 10: 236. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00236>
28. Xu G.R., Zhang C., Yang H.X., et al. Modified citrus pectin ameliorates myocardial fibrosis and inflammation via suppressing galectin-3 and TLR4/MyD88/NF- κ B signaling pathway. *Biomed Pharmacother.* 2020; 126: 110071. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110071>
29. Cao J., Yang J., Wang Z., Lu M., Yue K. Modified citrus pectins by UV/H₂O₂ oxidation at acidic and basic conditions: Structures and in vitro anti-inflammatory, anti-proliferative activities. *Carbohydr Polym.* 2020; 247: 116742. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116742>
30. Hurtado A., Cano-Vicent A., Tuñón-Molina A., et al. Engineering alginate hydrogel films with poly(3-hydroxybutyrate-co-3-valerate) and graphene nanoplatelets: Enhancement of antiviral activity, cell adhesion and electroactive properties. *International journal of biological macromolecules*. 2022; 219: 694–708. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.039>
31. Chen X., Liu J., Bu Y., et al. Dodecyl glycoside intercalated organo-montmorillonite promoted biomimetic alginate/microcrystalline cellulose/nano-hydroxyapatite composite hydrogels for bone tissue engineering. *International journal of biological macromolecules*. 2025; 310(Pt 2): 143304. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.143304>
32. Eivazzadeh-Keihan R., Nokandeh S.M., Aliabad H.A.M., et al. Unveiling the synergy: Biocompatible alginate-cellulose hydrogel loaded with silk fibroin and zinc ferrite nanoparticles for enhanced cell adhesion, and anti-biofilm activity. *International journal of biological macromolecules*. 2024; 275(Pt 1): 133412. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133412>

Safety and Therapeutic Outcomes of Cervical High-Velocity Low-Amplitude Manipulation in Clinical Practice: a Review

 **Rahmat Nugraha^{1,*}, Rizky Wulandari Ramli¹, Latifa Insani Nurhalim¹, Sitti Rahma¹, Sri G. Fahlana²**

¹ Health Polytechnic of Ministry of Health Indonesian Republic Makassar, Makassar, Indonesia

² Pembangunan Nasional Veteran Jakarta University, Jakarta, Indonesia

ABSTRACT

INTRODUCTION. High-velocity low-amplitude (HVLA) manipulation of the cervical spine is commonly used in clinical practice to manage various musculoskeletal conditions. This review discusses the safety profile and therapeutic outcomes of cervical HVLA manipulation, highlighting its role in optimizing patient care while minimizing potential risks.

AIM. To review scientific evidence on the safety and effectiveness of HVLA manipulation therapy on the cervical spine and evaluate its impact on patients' clinical improvement. Through this analysis, it is expected to provide guidance for practitioners in assessing the risks and benefits of using HVLA techniques in physiotherapy practice.

MATERIALS AND METHODS. This study employed a literature review approach by collecting articles from the PubMed (49 publications), ScienceDirect (198 publications), PEDro (2 publications), and EBSCO (21 publications) databases, published between 2014 and 2024. The initial search identified a total of 270 articles related to HVLA manipulation for cervical musculoskeletal disorders. Following the selection process, 62 articles were removed due to duplication, 158 articles were deemed irrelevant at the title review stage, and 26 articles were evaluated based on their abstracts. The final selection included 15 articles that met the inclusion criteria for analysis. The selected articles comprised randomized controlled trials and meta-analyses assessing the effectiveness of HVLA on pain, mobility, and function. The selection process was conducted systematically to ensure data validity and relevance.

RESULTS AND DISCUSSION. The study findings indicate that the application of HVLA manipulation on the cervical spine is effective in reducing pain, increasing range of motion (ROM), and improving function in patients with musculoskeletal neck disorders, including mechanical neck pain and tension headache. HVLA influences joint biomechanics, releases restrictions, and reduces muscle tension, contributing to enhanced mobility and pain reduction. Additionally, this technique provides pain modulation effects and long-term benefits for patients' functional activities. However, implementing HVLA requires a comprehensive risk assessment to identify suitable patients and minimize potential complications, including the risk of vertebral artery injury. These findings highlight the importance of an evidence-based approach and caution in clinical practice to ensure optimal and safe therapeutic outcomes.

CONCLUSION. HVLA manual therapy on the cervical spine is effective and safe, particularly for neck pain relief and functional improvement, although certain risks must be considered. Practitioners should conduct a thorough risk assessment and take patient conditions into account for optimal outcomes. The impact of HVLA on blood flow, blood pressure, handgrip strength, and cervical spine muscle strength is not significant, making it unsuitable as a primary intervention.

KEYWORDS: high-velocity low-amplitude (HVLA), musculoskeletal manipulation, therapy safety, neck pain, range of motion

For citation: Nugraha R., Ramli R.W., Nurhalim L.I., Rahma S., Fahlana S.G. Safety and Therapeutic Outcomes of Cervical High-Velocity Low-Amplitude Manipulation in Clinical Practice: a Review. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2024; 24(4):130–140. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-130-140>

* **For correspondence:** Rahmat Nugraha, E-mail: rahmatnugraha@poltekkes-mks.ac.id

Received: 26.02.2025

Accepted: 16.06.2025

Published: 16.08.2025

Безопасность и терапевтические результаты манипуляций на шейном отделе позвоночника высокоскоростной низкоамплитудной манипуляции в клинической практике: обзор

 Нуграха Р.^{1,*}, Рамли Р.В.¹, Нурхалим Л.И.¹, Рахма С.¹, Фахриана Ш.Г.²

¹ Политехнический институт Министерства здравоохранения Индонезийской Республики Макаassar, Макаassar, Индонезия

² Ветеран Национального университета развития Джакарты, Джакарта, Индонезия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Высокоскоростная низкоамплитудная техника (HVLA) на шейном отделе позвоночника обычно используется в клинической практике для лечения различных заболеваний опорно-двигательного аппарата. В этом обзоре обсуждаются профиль безопасности и терапевтические результаты шейной HVLA-манипуляции, подчеркивая ее роль в оптимизации ухода за пациентами при минимизации потенциальных рисков.

ЦЕЛЬ. Рассмотреть научные данные о безопасности и эффективности терапии манипуляцией HVLA на шейном отделе позвоночника и оценить ее влияние на клиническое улучшение состояния пациентов. Ожидается, что с помощью этого анализа будут предоставлены рекомендации для практикующих врачей по оценке рисков и преимуществ использования методов HVLA в физиотерапевтической практике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В этом исследовании использовался подход обзора литературы путем сбора статей из баз данных PubMed (49 публикаций), ScienceDirect (198 публикаций), PEDro (2 публикации) и EBSCO (21 публикация), опубликованных за 2014–2024 годы. Первоначальный поиск выявил в общей сложности 270 статей, связанных с HVLA при шейных мышечно-скелетных расстройствах. После отбора 62 статьи были удалены из-за дублирования, 158 статей были признаны нерелевантными на этапе рассмотрения заголовка, а 26 статей были оценены на основе их рефератов. Окончательный выбор включал 15 статей, которые соответствовали критериям включения для анализа. Выбранные статьи включали рандомизированные контролируемые испытания и метаанализы, оценивающие эффективность HVLA в отношении боли, подвижности и функции. Процесс отбора проводился систематически, чтобы гарантировать достоверность и релевантность данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Результаты исследования показывают, что применение HVLA на шейном отделе позвоночника эффективно для уменьшения боли, увеличения диапазона движений (ROM) и улучшения функции у пациентов с мышечно-скелетными заболеваниями шеи, включая механическую боль в шее и головную боль напряжения. HVLA влияет на биомеханику суставов, снимает ограничения и снижает мышечное напряжение, способствуя повышению подвижности и уменьшению боли. Кроме того, эта техника обеспечивает эффекты модуляции боли и долгосрочные преимущества для функциональной активности пациентов. Однако внедрение HVLA требует комплексной оценки риска для выявления подходящих пациентов и минимизации потенциальных осложнений, включая риск повреждения позвоночной артерии. Эти результаты подчеркивают важность подхода, основанного на доказательствах, и осторожности в клинической практике для обеспечения оптимальных и безопасных терапевтических результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. HVLA на шейном отделе позвоночника эффективна и безопасна, особенно для облегчения боли в шее и улучшения функций, хотя необходимо учитывать определенные риски. Практикующие врачи должны проводить тщательную оценку риска и учитывать состояние пациента для достижения оптимальных результатов. Влияние HVLA на кровоток, артериальное давление, силу рукопожатия и силу мышц шейного отдела позвоночника не является значительным, что делает его непригодным в качестве первичного вмешательства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: высокоскоростная низкоамплитудная техника (HVLA), мышечно-скелетные манипуляции, безопасность терапии, боль в шее, диапазон движений

Для цитирования: Nugraha R., Ramli R.W., Nurhalim L.I., Rahma S., Fahriana S.G. Safety and Therapeutic Outcomes of Cervical High-Velocity Low-Amplitude Manipulation in Clinical Practice: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 24(4):130–140. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-130-140>

* Для корреспонденции: Rahmat Nugraha, E-mail: rahmatnugraha@poltekkes-mks.ac.id

Статья получена: 26.02.2025

Статья принята к печати: 16.06.2025

Статья опубликована: 16.08.2025

INTRODUCTION

High-velocity low-amplitude (HVLA) manipulation is a manual technique commonly used in physiotherapy and chiropractic care to address various musculoskeletal disorders. In HVLA, manipulation is performed rapidly but with relatively low force to influence joint mobility and reduce tension in the surrounding tissues. This technique aims to restore joint range of motion, alleviate pain, and enhance function in areas experiencing restriction

or dysfunction, particularly in the cervical spine (neck) segment [1]. Cervical HVLA manipulation can help manage mechanical neck pain and other related musculoskeletal disorders, such as tension headaches and shoulder pain, which are closely linked to postural conditions and muscle imbalances around the cervical region [2, 3].

In clinical practice, the HVLA technique for the cervical spine is often considered due to its potential benefits in managing both chronic and acute neck pain. This technique

is believed to provide rapid and significant results for certain conditions and is frequently used alongside other therapeutic modalities, such as strengthening exercises and stretching, to achieve more optimal treatment outcomes [4]. Although cervical HVLA manipulation has the potential to yield positive results, it requires a comprehensive understanding of anatomy, biomechanics, and patient risk assessment to minimize the likelihood of serious adverse effects, such as vertebral artery injury [5].

HVLA manipulation therapy for the cervical spine has been proven to provide significant benefits in reducing pain, improving mobility, and enhancing function in patients with various musculoskeletal disorders of the neck. Several studies have shown that this technique is effective in reducing the intensity of mechanical neck pain and increasing cervical joint range of motion, thereby contributing to postural recovery and improvement in functional activities [4].

HVLA manipulation also has a positive impact on patients' quality of life, particularly for individuals experiencing limitations in daily activities due to chronic neck pain. A study by Puentedura E.J. et al. (2012) found that patients receiving cervical HVLA manipulation showed significant improvements in pain parameters and quality of life compared to those undergoing therapy without manipulation [6]. Additionally, this therapy serves as a safe, non-surgical option that can be integrated with other interventions, such as strengthening exercises and mobilization, to achieve better outcomes in managing neck disorders, reduce the need for pharmacological treatments, and lower the risk of long-term complications [7].

Although cervical HVLA manipulation offers potential benefits, it also raises concerns regarding the risk of injury, particularly to the vertebral artery and neural structures surrounding the cervical spine. Vertebral artery injury, although rare, can lead to serious consequences such as ischemic stroke induced by thrombosis or embolism following cervical manipulation [5]. Additionally, there is a risk of nerve damage due to excessive pressure or stretching of cervical neural structures, which may result in radicular pain or other neurological symptoms [8]. These risks are influenced by various factors, including the manipulation technique used, the patient's health condition, and the practitioner's experience or skill level. Research suggests that practitioners with proper training and sufficient experience are more likely to minimize these risks through comprehensive risk assessment and cautious technique application [2]. Specific conditions such as a history of vascular disease or cervical spine disorders should also be considered in clinical decision-making to avoid unwanted complications.

There is a lack of consensus among practitioners regarding the safety limits and appropriate procedural standards for cervical HVLA techniques, leading to variations in clinical practice and potential risks for patients. Existing guidelines and recommendations are often inconsistent, making it challenging for practitioners to determine the best approach to implementing this technique [9]. In this context, a comprehensive review is essential to compile and analyze the latest scientific evidence on the safety and effectiveness of cervical HVLA therapy. By integrating findings from various studies, this review aims to provide clearer, evidence-based guidance for practitioners, thereby improving care standards and

minimizing risks for patients. The results of this review are expected to serve as a valuable reference in clinical practice, assisting in better decision-making regarding the application of cervical HVLA manipulation and promoting safe and effective physiotherapy practices.

AIM

To review the scientific evidence regarding the safety and effectiveness of HVLA manipulation therapy on the cervical spine and to evaluate its impact on patients' clinical improvement. Through this analysis, the study aims to provide guidance for practitioners in assessing the risks and benefits of using HVLA techniques in physiotherapy practice.

MATERIALS AND METHODS

Publications on this topic were collected and analyzed from the PubMed, ScienceDirect, PEDro, and EBSCO databases, covering studies published from 2014 to 2024. The search algorithm was developed in accordance with the requirements and guidelines for reporting systematic reviews and meta-analyses (PRISMA) [10]. The search strategy included studies using specific search terms and keywords (including MeSH). Keywords used in the database search: ("HVLA Thrust" OR "High-Velocity Low-Amplitude" OR "Cervical Manipulation") AND "Cervical". The final search was conducted on 03.11.2024.

RESULTS AND DISCUSSION

Introduction to High-Velocity Low-Amplitude (HVLA) Technique

HVLA manipulation is a manual therapy technique commonly used in physiotherapy and chiropractic practice to address various musculoskeletal disorders. In HVLA, manipulation is performed rapidly while applying relatively low force to influence joint mobility and reduce surrounding tissue tension. HVLA involves the application of a quick force within a short duration, distance, and/or rotational area within the anatomical range of motion of a joint. This technique targets restrictive barriers across one or multiple planes of movement to achieve the release of restrictions [25].

HVLA techniques involve the application of a rapid force within a short duration, distance, and/or rotational area within the anatomical range of motion of a joint. This approach is used to engage restrictive barriers across one or multiple planes of movement to achieve the release of restrictions. HVLA manipulation utilizes high velocity and low amplitude thrusts to manipulate the joint effectively. According to LaPelusa A. and Bordoni B. [26]. Dr. Kirkaldy-Willis was the first to conceptualize and publish the theory of the Biomechanics and Biology of the Spinal Degenerative Cascade. He defined HVLA as "a skilled, passive therapeutic maneuver in which a synovial joint is taken beyond its normal physiological range of motion (toward the restrictive barrier) without exceeding anatomical integrity limits".

HVLA therapy is a specialized manual therapy technique that applies a rapid and short-duration force within a small range of motion in the joint's anatomical movement. This method engages restrictive barriers to achieve the release of restrictions. HVLA treatment is commonly associated with an audible and palpable release, often perceived as a "pop", which occurs due to cavitation within the spinal intervertebral joint, followed by subsequent release [27].

Table 1. Data of Selected Review Articles

No	Study	Aim	Method	Results and Conclusion
1	García-Pérez- Juana D., et al. [11]	To examine the effects of cervical thrust manipulation or sham manipulation on cervicocephalic kinesthetic sense, pain intensity, pain-related disability, and pressure pain sensitivity in patients with chronic mechanical neck pain	Fifty-four individuals with mechanical neck pain were randomly assigned to receive either cervical thrust manipulation (right or left) or sham manipulation. Immediate outcomes included cervical kinesthetic sense assessed by JPSE and PPT. Additionally, neck pain intensity (numerical pain rating scale) and neck pain-related disability (NDI) were collected in the first week	The study found that cervical thrust manipulation improved JPSE, PPT, and NDI in participants with chronic mechanical neck pain. The changes in JPSE and NDI were significant, exceeding the minimal detectable change. The effect size for PPT was moderate, with only the C5-C6 zygapophyseal joint surpassing the minimal detectable threshold. Neck pain intensity remained unchanged one week post-intervention
2	Shackleton E., et al. [12]	To determine whether positive and negative communication before HVLA manipulation at the C7-T1 spinal segment, within an osteopathic consultation setting, respectively increase or decrease PPT to create contextual placebo and nocebo effects. Study design: Pretest-posttest randomized controlled design	35 asymptomatic participants were recruited and randomly assigned to three separate condition arms using a repeated-measures crossover design: negative communication (NegC), neutral communication (NeuC), or positive communication (PosC). Each condition included spinal manipulation (HVLA thrust) at the C7-T1 segment. PPT was measured using an algometer at the C7 spinous process before and after each condition setting	There was a significant effect of communication style on PPT across all three conditions. Post-hoc analysis showed that positive communication had a significant effect on PPT (i.e., a placebo effect), while negative communication did not produce a significant effect (i.e., no nocebo effect). These findings are discussed in the context of communication styles used during osteopathic clinical consultations, highlighting their potential to enhance health outcomes in National Health Service and other clinical settings
3	Whalen W., et al. [13]	To develop best practice recommendations for chiropractic management in adults with neck pain	A steering committee of chiropractic experts developed recommendations based on the latest clinical guidelines. Additional literature was identified through targeted searches. A national panel of 56 chiropractic experts assessed 50 statements using a modified Delphi process. Consensus was reached on all statements within three rounds from August to November 2018	The statements covered various aspects of clinical encounters, including consent, diagnosis, assessment, treatment planning, execution, and referral for adults with neck pain. The best practice recommendations were based on the best available scientific evidence. For uncomplicated neck pain, including cases with headaches or radicular symptoms, chiropractic manipulation and multimodal care were recommended
4	Casanova- Méndez A., et al. [14]	To compare the short-term effects of two thoracic spinal manipulation maneuvers in subjects with chronic non-specific neck pain	Sixty participants were randomly divided into two groups: one received the Dog technique in a supine position, and the other underwent the Toggle-Recoil technique in a prone position, both targeting T4. Evaluations included neck pain (VAS), cervical range of motion, and pressure pain threshold at C4, T4, and upper trapezius tense bands. Measurements were taken before, immediately after, and 20 minutes post-intervention	Both maneuvers improved neck mobility, mechanosensitivity, and short-term pain reduction, with no significant clinical differences between groups. However, the Toggle-Recoil group showed slightly better outcomes in cervical extension ($p = 0.009$), right lateral flexion ($p = 0.004$), and left rotation ($p < 0.05$)

Table 1 Continued

No	Study	Aim	Method	Results and Conclusion
5	Corum M., et al. [15]	To evaluate the effects of two manual therapy techniques on pain, disability, and PPT in patients with TTH and neck pain	Forty-five TTH patients were randomly assigned to three groups, each receiving eight treatment sessions: manipulation and exercise (manipulation group), suboccipital inhibition and exercise (myofascial release group), or exercise alone (control group). Headache frequency, pain severity (VAS-headache, VAS-neck pain), and disability (HIT-6, NDI) were assessed at baseline, post-treatment, and at a three-month follow-up. PPT was also evaluated in the temporalis muscle	The manipulation group showed significantly greater improvements than the myofascial release group in headache frequency, pain severity, and PPT scores. Additionally, the manipulation group demonstrated statistically significant improvements in all outcome measures compared to the control group. Manipulation combined with exercise, alongside pharmacological treatment, appears to be a promising approach for TTH patients with cervical dysfunction
6	Giacalone A., et al. [16]	To explain how cervical manipulation affects musculoskeletal disorders	A systematic search was conducted in PubMed from January to March 2020. Two independent reviewers screened articles using the PRISMA diagram. Inclusion criteria included RCTs published in peer-reviewed journals from 2005 to 2020, involving participants of all ages. The intervention examined was thrust manipulation or HVLA directed at the cervical spine. After reviewing the literature, 21 out of 74 articles were deemed relevant	HVLA techniques in musculoskeletal disorders influence pain modulation, mobility, and strength locally and remotely. Cervical manipulation is effective for managing cervicalgia, epicondylalgia, temporomandibular disorders, and shoulder pain. However, its effect on strength in healthy individuals remains inconclusive. While complications from vertebral manipulation are rare, improper application poses risks, and patient tolerance or contraindications may limit its use. The optimal number of manipulations and long-term benefits are still unclear
8	Dunning J., et al. [17]	To determine the cavitation side during C1–2 rotational HVLA thrust manipulation and to calculate the number of cavitations, the duration of upper cervical manipulation, and the duration of a single cavitation	Nineteen asymptomatic participants received two upper cervical thrust manipulations targeting the right and left C1–C2 articulation. Skin-mounted microphones on bilateral C1 transverse processes recorded sound waves. Cavitation side, duration, and number were analyzed using spectrogram analysis and audio feedback via custom Matlab software	Bilateral cavitation was detected in 91.9% of manipulations, while unilateral cavitation occurred in only 8.1% ($p < 0.001$). Of 132 total cavitations, 72 were ipsilateral and 60 contralateral to the targeted C1–2 articulation, with no significant side preference ($p = 0.294$). The average number of cavitations per C1–2 HVLA thrust was 3.57, and per subject, it was 6.95. The mean cavitation duration was 5.66 ms, while the mean manipulation duration was 96.95 ms. Upper cervical HVLA thrust manipulations are significantly more likely to produce bilateral than unilateral cavitations, with multiple cavitations per thrust. This challenges the traditional manual therapy approach of targeting a single ipsilateral or contralateral facet joint in the upper cervical spine

Table 1 Continued

No	Study	Aim	Method	Results and Conclusion
9	Sparks C.L., et al. [18]	To compare the short-term effects of HVLA thrust manipulation on the upper cervical and upper thoracic regions versus non-thrust mobilization in patients with neck pain	A study evaluated the effects of HVLA thrust manipulation and non-thrust mobilization in patients with mechanical neck pain. Various tests and measurements were conducted before and after treatment. Results showed that patients receiving combined HVLA thrust manipulation on the upper cervical and thoracic spines had greater reductions in pain and disability than those receiving non-thrust mobilization. They also exhibited greater improvements in passive C1–2 rotation range of motion and deep cervical flexor motor performance. The number needed for a successful outcome was 1.8 and 2.3 at the 48-hour follow-up	The combination of HVLA thrust manipulation on the upper cervical and upper thoracic spines is significantly more effective in the short term than non-thrust mobilization in patients with mechanical neck pain
10.	Malich P., et al. [19]	This study aims to assess the effects of HVLA manipulations on force distribution, pressure, and balance in individuals with atlanto-occipital blockage, with a focus on post-treatment improvements	Diagnostic tests (cervical spine compression, Spurling, de Kleyn) and pedobarography (using EPS/R2 mat and BIOMECH STUDIO software) were used to assess functionality and postural parameters before and after HVLA therapy	Initial diagnosis showed significant balance, force distribution, and gait impairments. After HVLA therapy, improvements included better weight distribution, reduced left-side pressure, enhanced body oscillation control, normalized right foot abduction, and slight increases in foot vault index and average foot pressure during gait
11.	Galindez-Ibarben-Goetxea X., et al. [20]	To evaluate the effects of indiscriminate manipulation at C5, MT, and ST on cervical ROM, isometric flexion peak force, SCM muscle EMG activation during CCFT, and biceps at rest	A randomized controlled pilot study with intention-to-treat analysis was conducted on 36 asymptomatic subjects (18 males, mean age 30), divided into three groups: AMC5 (n = 12), MT (n = 12), and ST (n = 12). Outcomes were measured pre- and post-intervention	Significant changes (p < 0.1) were found in cervical flexion isometric peak force (–13.15 %, d = 0.52). The MT group showed significant improvements in extension (10.44 %) and left rotation ROM (12.25 %), while no significant changes were observed during CCFT. The study suggests a trend of decreased cervical flexion strength in the MT group, with notable gains in extension and left rotation ROM
12.	Haas M., et al. [21]	To identify the dose-response relationship of SMT visits and evaluate its effectiveness compared to light massage control	RCT on 256 chronic CGH patients, randomized to 4 SMT dose levels (0, 6, 12, 18 sessions) over 18 visits in 6 weeks. Light massage was given when SMT was not applied. Dose-response and control comparisons were assessed at weeks 6, 12, 24, 39, and 52	A linear dose-response was observed across all follow-ups, with 1-day CGH reduction per 4 weeks for every 6 additional SMT visits (p < 0.05). The most effective dose (18 SMT visits) reduced CGH days from ~16 to 8 per month, showing a –3.3 (p = 0.004) and –2.9 (p = 0.017) difference vs. control at key endpoints. Other SMT doses had smaller, non-significant effects (p > 0.05). CGH intensity remained unchanged across doses. SMT showed a linear dose-response effect, with 18 visits halving CGH days and providing — 3 more days of relief per month vs. light massage

Table 1 End

No	Study	Aim	Method	Results and Conclusion
13	Metcalfe S., et al. [22]	To evaluate changes in anterolateral neck flexor strength after upper cervical manipulation	A total of 67 participants with mechanical neck pain or cervicogenic headache were divided into two groups. The treatment group received manipulation at dysfunctional upper (C0–C2) and lower (C2–C7) cervical segments, while the control group received manipulation only at lower cervical segments. Anterolateral neck flexor strength was measured using a hand-held dynamometer	After upper and lower cervical manipulation, the treatment group showed greater strength improvement on the weaker side. In the control group, a similar trend was observed but to a lesser extent. These findings suggest that manipulation has a neurological effect that immediately enhances muscle strength
14	Pires P.F., et al. [23]	To assess the immediate and short-term effects of upper thoracic manipulation on pain intensity and sternocleidomastoid muscle activity in young women with chronic neck pain	A randomized clinical trial with 32 women with chronic neck pain divided into an experimental group receiving upper thoracic manipulation below T1 using a pistol grip and a placebo group with an open-hand stabilization. Evaluations were conducted at baseline, immediately post-intervention, and 48–72 hours post-intervention. Sternocleidomastoid myoelectric activity was assessed at rest and during isometric cervical flexion and shoulder elevation. Neck pain intensity was measured using the VAS. Data were analyzed using two-way repeated measures ANOVA with Bonferroni correction ($p < 0.5$)	Moderate effects on sternocleidomastoid myoelectric activity during isometric shoulder elevation were observed in the experimental group only at the short-term evaluation ($d > 0.40$). No significant differences were found between groups across evaluation time points ($p > 0.5$). Both intra- and inter-group analyses showed no significant changes in cervical muscle activity or neck pain intensity at immediate or short-term follow-ups
15	Quesnele J.J., et al. [24]	To analyze the cerebrovascular hemodynamic response of the VA during cervical rotation and manipulation in vivo using MRI	A pilot study with 10 healthy male participants (ages 24–30) measured VA blood flow and velocity at C1–2 using MRI after three head positions and upper cervical manipulation. Thirty phase-contrast flow-encoded images were collected per cardiac cycle across four conditions to assess blood flow profiles. Differences in flow (mL/s) and velocity (cm/s) were analyzed using repeated measures ANOVA	No significant side-to-side differences were found in VA blood velocity ($p = 0.14$) or flow ($p = 0.19$) across conditions. No interactions or trends indicated changes in flow or velocity. The study concludes that head positions and cervical manipulation do not significantly affect VA hemodynamics in healthy young males, with no evidence of cerebrovascular hemodynamic impact from mechanical interaction with the VA during head movement

Note: HVLA — high-velocity low-amplitude; JPSE — joint position sense error; PPT — pressure pain thresholds; NDI — neck disability index; TTH — tension-type headache; VAS — visual analogue scale; RCTs — randomised controlled trials; MT — targeted manipulation; ROM — range of motion; ST — sham intervention; SMT — spinal manipulative therapy; CGH — comparative genomic hybridization; VA — vertebral artery; MRI — magnetic resonance imaging; SCM — sternocleidomastoid.

HVLA cervical manipulation techniques offer an alternative approach for patients with cervical neck dysfunction beyond traditional medical pathways. This technique aims to restore joint range of motion, reduce pain, and improve function in areas experiencing restriction or dysfunction, particularly in the cervical spine segment [1]. HVLA manipulation of the cervical region can help manage mechanical neck pain and other related musculoskeletal disorders, such as tension headaches and shoulder pain, which are closely linked to postural conditions and muscle imbalances around the cervical area [2, 3].

The cervical region (neck) consists of vascular, musculoskeletal, and neural pathways between the skull and the thorax. It is an area prone to injury and somatic dysfunction, leading to pain and loss of mobility. The use of HVLA techniques on the cervical spine, while potentially providing positive outcomes, requires a thorough understanding of anatomy, biomechanics, and patient risk assessment to reduce the likelihood of serious side effects, such as vertebral artery injury [5].

In clinical practice, HVLA techniques on the cervical spine are often considered for their potential benefits in addressing both chronic and acute neck pain. These techniques are believed to produce rapid and significant results in certain conditions and are frequently combined with other therapeutic modalities, such as strengthening exercises and stretching, to achieve more optimal therapeutic outcomes. HVLA manipulation therapy for the cervical spine has been shown to provide significant benefits in reducing pain, improving mobility, and enhancing function in patients with various musculoskeletal neck disorders. Several studies indicate that this technique is effective in reducing the intensity of mechanical neck pain and increasing the range of motion in cervical joints, thereby contributing to postural recovery and improvements in functional activities [4].

Research indicates that HVLA therapy can result in significant improvements in reducing neck pain and enhancing functionality. This therapy method is often found to be more effective than other conservative treatments or pharmacological interventions. Recent approaches to risk management recommend thorough risk assessment and precise clinical decision-making to minimize potential complications. Practitioners are advised to conduct a comprehensive evaluation of patients before initiating therapy [28].

Although HVLA manipulation on the cervical spine has potential benefits, this technique also raises concerns regarding the risk of injury, particularly to the vertebral arteries and neural structures surrounding the cervical spine. The application of HVLA techniques to the cervical region requires a comprehensive examination beforehand to ensure that patients meet safety criteria. This assessment includes evaluating medical history, physical condition, and the potential presence of contraindications, such as vascular disorders or structural issues in the neck, which may increase the risk of injury [29]. A thorough assessment can help identify suitable patients, allowing this technique to be applied effectively without compromising patient safety.

HVLA therapy works by facilitating joint mobilization and reducing muscle tension, contributing to pain reduction and improved mobility. Patients undergoing

HVLA therapy often report an improved quality of life and enhanced ability to perform daily activities. These positive effects can persist after therapy sessions, providing long-term benefits for patients.

HVLA on Pain and Range of Motion (ROM)

Intervertebral joint dysfunction is characterized by reduced spinal segment mobility, and spinal manipulation has the potential to influence joint mobility, leading to changes in spinal kinematic behavior. It has been found that HVLA is more effective in reducing neck pain at rest and in improving active cervical range of motion compared to control mobilization procedures in subjects suffering from mechanical neck pain [28].

Proper spinal manipulation procedures will affect the mobility of non-moving joints and lead to increased range of motion in specific segments. However, Clements et al. found that HVLA manipulation of the atlantoaxial joint resulted in significant immediate improvements in passive asymmetric atlantoaxial rotation, regardless of whether the HVLA technique was applied unilaterally — either toward or away from the restricted rotation — or bilaterally. Additionally, it was found that the increase in cervical ROM after the manipulative procedure was not dependent on the side of manipulation. Therefore, it is possible that the HVLA thrust possesses an inherent quality that can alter cervical biomechanics, regardless of the direction or side of the thrust. HVLA thrust also contributes to an increase in range of motion. Thus, there is a possibility that pain modulation effects, rather than direct range of motion effects, may cause changes in active range of motion [30].

Previous studies have shown that spinal manipulation is effective in reducing pressure pain thresholds and increasing cervical range of motion in patients with mechanical neck pain. Other research has reported that no long-term changes in passive cervical range of motion occur following spinal manipulation. Cassidy J.D. et al. compared the immediate effects of spinal manipulative therapy with the muscle energy technique as a mobilization procedure on pain and range of motion in the cervical spine [5].

Safety of HVLA Related to Blood Flow

Vertebrobasilar Artery (VBA) stroke can occur for a number of reasons. In cases of traumatic events, the theoretical focus is on mechanical forces associated with head movement that cause irritation or damage to the intimal layer, leading to vasospasm or tearing of the Vertebral Artery (VA), which alters blood flow. Based on Bernoulli's principle, an increase in blood flow velocity occurs at and/or immediately after a point of vascular narrowing due to stretching or compression. This can result in turbulent and jetting flow immediately downstream of the distorted area, potentially triggering a local thrombogenic response that leads to VBA stroke.

A common hypothesis suggests that head rotation, including Cervical Spine Manipulation (CSM), can cause stretching and compression of the VA, leading to a reduction in the cross-sectional area of the blood vessel. Considering cervical kinematics during rotation, mechanical changes to the VA are possible. However, in cadaveric studies, Symons B.M. et al., 2002, and Wuest S. et al., 2010, measured the axial forces sustained by the VA during the range of motion, injury testing, and various CSM techniques using

paired piezoelectric crystals sewn into the arterial wall. Cervical spinal manipulation produced strain values lower than those observed during physiological neck rotation [31, 32].

Arterial flow never exceeded half of the end-diastolic flow seen in stenosis cases confirmed by Yurdakul M. and Tola M., 2011, and remained entirely within the reference range after all head positions and CSM procedures. The most significant changes were observed during contralateral rotation, where VA velocity after CSM was 8 % lower than in the neutral position and 9 % lower than in the mid-position for peak velocity measurements. When examining VA flow, the greatest change was 7 %, observed in the contralateral VA after CSM. These blood flow changes were relatively small and, according to Licht et al., not considered clinically significant [33].

Approximately 50 % of total cervical rotation occurs at the atlantoaxial region. During rotation, it is proposed that the artery contralateral to the rotation side is stretched, while the ipsilateral artery is compressed against bony landmarks in that area. Cervical spinal manipulation is hypothesized to be a mechanism for vertebral artery injury due to rotational forces applied during many cervical spinal manipulation techniques.

Spinal manipulation interventions stretch the vertebral arteries well within the normal physiological range of neck movement, making it unlikely that spinal manipulation thrusts in the cervical region mechanically compromise the vertebral artery. Manipulation occurs within the normal physiological limits of cervical rotation and, therefore, is unlikely to alter or affect the hemodynamics of blood flow through the ipsilateral vertebral artery. Without pre-existing risk factors, hemodynamic measurements of the V3 segment of the vertebral artery indicate no significant differences in blood flow or blood velocity in the suboccipital part (V3) of the VA following head rotation or high-velocity low-amplitude manipulation procedures.

HVLA on Blood Pressure

Spinal Manipulative Therapy (SMT) on the upper cervical region can enhance parasympathetic dominance, while SMT on the lower cervical region increases sympathetic activity in healthy individuals. However, parasympathetic dominance has been observed in patients with neck pain who received both upper and lower cervical SMT. Upper cervical SMT has been shown to lower blood pressure in healthy individuals, whereas the effects of upper and lower cervical SMT on patient groups remain unclear. Nevertheless, a strong increase in vagal tone has been suggested to counteract sympathetic tone and stress-related effects or contribute to pain reduction.

Other underlying mechanisms for blood pressure reduction may include cervicosympathetic reflex stimulation, modulation of muscle tone, and the elimination of pressor reflex effects. Welch A. and Boone R., 2001, reported a significant reduction in blood pressure and pulse pressure but found no changes in heart rate following manipulation. Welch hypothesized that if the upper cervical segments are manipulated, a parasympathetic response would be triggered due to their proximity to the brainstem, where the motor nuclei of cranial nerves III, VII, IX, X, and XI are located. Conversely, manipulation of the upper thoracic or lower cervical segments would elicit a sympathetic

response due to the involvement of the stellate ganglion, which stimulates the sympathetic chain ganglia [34].

Another theory suggests that the reduction in systolic blood pressure following upper cervical SMT may be attributed to the activation of the cervical sympathetic reflex, which responds to signals from muscle spindles or Golgi tendon organs in the suboccipital spine to counteract the vestibulosympathetic reflex [20].

HVLA in Enhancing Handgrip Strength

Spinal manipulation can influence how the central nervous system responds to functional tasks. Cervical thrust techniques increase the resting electromyographic activity of the biceps brachii muscle, which enhances elbow flexor strength and may affect grip strength [35, 36]. However, the observed changes in grip strength only represented a 5 % increase from the baseline score, which is below the clinically significant threshold reported for this outcome measure [37]. Therefore, it was concluded that low-cervical and upper-thoracic thrust manipulation is no more effective than a placebo in inducing grip strength in patients with chronic, non-specific mechanical neck pain.

A lower pressure pain threshold, compared to healthy controls, has been observed in patients with chronic non-specific neck pain both locally at the cervical spine and along peripheral nerve trunks (median, radial, and ulnar nerves). Upper limb neurodynamic tests are used to detect increased mechanosensitivity of the brachial plexus nerve trunks and report their reliability levels [22].

In randomized controlled trials, the overall findings indicate that cervical or thoracic thrust manipulation has similar effects on improving the mechanosensitivity of upper limb nerve trunks and grip strength in patients with chronic, non-specific mechanical neck pain. However, all these changes were small and below the threshold considered clinically relevant [38].

Regarding free pain grip strength, it is concluded that spinal manipulation can influence how the central nervous system responds to functional tasks. Cervical thrust techniques increase the resting electromyographic activity of the biceps brachii muscle, which may enhance elbow flexor strength and affect grip strength. Immediate changes in grip strength have been observed following spinal manipulation in healthy individuals and in patients with lateral epicondylalgia, with improvements ranging from 10 % to 40 % of baseline values. Contrary to the findings of Bautista-Aguirre F. et al., changes in this study only represented a 5 % increase from the initial score, which was below the clinically significant threshold reported for this outcome measure. Therefore, it can be concluded that HVLA is not effective in improving neural mechanosensitivity or free pain grip strength in patients with chronic, non-specific mechanical neck pain [38].

HVLA in Enhancing Cervical Spine Muscle Strength

Adequate joint proprioception is crucial for muscle function, as dysfunctional spinal joints can alter mechanoreceptor input, affecting neural control of strength and tone. Poor sensory integration may lead to movement dysfunction or strength impairment, which can be addressed through manipulation. Segmental spinal dysfunction alters neurological input, reducing local muscle tone and weakening neck muscles, particularly in

those with neck pain. Treating upper and lower cervical dysfunction has shown positive effects on anterolateral neck flexor strength, including muscles like the longus colli, rectus capitis, scalenes, platysma, and sternocleidomastoid. The predicted weaker side demonstrated greater strength gains, leading to bilateral balance in clinical assessments. This suggests a link between atlas misalignment and asymmetric muscle strength, highlighting the role of segmental dysfunction in neural inhibition [22].

Previous studies on manipulation have only reported temporary treatment effects. The strength gains observed in the present study may also be temporary. Further research is needed to determine the duration of the positive effects of manipulation. The presence of strength enhancement following passive techniques highlights the potential role of neurological inhibition in weak muscles during examination. Although long-term strength gains are best achieved through therapeutic exercises, reducing inhibitory afferent input may optimize and accelerate recovery [22].

Manipulation benefits neurological function by inducing changes in afferent excitation levels from sensory impulses originating from spinal segments. Altered afferent input ultimately results in rapid changes in muscle strength. Treatment of segmental dysfunctions in the upper and lower cervical spine through manipulation

produces greater improvements in neck strength on the weaker side compared to the stronger side. This effect is more pronounced than treatment limited to lower cervical spine manipulations alone, suggesting that manipulation has neurological effects that result in immediate changes in muscle strength. This study also provides strong support for the necessity of segment-specific and direction-specific manipulative interventions in patients with mechanical neck pain [22].

CONCLUSION

HVLA manual therapy applied to the cervical spine shows promising potential in terms of both safety and effectiveness. Although certain risks must be considered, the clinical benefits of this therapy can be substantial, particularly in managing neck pain and improving functional capacity. Practitioners should consistently conduct thorough risk assessments and consider individual patient conditions to optimize treatment outcomes. The impact of HVLA on factors such as blood flow, blood pressure, handgrip strength, and cervical muscle strength has not been found to be significant, supporting its safety considerations. Despite its therapeutic effects, HVLA should not be considered a primary intervention in patient management.

ADDITIONAL INFORMATION

Rahmat Nugraha, Bachelor of Physiotherapy, Magister of Sports Physiology Concentration in Physiotherapy, Lecture, Health Polytechnic of Ministry of Health Indonesian Republic Makassar.

E-mail: rahmatnugraha@poltekkes-mks.ac.id;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9342-8785>

Rizky Wulandari Ramli, Student, Health Polytechnic of Ministry of Health Indonesian Republic Makassar.

Latifa Insani Nurhalim, Student, Health Polytechnic of Ministry of Health Indonesian Republic Makassar.

Sitti Rahma, Physiotherapist, Health Polytechnic of Ministry of Health Indonesian Republic Makassar.

Sri G Fahriana, Lecture, Pembangunan Nasional Veteran Jakarta University.

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: Nugraha R. — conceptualization, writing — original draft, writing — review & editing; Ramli R.W. — writing — original draft; Nurhalim L.I. — writing — original draft; Rahma S. — supervision; Fahriana S.G. — supervision.

Funding. This clinical study did not receive any external funding.

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.

References

- Giacalone A, Febbi M, Magnifica F, Ruberti E. The Effect of High Velocity Low Amplitude Cervical Manipulations on the Musculoskeletal System: Literature Review. *Cureus*. 2020; 12(4): e7682. <https://doi.org/10.7759/cureus.7682>
- Hurwitz E.L., Carragee E.J., van der Velde G., et al. Treatment of Neck Pain: Noninvasive Interventions. *Spine*, 2002; 33(4 Suppl): S123–S 52. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e3181644b1d>
- Fernandez-de-Las-Penas C., Alonso-Blanco C., Cuadrado M.L., Pareja J.A.. Myofascial trigger points in the suboccipital and upper trapezius muscles in episodic tension-type headache. *Headache: The Journal of Head and Face Pain*. 2007; 47(3): 312–322. <https://doi.org/10.1016/j.math.2006.07.003>
- Gross A.R., Hoving J.L., Haines T., et al. Manipulation and Mobilization for Mechanical Neck Disorders. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2015; 2015(9): CD004249. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004249.pub4>
- Cassidy J.D., Boyle, E., Côté P., et al. Risk of Vertebrobasilar Stroke and Chiropractic Care: Results of a Population-Based Case-Control and Case-Crossover Study. *Spine*. 2008; 33(4 Suppl): S176–S183. <https://doi.org/10.1097/BR5.0b013e3181644600>
- Puentedura E.J., Cleland J.A., Landers M.R., et al. Thoracic spine thrust manipulation for the management of patients with neck pain: a randomized clinical trial. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2012; 42(2): 66–75. <https://doi.org/10.2519/jospt.2012.3894>
- Roşu D., Rusu R., Radu P., Popescu A., Man C., Fleancu J., Tomuş A., Muntean R., Ursu V., Ştefănică V. The Impact of HVLA Manipulations and Therapeutic Massage in Increasing the Mobility of the Lateral Flexion of the Neck. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*. 2023; 14(4): 266–291. <https://doi.org/10.18662/brain/14.4/505>
- DiFabio R.P. Manipulation of the cervical spine: risks and benefits. *Physical Therapy*. 1999; 79(1): 50–65. <https://doi.org/10.1093/ptj/79.1.50>
- Giacalone A., Febbi M., Magnifica F., Ruberti E. The Effect of High Velocity Low Amplitude Cervical Manipulations on the Musculoskeletal System: Literature Review. *Cureus*. 2020; 12(4): e7682. <https://doi.org/10.7759/cureus.7682>

10. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J., et al. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009; 6(7): e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
11. García-Pérez-Juana D, Fernández-de-las-Peñas C, Arias-Buría J.L., et al. Changes in Cervicocephalic Kinesthetic Sensibility, Widespread Pressure Pain Sensitivity, and Neck Pain After Cervical Thrust Manipulation in Patients with Chronic Mechanical Neck Pain: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics.* 2018; 41(7): 551–560. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2018.02.004>
12. Shackleton E., Toutt C., Edwards D.J. Psychological context effects of participant expectation on pain pressure thresholds as an adjunct to cervicothoracic HVLA thrust manipulation: A randomised controlled trial. *International Journal of Osteopathic Medicine.* 2020; 35: 5–12. <https://doi.org/10.1016/j.ijosm.2019.11.003>
13. Whalen W., Farabaugh R.J., Hawk C., et al. Best-Practice Recommendations for Chiropractic Management of Patients with Neck Pain. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics.* 2019; 42(9): 635–650. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2019.08.001>
14. Casanova-Méndez A., Oliva-Pascual-Vaca Á., Rodríguez-Blanco C., et al. Comparative short-term effects of two thoracic spinal manipulation techniques in subjects with chronic mechanical neck pain: A randomized controlled trial. *Manual Therapy.* 2014; 19(4): 331–337. <https://doi.org/10.1016/j.math.2014.03.002>
15. Corum M., Aydin T., Medin Ceylan C., Kesiktaş F.N. The comparative effects of spinal manipulation, myofascial release and exercise in tension-type headache patients with neck pain: A randomized controlled trial. *Complementary Therapies in Clinical Practice.* 2021; 43: 101319. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2021.101319>
16. Giacalone A., Febbi M., Magnifica F., Ruberti E. The Effect of High Velocity Low Amplitude Cervical Manipulations on the Musculoskeletal System: Literature Review. *Cureus.* 2020; 12(4): e7682. <https://doi.org/10.7759/cureus.7682>
17. Dunning J., Mourad F., Barbero M., et al. Bilateral and multiple cavitation sounds during upper cervical thrust manipulation. *BMC Musculoskeletal Disorder.* 2013. Available at: <http://www.biomedcentral.com/1471-2474/14/24> (Accessed 01.02.2025).
18. Sparks C.L., Liu W.C., Cleland J.A., et al. Functional Magnetic Resonance Imaging of Cerebral Hemodynamic Responses to Pain Following Thoracic Thrust Manipulation in Individuals With Neck Pain: A Randomized Trial. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics.* 2017; 40(9): 625–634. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2017.07.010>
19. Malich P., Bitenc-Jasieńko A., Pasternak A., et al. The effect of HVLA manipulation on static and dynamic postural parameters — a case study of a patient with a blocked atlantooccipital transition. *Fizioterapi Polska.* 2024; 24(1): 215–225. <https://doi.org/10.56984/8ZG2EF8t5I>
20. Galindez-Ibarbengoetxea X., Setuain I., González-Izal M., et al. Randomised controlled pilot trial of high-velocity, low-amplitude manipulation on cervical and upper thoracic spine levels in asymptomatic subjects. *International Journal of Osteopathic Medicine.* 2017; 25: 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijosm.2016.11.004>
21. Haas M., Bronfort G., Evans R., et al. Dose-response and efficacy of spinal manipulation for care of cervicogenic headache: a dual-center randomized controlled trial. *Spine Journal.* 2018; 18(10): 1741–1754. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.02.019>
22. Metcalfe S., Reese H., Sydenham R. Effect of high-velocity low-amplitude manipulation on cervical spine muscle strength: A randomized clinical trial. *Journal of Manual and Manipulative Therapy.* 2006; 14(3): 152–158. <https://doi.org/10.1179/106698106790835687>
23. Pires P.F., Packer A.C., Dibai-Filho A.V., Rodrigues-Bigaton D. Immediate and Short-Term Effects of Upper Thoracic Manipulation on Myoelectric Activity of Sternocleidomastoid Muscles in Young Women with Chronic Neck Pain: A Randomized Blind Clinical Trial. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics.* 2015; 38(8): 555–563. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2015.06.016>
24. Quesnele J.J., Triano J.J., Noseworthy M.D., Wells G.D. Changes in vertebral artery blood flow following various head positions and cervical spine manipulation. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics.* 2014; 37(1): 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2013.07.008>
25. Wirth B., Gassner A., de Bruin E.D., et al. Neurophysiological Effects of High Velocity and Low Amplitude Spinal Manipulation in Symptomatic and Asymptomatic Humans: A Systematic Literature Review. *Spine (Phila Pa 1976).* 2019; 44(15): E914–E926. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000003013>
26. LaPelusa A., Bordoni B. High-Velocity Low-Amplitude Manipulation Techniques [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2025 Jan. [updated 2023 Jun 4; cited 2025 Jun 15]. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK574527/> (Accessed 01.02.2025).
27. Elder B., Tishkowsky K. Osteopathic Manipulative Treatment: HVLA Procedure - Cervical Vertebrae. Treasure Island (FL): StatPearls. 2022. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK565847/> (Accessed 01.02.2025).
28. Martínez-Segura R., Fernández-de-las-Peñas C., Ruiz-Sáez M., et al. Immediate Effects on Neck Pain and Active Range of Motion After a Single Cervical High-Velocity Low-Amplitude Manipulation in Subjects Presenting with Mechanical Neck Pain: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics.* 2006; 29(7): 511–517. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2006.06.022>
29. Carlesso L.C., Gross A.R., Santaguida P.L., Burnie S.J. Adverse Events Associated With Spinal Manipulation Therapy (SMT) for the Treatment of Neck and/or Low Back Pain: A Systematic Review. *Manual Therapy.* 2011; 16(5): 490–497. <https://doi.org/10.1016/j.math.2011.02.005>
30. Clements B., Gibbons P., McLaughlin P. The amelioration of atlanto-axial rotation asymmetry using high velocity low amplitude manipulation” Is the direction of thrust important? In *Journal of Osteopathic Medicine.* 2001; 4(1): 8–14. [https://doi.org/10.1016/S1443-8461\(01\)80038-1](https://doi.org/10.1016/S1443-8461(01)80038-1)
31. Symons B.M., Leonard T., Herzog W. Internal forces sustained by the vertebral artery during spinal manipulative therapy. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics.* 2020; 25(8): 504–510. <https://doi.org/10.1067/mmt.2002.127076>
32. Wuest S., Symons B., Leonard T., Herzog W. Preliminary Report: Biomechanics of Vertebral Artery Segments C1-C6 During Cervical Spinal Manipulation. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics.* 2010; 33(4): 273–278. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2010.03.007>
33. Yurdakul M., Tola M. Doppler criteria for identifying proximal vertebral artery stenosis of 50 % or more. *Journal of ultrasound in medicine: official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine.* 2011; 30(2): 163–168. <https://doi.org/10.7863/jum.2011.30.2.163>
34. Welch A., Boone R. Sympathetic and parasympathetic responses to specific diversified adjustments to chiropractic vertebral subluxations of the cervical and thoracic spine. *Journal of chiropractic medicine.* 2008; 7(3): 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2008.04.001>
35. Dunning J., Rushton A. The effects of cervical high-velocity low-amplitude thrust manipulation on resting electromyographic activity of the biceps brachii muscle. *Manual Therapy.* 2009; 14(5): 508–513. <https://doi.org/10.1016/j.math.2008.09.003>
36. Suter E., Mcmorland G. Brief report Decrease in elbow flexor inhibition after cervical spine manipulation in patients with chronic neck pain. 2002; 17(7): 541–544. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(02\)00025-6](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(02)00025-6)
37. Kim J.K., Park M.G., Shin S.J. What is the minimum clinically important difference in grip strength? *Clinical Orthopaedics and Related Research.* 2014; 472(8): 2536–2541. <https://doi.org/10.1007/s11999-014-3666-y>
38. Bautista-Aguirre F., Oliva-Pascual-Vaca Á., Heredia-Rizo A. M., et al. Effect of cervical vs. thoracic spinal manipulation on peripheral neural features and grip strength in subjects with chronic mechanical neck pain: A randomized controlled trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine.* 2017; 53(3): 333–341. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.17.04431-8>

Усовершенствованная аппаратная пневмокомпрессия с имитацией мануального лимфодренажа в реабилитации пациентов с лимфедемой, связанной с раком груди: обзор

 Апханова Т.В.* ,  Кончугова Т.В.,  Мусаева О.М.,  Морунова В.А.,  Васильева В.А.,
 Щербакова О.А.,  Агасаров Л.Г.,  Назарова К.М.,  Марченкова Л.А.

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

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Совершенствование онкологических стратегий лечения привело к повышению показателей выживаемости пациентов с раком молочной железы, чем обусловлен рост числа пациентов с лимфедемой, связанной с радикальным лечением рака груди (ЛСРГ). Актуальным является поиск эффективных дополнительных вмешательств, таких как модифицированные программы переменной пневматической компрессии (ППК), которые могут быть включены в самостоятельные программы лечения пациентов с ЛСРГ, в том числе для применения в домашних условиях.

ЦЕЛЬ. Изучение эффективности различных современных технологий ППК при ЛСРГ на основе анализа систематических обзоров и метаанализов рандомизированных контролируемых исследований (РКИ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Поиск проводился в базах данных eLIBRARY.RU, Scopus, PubMed, Web of Science, PEDro по ключевым словам на русском и английском языках: лимфедема, верхние конечности, рак груди, переменная пневмокомпрессия с 1998 по 2024 г. Всего на март 2024 г. было отобрано 53 источника, из которых 17 составили систематические обзоры, 1 — Кокрановский обзор, 4 — практические руководства, а также 31 РКИ (58,49 %).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Проанализированные систематические обзоры не смогли продемонстрировать убедительность дополнительной ценности метода мануального лимфодренажа (МЛД) в составе комплексной противоотечной терапии (КПТ). Поэтому нами были проанализированы результаты РКИ по применению стандартных и модифицированных программ ППК, которые могут включаться в самостоятельные программы лечения пациентов, в том числе для применения в домашних условиях. Эффективность ППК подтверждается результатами большого количества публикаций, оценивающих эффективность ППК при ЛСРГ. Проведенные исследования включали в себя следующие вмешательства: комбинацию КПТ и ППК или только ППК, при этом давление, используемое при ППК, составляло от 40 до 60 мм рт. ст., а продолжительность процедуры ППК варьировалась от 30 минут до 2 часов. Результаты показали, что дополнительное использование ППК к КПТ может облегчить лимфедему, но существенной разницы между обычным лечением лимфедемы с использованием пневматического насоса и без него не было. Установлено, что во время интенсивной фазы (фаза I) лечения КПТ в сочетании с ППК обеспечила значительно большее среднее уменьшение объема, чем только КПТ (43,1 % против 37,5 %; $p = 0,036$). В единичных проведенных исследованиях было установлено, что применение методики усовершенствованной аппаратной пневмокомпрессии (УАПК) с имитацией МЛД превосходит стандартную методику ППК и более адаптировано к длительному домашнему применению у пациентов с ЛСРГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Таким образом, анализ опубликованных источников показал, что КПТ в сочетании с ППК более эффективно уменьшает избыточный объем и избыточную окружность верхней конечности с лимфедемой в течение относительно короткого периода наблюдения (до 8 недель после окончания физиотерапии). Кроме того, сочетанное применение КПТ + ППК может улучшить подвижность плеча в четырех функциональных положениях: отведение, разгибание, сгибание и наружная ротация, что может служить основанием для периодического непрерывного поддерживающего лимфодренажного лечения для сохранения противоотечного эффекта. Также было показано, что применение методики УАПК с имитацией МЛД превосходит ППК и более адаптировано к длительному домашнему применению у пациентов с ЛСРГ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: лимфедема руки, рак молочной железы, реабилитация, мануальный лимфодренаж, переменная пневмокомпрессия

Для цитирования / For citation: Апханова Т.В., Кончугова Т.В., Мусаева О.М., Морунова В.А., Васильева В.А., Щербакова О.А., Агасаров Л.Г., Назарова К.М., Марченкова Л.А. Усовершенствованная аппаратная пневмокомпрессия с имитацией мануального лимфодренажа в реабилитации пациентов с лимфедемой, связанной с раком груди: обзор. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(4):141–155. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-141-155> [Apkhanova T.V., Konchugova T.V., Musaeva O.M., Morunova V.A., Vasilieva V.A., Shcherbakova O.A., Agasarov L.G., Nazarova K.M., Marchenkova L.A. Advanced Pneumatic Compression Device with Simulated Manual Lymphatic Drainage in Rehabilitation of Patients with Breast Cancer Related Lymphedema: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):141–155. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-141-155> (In Russ.).]

* Для корреспонденции: Апханова Татьяна Валерьевна, E-mail: apkhanovatv@nmicrk.ru

Статья получена: 21.05.2025
Статья принята к печати: 19.06.2025
Статья опубликована: 16.08.2025

Advanced Pneumatic Compression Device with Simulated Manual Lymphatic Drainage in Rehabilitation of Patients with Breast Cancer Related Lymphedema: a Review

 Tatiana V. Apkhanova*,  Tatiana V. Konchugova,  Olga M. Musaeva,
 Valentina A. Morunova,  Valeriia A. Vasileva,  Olesya A. Shcherbakova,
 Lev G. Agasarov,  Kristina M. Nazarova,  Larisa A. Marchenkova

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

ABSTRACT

INTRODUCTION. Improvements in oncological treatment strategies have led to improved survival rates for breast cancer patients, which is responsible for the increasing number of patients with Breast Cancer Related Lymphedema (BCRL). The search for effective complementary interventions, such as modified Intermittent Pneumatic Compression (IPC) programmes, that can be incorporated into stand-alone treatment programmes for patients with BCRL, including for use at home, is relevant.

AIM. To study the efficacy of different modern intermittent pneumatic compression techniques in BCRL based on the analysis of systematic reviews and meta-analyses of randomized controlled trials (RCTs).

MATERIALS AND METHODS. The search was conducted in the databases eLIBRARY.RU, Scopus, PubMed, Web of Science, and PEDro using the keywords "lymphedema", "upper extremities", "breast cancer", and "variable pneumocompression" from 1998 to 2024. A total of 53 sources were selected for March 2024, of which 17 were systematic reviews, one was a Cochrane review, four were practice guidelines and 31 were RCTs (58.49 %).

RESULTS AND DISCUSSION. The systematic reviews analyzed were unable to demonstrate convincingly the added value of manual lymphatic drainage (MLD) as part of a Complex Decongestive Therapy (CDT). Therefore, we analyzed the results of RCTs on the use of standard and modified IPC programmes that can be included in stand-alone patient treatment programmes, including those for home use. The efficacy of IPC is supported by the results of a large number of publications evaluating the efficacy of IPC in BCRL. The studies included the following interventions: a combination of CDT and IPC or IPC alone, with the pressure used for IPC ranging from 40 to 60 mmHg and the duration of the IPC procedure varying from 30 minutes to 2 hours. The results showed that the adjunctive use of IPC to CDT could alleviate lymphedema, but there was no significant difference between conventional treatment of lymphedema with and without pneumatic pump. It was found that during the intensive phase (phase I) of treatment, CDT combined with IPC provided significantly greater mean volume reduction than CDT alone (43.1 % vs. 37.5 %; $p = 0.036$). In the few studies conducted, the use of the Advanced Pneumatic Compression Device (APCD) technique with simulated MLD was found to be superior to the standard ADPC technique and more adaptable to long-term home use in patients with BCRL.

CONCLUSION. Thus, analysis of published sources showed that CDT combined with IPC is more effective in reducing excess volume and excess circumference of the upper limb with lymphedema during a relatively short follow-up period (up to 8 weeks after the end of physiotherapy). In addition, the combined application of CDT + IPC can improve the shoulder mobility in four functional positions: extension, flexion and external rotation, which can be the basis for periodic continuous supportive lymphatic drainage treatment to maintain the anti-edema effect. It has also been shown that the use of the APCD technique with simulated MLD is superior to IPC and more adapted to long-term home use in patients with BCRL.

KEYWORDS: arm lymphedema, breast cancer, rehabilitation, manual lymphatic drainage, intermittent pneumatic compression

For citation: Apkhanova T.V., Konchugova T.V., Musaeva O.M., Morunova V.A., Vasileva V.A., Shcherbakova O.A., Agasarov L.G., Nazarova K.M., Marchenkova L.A. Advanced Pneumatic Compression Device with Simulated Manual Lymphatic Drainage in Rehabilitation of Patients with Breast Cancer Related Lymphedema: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):141–155. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-141-155> (In Russ.).

* **For correspondence:** Tatiana V. Apkhanova, E-mail: apkhanovatv@nmicrk.ru

Received: 21.05.2025

Accepted: 19.06.2025

Published: 16.08.2025

ВВЕДЕНИЕ

Во всем мире рак молочной железы (PMЖ) диагностируется у 2,3 млн женщин ежегодно [1]. Совершенствование онкологических стратегий лечения привело к повышению показателей выживаемости пациентов с PMЖ [2].

Следовательно, все больше и больше выживших пациентов сталкиваются с последствиями ятрогенных повреждений, связанных с радикальным лечением PMЖ, причем более чем у 16 % из них развивается лимфедема, связанная с раком груди (ЛСРГ) [3].

В последние десятилетия в Российской Федерации также отмечается рост числа пациентов с PMЖ, перенесших оперативное лечение с диссекцией регионарных лимфатических узлов и лучевой терапией [4]. Развивающиеся в отдаленные послеоперационные периоды тяжелые формы вторичной лимфедемы руки отличаются высокой резистентностью к лечению и требуют длительного применения интенсивных дорогостоящих вмешательств [5, 6]. Также установлено, что ЛСРГ может отрицательно влиять на психологический комфорт, функциональность и качество жизни пациентов.

Комплексная противоотечная терапия (КПТ) в настоящее время остается золотым стандартом консервативного лечения лимфедемы конечностей и поддерживается результатами многочисленных рандомизированных клинических исследований (РКИ), а также входит как терапия первой линии в основные международные и национальные руководства по ведению пациентов с ЛСРГ. В то же время применение компонентов КПТ (мануальный лимфодренаж (МЛД), компрессионное биндование конечности, физические упражнения и уход за кожей) отличается изнурительностью, высокой стоимостью и низкой приверженностью пациентов лечению [7].

КПТ является четырехкомпонентным консервативным вмешательством, состоящим из 1-й фазы (интенсивной), направленной на уменьшение отека, и 2-й фазы (поддерживающей), направленной на сохранение результатов 1-й фазы, то есть на удержание ранее достигнутого уменьшенного отека.

В течение десятилетий ручной лимфодренаж/МЛД широко используется для лечения ЛСРГ, тем не менее эффективность МЛД как составляющей части КПТ вызывает вопросы и остается дискуссионной [8].

В Кокрановском систематическом обзоре 2015 г., включавшем 6 РКИ, была проведена оценка эффективности и безопасности МЛД при лечении ЛСРГ, при этом изучались первичные результаты (объемные изменения и неблагоприятные события), а также вторичные результаты (функция руки, субъективные ощущения, качество жизни и стоимость лечения) [8]. Авторы разделили РКИ на основе схожих дизайнов на три категории:

1) МЛД + стандартная физиотерапия против стандартной физиотерапии (1 РКИ) показали значительные улучшения в обеих группах по сравнению с исходным уровнем, но не было значительных различий между группами по процентному снижению отека [9]. Авторы сообщили, что в конце фазы I существенных различий между группами не наблюдалось ($p = 0,66$), поэтому авторы объединили данные по обеим группам и сообщили об общем статистически значимом снижении на 43 % по сравнению с исходным уровнем ($p \leq 0,001$).

2) МЛД + компрессионное биндование против компрессионного биндования (2 РКИ) показали значительные процентные снижения от 30 % до 38,6 % для одного компрессионного биндования и дополнительное снижение на 7,11 % для МЛД + компрессионное биндование (SMD = 7,11 %; 95% ДИ: 1,75–12,47 %; 2 РКИ; 83 участника). Уменьшение объема конечности не было значимым. Анализ подгрупп был значимым, показывая, что участники с легкой и средней степенью ЛСРГ лучше реагировали на МЛД, чем участники со средней и тяжелой степенью лимфедемы [10, 11].

3) МЛД + компрессионная терапия по сравнению с лечением без МЛД + компрессионная терапия (3 РКИ). В одном из испытаний сравнивали компрессионный рукав + МЛД с компрессионным рукавом + ППК [12]. Уменьшение объема было статистически значимым в пользу МЛД (MD — 47,00 мл; 95% ДИ: 15,25–78,75 мл; 1 РКИ; 24 участника), процентное уменьшение не было значимым ($p = 0,07$), объем лимфедемы не был значимым. Во втором исследовании компрессионный рукав + МЛД сравнивался с компрессионным рукавом + самостоятельный простой лимфодренаж (Self-Lymph Drainage/SLD), МЛД был значимым для объема лимфе-

демы (SMD = 230,00 мл, 95% ДИ: от 450,84 мл до –9,16 мл; 1 РКИ; 31 участник), но не для уменьшения объема или процента уменьшения [13]. Третье исследование МЛД + компрессионное биндование по сравнению с SLD + компрессионное биндование [14] не было значимым ($p = 0,10$) для процента уменьшения, единственного измеряемого результата (MD — 11,80 %, 95% ДИ: 2,47–26,07 %, 28 участников) [12–14].

Авторы данного Кокрановского обзора пришли к следующим выводам: МЛД безопасен и может обеспечить дополнительную пользу при сочетании с компрессионным биндованием для уменьшения отека. Результаты были противоречивыми в отношении функции (диапазона движений) и неубедительными в отношении качества жизни. Что касается таких симптомов, как боль и тяжесть, от 60 % до 80 % участников сообщили об улучшении самочувствия независимо от того, какое лечение они получали. Годовое наблюдение показало, что после уменьшения отека участники, скорее всего, будут его поддерживать на низком уровне, если продолжат использовать изготовленный на заказ компрессионный рукав.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили выводы о том, что интенсивная противоотечная физиотерапия (1-я фаза КПТ) значительно снижает объем конечностей с лимфедемой и улучшает повседневное функционирование у пациентов с ЛСРГ. Кроме того, было показано, что добавленная ценность МЛД (по сравнению с плацебо/отсутствием МЛД) по сравнению с другими методами КПТ для лечения ЛСРГ довольно ограничена.

Исследование De Vrieze T. et al. 2022 г. было направлено на подтверждение клинической эффективности МЛД в составе КПТ при ЛСРГ. При этом ручной лимфодренаж был оптимизирован путем его адаптации к пациенту с помощью флюоресцентной лимфографии с индоцианидом зеленым [15]. В 5 больницах Бельгии было отобрано 194 пациента, которые были рандомизированы на 3 группы: МЛД под рентгеноскопическим контролем ($n = 65$); традиционный МЛД ($n = 64$) и плацебо-МЛД ($n = 65$). Всем пациентам выполнялись стандартная лимфатическая терапия, включающая обучение, уход за кожей, компрессионная терапия, физические упражнения в виде 14 сеансов интенсивной фазы КПТ (3 недели вмешательства) и 17 сеансов поддерживающей фазы КПТ (6 месяцев наблюдения).

После фазы интенсивного лечения избыточный объем лимфатического отека уменьшился во всех трех группах: в группе МЛД под контролем рентгеноскопии (абсолютное уменьшение избыточного объема на 5,3 % (в процентных пунктах) или относительное уменьшение на 23,3 %) и в группе традиционного МЛД (абсолютное уменьшение на 5,2 % или относительное уменьшение на 20,9 %), а также в группе плацебо (абсолютное уменьшение на 5,4 % или относительное уменьшение на 24,8 %). Однако клинически значимых различий в уменьшении объема между группами выявлено не было, при этом все межгрупповые различия и их доверительные интервалы имели величину менее 2 процентных пунктов.

Таким образом, данное РКИ De Vrieze T. et al. в 2022 г. показало, что традиционный МЛД и МЛД под контролем флюоресцентной лимфографии с индоцианидом

зеленым в качестве дополнения к КПТ не превосходили плацебо-МЛД в снижении объема руки или накопления жидкости на уровне плеча/туловища у пациентов с ЛСРГ [15].

Таким образом, систематические обзоры, включающие Кокрановский систематический обзор (2015), не смогли продемонстрировать какую-либо дополнительную ценность метода МЛД в составе КПТ [8, 16]. Четыре проведенных РКИ также не смогли продемонстрировать какой-либо существенный эффект добавления традиционного МЛД к КПТ в уменьшении объема лимфедемы [17–20].

Поэтому в настоящее время актуальным является поиск эффективных дополнительных вмешательств, таких как модифицированные программы переменной пневматической компрессии (ППК), которые могут быть включены в самостоятельные программы лечения пациентов, в том числе для применения в домашних условиях [21].

ЦЕЛЬ

Изучение эффективности различных современных технологий переменной пневмокомпрессии при ЛСРГ на основе анализа систематических обзоров и метаанализов РКИ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск проводился в базах данных eLIBRARY.RU, Scopus, PubMed, Web of Science, PEDro по ключевым словам на русском и английском языках: лимфедема, верхние конечности, рак груди, переменная пневмокомпрессия с 1998 по 2024 г. Всего на март 2024 г. было отобрано 53 источника, из которых 17 составили систематические обзоры, 1 — Кокрановский обзор, 4 — клинические руководства, а также 31 РКИ (58,49 %).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Технологии ППК эволюционировали от однокамерных манжет-сапожков в 1950-х гг. до многокамерных манжет и усовершенствованных пневматических насосов, которые обеспечивают последовательную или перистальтическую компрессию по восходящей схеме вверх по конечности, варьируясь по временным циклам и величинам давления, начиная от устройств с низким давлением и медленной скоростью нагнетания воздуха до устройств с высоким давлением и быстрой скоростью нагнетания воздуха [22, 23].

Эффективность ППК подтверждается результатами большого количества публикаций, оценивающих эффективность ППК при ЛСРГ [24–28].

Установлено, что при применении ППК отмечаются положительные изменения в объеме конечности, физическом и эмоциональном состоянии пациентов. Продолжительность лечения варьировалась от 10 дней до 12 недель, при этом значительное уменьшение объема конечности было обнаружено в каждом исследовании (в диапазоне от 5,8 % до 45,3 %).

Наиболее полный систематический обзор Tran K. в 2017 г. результатов исследований, посвященных эффективности ППК при ЛСРГ, выявил ряд проблемных аспектов ее клинического применения:

1) спорные результаты клинической эффективности ППК, как дополнения к КПТ в 1-ю и 2-ю фазы лечения;

2) зависимость эффективности ППК от уровня давления в пневматических манжетах — какой уровень давления является оптимальным: высокий или низкий?

3) возможности применения ППК в домашних условиях для сохранения результатов противоотечного лечения;

4) применение аппаратных методов лимфодренажа, имитирующих МЛД, демонстрируют большую клиническую эффективность, но требуют более детального изучения на большем количестве пациентов [29].

Несмотря на существующие доказательства эффективности ППК при лимфедеме, в первую очередь за счет противоотечного действия, применение ППК некоторыми авторами не поддерживается из-за развивающихся побочных эффектов, в том числе рецидива отека из-за остаточных белков, которые остаются в интерстициальном пространстве, и потенциального повреждения лимфатической структуры из-за применения высокого компрессионного давления [30, 31].

В данном обзоре литературы [29] из 143 выявленных источников 123 источника были исключены, а 20 публикаций были отобраны для полнотекстового анализа, в том числе 1 систематический обзор и метаанализ [32], 3 РКИ и 2 клинических руководства [33, 34].

Систематический обзор и метаанализ Shao Y. в 2014 г. [32] включал семь РКИ с использованием ППК для лечения ЛСРГ ($n = 287$). Лимфатический отек руки определялся как абсолютное увеличение объема руки не менее чем на 10 % или 2 см по сравнению с непораженной рукой.

Вмешательства включали в себя комбинацию КПТ и ППК или только ППК. В качестве сравнения использовались только КПТ с МЛД. Давление, используемое при ППК, составляло от 40 до 60 мм рт. ст., а продолжительность процедуры ППК варьировалась от 30 минут до 2 часов. Клинические результаты включали процентное снижение отека и субъективные симптомы, такие как тяжесть, боль и напряжение в руке, а также подвижность суставов. Период лечения составлял от 2 до 15 недель, а период наблюдения — от 2 недель до 3 месяцев. Результаты показали, что использование ППК может облегчить лимфедему, но существенной разницы между обычным лечением лимфедемы с использованием пневматического насоса и без него не было. Таким образом, этот систематический обзор не показал эффективности добавления ППК к стандартному лечению ЛСРГ.

Также в обзор Tran K. 2017 г. [29] были включены два научно обоснованных руководства, опубликованных в 2011 (Японская исследовательская группа по лимфедеме) [33] и 2014 г. (Руководство по клинической практике при лимфедеме Квинсленда, Австралия) [34]. В японском Руководстве (Japan Lymphoedema Study Group) не приводится доказательств того, что ППК может уменьшить лимфедему конечностей (класс D).

В австралийском Руководстве по лечению лимфедемы (Queensland Health) предлагается использовать ППК в сочетании с другими программами лечения в течение короткого периода, до 2 месяцев, для уменьшения лимфедемы, связанной с операцией по удалению рака молочной железы, независимо от количества камер или времени цикла.

Результаты систематического обзора Shao Y. в 2014 г. [32] и РКИ Gurdal S.O. в 2012 г. [35] показали, что сочетание КПТ и ППК не оказывает существенного влияния на уменьшение отека по сравнению с одним только КПТ. Давление внутри камер насосов ППК, используемых в этих исследованиях, составляло от 25 до 60 мм рт. ст.

В систематическом обзоре Shao Y. 2014 г. [32] не было выявлено существенных различий в уровне боли и парестезии между группой КПТ в сочетании с ППК и группой КПТ без ППК. Пациенты из группы КПТ без ППК чувствовали меньшую тяжесть, чем пациенты из группы КПТ в сочетании с ППК. Также данный систематический обзор не выявил существенных различий в подвижности суставов между группой КПТ + ППК и группой КПТ, хотя в обеих группах наблюдалось улучшение по сравнению с исходным уровнем.

В РКИ Gurdal S.O. в 2012 г. [35] также не было выявлено статистически значимых различий между само-массажем в сочетании с ППК и МЛД в сочетании с компрессионными бандажами в плане качества жизни, оцениваемого по тестам Американской ассоциации хирургов плеча и локтя (ASES) или Европейской организации по исследованию и лечению рака (EORTC) QLQ-C30 [35].

Также ни в одном из исследований не сообщалось о нежелательных явлениях, связанных с ППК.

В проведенном РКИ Tastaban E. et al. в 2020 г. ($n = 76$) также изучалась роль ППК в лечении ЛСРГ. Пациенты были распределены на группу КПТ ($n = 38$) и группу КПТ + ППК ($n = 38$). Проводилась оценка изменений объемных измерений, выраженность боли, тяжесть, скованность, нетрудоспособность, сила сжатия и выраженность депрессии до и после лечения. После лечения значительно уменьшился избыточный объем (с 373 до 203 мл в группе КПТ и с 379,5 до 189,5 мл в группе КПТ + ППК). Процент избыточных объемов снизился в обеих группах. Процентное уменьшение избыточного объема было лучше в группе КПТ + ППК, чем в группе КПТ, но межгрупповая разница не была значительной. Авторы пришли к выводу, что ППК в комплексе с КПТ может быть функциональной для уменьшения ощущений тяжести и скованности у пациентов с ЛСРГ [36].

В РКИ Haghighat S. et al. 2010 г. 112 пациентов были рандомизированы на 2 группы: КПТ и КПТ + ППК. Во время интенсивной фазы (фаза I) лечения КПТ в сочетании с ППК обеспечила значительно большее среднее уменьшение объема, чем только КПТ (43,1 % против 37,5 %; $p = 0,036$). Объем конечности, измеренный через 3 месяца после лечения, показал снижение объема на 16,9 % при использовании только КПТ и на 7,5 % при использовании КПТ в сочетании с ППК в лечении лимфедемы после мастэктомии [37].

В РКИ Uzkeser H. 2015 г. ($n = 31$) пациенты были рандомизированы на 2 группы: КПТ ($n = 15$) и КПТ + ППК ($n = 16$). Длительность лечения составила 3 недели. Наблюдалась значительная разница в обеих группах при сравнении их до и после терапии. Исходная разница в объеме в группе 1 составила 630 (180–1820) мл, а после терапии — 480 (0–1410) мл. В группе 2 исходная разница в объеме составила 840 (220–3460) мл, а после терапии — 500 (60–2160) мл. Однако существенных различий между двумя группами по вышеупомянутым па-

раметрам выявлено не было. Это РКИ также не выявило существенных различий между группами лечения [38].

В систематический обзор с метаанализом Rafn B.S. et al. в 2023 г. были включены 18 систематических обзоров и 51 РКИ. В результате поиска авторами было выявлено 1569 исследований, и были включены 18 систематических обзоров с метаанализом с 40 РКИ ($n = 1970$), изучалась эффективность МЛД, ППК, физических упражнений, кинезиотейпирования, лазеротерапии и акупунктуры. Анализ выявил небольшой эффект во всех вмешательствах по сравнению с любым контролем ($g = 0,20$, $p = 0,047$, $I^2 = 0,79$), что соответствует сокращению объема на 119,7 мл (95% ДИ: 135–104) и 88,0 мл (95% ДИ: 99–77) в группах вмешательства и контроля соответственно, а также небольшой эффект упражнений ($g = 0,26$, $p = 0,022$, $I^2 = 0,44$). Различия между группами в уменьшении объема были небольшими и не достигли статистической значимости для любого из методов лечения [39].

Краткие результаты проанализированных исследований представлены в таблице 1.

Технологические достижения последних лет привели к разработке устройств ППК, которые включают сложные режимы компрессии, разработанные для имитации процесса по принципам МЛД. Такие режимы включают многокамерные изделия, которые надуваются и сдуваются в различных режимах и давлениях и применяют компрессию в проксимально-дистальном цикле [40]. Однако существует небольшое количество исследований, подтверждающих эффективность таких режимов.

При анализе результатов научных исследований, посвященных применению ППК при ЛСРГ, были отобраны публикации, посвященные эффективности сочетанного применения КПТ и ППК, являющихся одними из основных методов компрессионного лечения при ЛСРГ.

Так, в исследованиях Szuba A. в 2002 г. [24], Szolnoky G. в 2009 г. [41], Haghighat S. в 2010 г. [37], систематическом обзоре Hou S. в 2024 г. [42] было установлено синергичное усиление эффекта при сочетанном применении КПТ и ППК в уменьшении объема руки у пациентов с ЛСРГ.

В других публикациях (Gurdal S.O. в 2012 г. [35], Uzkeser H. в 2013 г. [38], Sanal-Toprak C. в 2019 г. [43], Tastaban E. в 2020 г. [36], систематических обзорах Shao Y. в 2014 г. [32], Rogan S. в 2016 г. [31], Rafn B.S. в 2023 г. [39], Yao M. в 2024 г. [44]) было отмечено уменьшение избыточного объема конечностей с лимфедемой в обеих группах (КПТ и КПТ + ППК) без существенной разницы между группами.

В метаанализах Li J.X. 2022 г. [45] и Yao M. 2024 г. [44] отмечена существенная разница в подвижности суставов (внешней ротации плеча) при сочетании КПТ и ППК у пациентов с ЛСРГ.

Также проанализированы результаты исследований, сравнивающих эффективность усовершенствованных устройств для пневматической компрессии, которые имитируют процесс МЛД, со стандартной методикой ППК. В исследовании Fife C.E. 2012 г. авторы провели сравнение эффективности применения двух видов пневмокомпрессии: усовершенствованной аппаратной пневмокомпрессии (УАПК) и стандартной ППК у пациентов с ЛСРГ в домашних условиях после проведения интенсивной фазы КПТ [27].

Таблица 1. Результаты включенных систематических обзоров с метаанализом, рандомизированных контролируемых исследований, посвященных эффективности переманной пневматической компрессии после радикального лечения рака груди
Table 1. Results of included systematic reviews with meta-analyses, randomised controlled trials on the efficacy of Intermittent pneumatic compression after radical treatment of breast cancer

Автор, год / Author, year	Вмешательства / Interventions	Контроль / Control	Количество пациентов / Number of patients	Первичные и вторичные точки / Primary and secondary points	Основные результаты / Main results
Szuba A., 2002 РКИ / RCT_s	КПТ + ППК / CDT + IPC	КПТ / IPC	50	Объем конечности методом вытеснения воды, тонометрия тканей (эластичность кожи) и гониометрия (подвижность суставов) / Limb volume by water displacement method, tissue tonometry (skin elasticity) and goniometry (joint mobility)	Добавление ППК к КПТ привело к дополнительно среднему уменьшению объема (45,3 % против 26 %; $p < 0,05$). ППК хорошо переносится без побочных эффектов, положительно влияя на эластичность кожи или амплитуду движений суставов / The addition of IPC to CDT resulted in an additional mean volume reduction (45.3 % versus 26 %; $p < 0.05$). IPC is well tolerated without side effects, positively affecting skin elasticity or joint movement amplitude
Szolnoky G., 2009 РКИ / RCT_s	КПТ + ППК / CDT + IPC	КПТ / CDT	27	Объем конечности, качество жизни / Limb volume, Quality of Life	Уменьшение объемов руки после курса лечения на 7,93 % и 3,06 %, через 1 месяц — на 9,02 % и 2,9 % и через 2 месяца — на 9,62 % и 3,6 % соответственно ($p < 0,05$) с существенной разницей между группами. Применение КПТ + ППК (МЛД + ППК) обеспечивает синергическое усиление эффекта КПТ в уменьшении объема руки / Hand volume reduction after treatment was 7.93 % and 3.06 %, after 1 month by 9.02 % and 2.9 % and after 2 months by 9.62 % and 3.6 % respectively ($p < 0.05$) with significant difference between groups. The use of CDT + IPC (MLD + IPC) provides a synergistic enhancement of the effect of IPC in reducing arm volume
Haghighat S., 2010 РКИ / RCT_s	КПТ + ППК / CDT + IPC	КПТ / CDT	112	Уменьшение объема руки / Reduction in arm volume	В фазу I КПТ + ППК обеспечили значительно большее среднее уменьшение объема, чем только КПТ (43,1 % против 37,5 %; $p = 0,036$). Объем руки, измеренный через 3 месяца после лечения, показал снижение объема на 16,9 % при использовании только КПТ и на 7,5 % при использовании КПТ + ППК / In phase 1, CDT + IPC provided significantly greater mean volume reduction than IPC alone (43.1 % vs. 37.5 %; $p = 0.036$). Arm volume measured 3 months after treatment showed a 16.9 % reduction in volume with IPC alone and a 7.5 % reduction with CDT + IPC

Автор, год / Author, year	Вмешательства / Interventions	Контроль / Control	Количество пациентов / Number of patients	Первичные и вторичные точки / Primary and secondary points	Основные результаты / Main results
Gurdal S.O., 2012 РКИ / RCT_s	ППК + самомассаж / IPC + Self-massage	КПТ / CDT	30	Окружность руки, качество жизни / Arm circumference, Quality of Life	Уменьшение окружности руки (на 14,9 % в группе 1 и на 12,2 % в группе 2) ($p < 0,001$) без существенной разницы ($p = 0,582$). В обеих группах улучшилось качество жизни без существенной разницы. IPC + самомассаж более применимы в домашних условиях / Reduction in arm circumference (14.9 % in group 1 and 12.2 % in group 2) ($p < 0.001$), with no significant difference ($p = 0.582$). Quality of life improved in both groups with no significant difference. IPC + self-massage is more applicable at home
Uzkeser H., 2013 РКИ / RCT_s	КПТ + ППК / CDT + IPC	КПТ — 15 процедур / CDT — 15 treatments	31	Окружности руки, разница в объеме конечностей, толщина кожи по данным УЗИ и болевые ощущения / Arm circumferences, limb volume differences, ultrasound skin thickness and pain	Значительная разница в обеих группах при сравнении их до и после терапии. Исходная разница в объеме в группе 1 составила 630 (180–1820) мл, а после терапии — 480 (0–1410) мл. В группе 2 исходная разница в объеме составила 840 (220–3460) мл, а после терапии — 500 (60–2160) мл. Однако существенных различий между двумя группами по вышеупомянутым параметрам выявлено не было / Significant difference in both groups when comparing them before and after therapy. The baseline difference in volume in group 1 was 630 (180–1820) and after therapy was 480 (0–1410). In group 2, the baseline difference in volume was 840 (220–3460) and after therapy it was 500 (60–2160). However, no significant differences were found between the two groups for the above-mentioned parameters
Shao Y., 2014 Метаанализ 7 РКИ / Meta- analysis of 7 RCTs	ППК / IPC	МЛД / MLD	287	Уменьшение объема, субъективные симптомы, подвижность суставов / Volume reduction, subjective symptoms, joint mobility	Нет разницы в добавлении компрессионного насоса к МЛД. SMD = 4,51 (95% ДИ: -7,01–16,03) / There is no difference in adding a compression pump to the MLD. SMD = 4.51 (95% CI: -7.01–16.03)

Автор, год / Author, year	Вмешательства / Interventions	Контроль / Control	Количество пациентов / Number of patients	Первичные и вторичные точки / Primary and secondary points	Основные результаты / Main results
Rogan S., 2016 Метаанализ 19 РКИ из 32 РКИ / Meta-analysis of 19 RCTs out of 32 RCTs	ППК / IPC	СтЛТ / StLT	135	Уменьшение объема / Volume reduction	Уменьшение объема с дополнительным использованием насоса. SMD = 0,54 (95% ДИ от -1,01 до -0,064) / Volume reduction with additional use of a pump. SMD = 0.54 (95% CI from -1.01 to -0.064)
Fife C.E., 2012 Пилотный РКИ / Pilot RCT ₅	УАПК (Flexitach, США) / APCD (Flexitach, USA)	Стандарная ППК / Standard IPC	36	Объем конечности, биоимпеданс / Limb volume, bioimpedance	Значительное уменьшение отека руки и количества жидкости в тканях при использовании УАПК по сравнению с ППК, а также меньшее количество осложнений / Significant reduction in arm oedema and amount of fluid in the tissues with APCD compared to IPC, and fewer complications
Sanal-Toprak C., 2019 РКИ / RCT ₅	ППК + компрессионный бандаж 3 раза в неделю / IPC + 5 недель / MLD + compression bandage 3 times a week/5 weeks	МЛД + компрессионный бандаж 3 раза в неделю / MLD + 3 times a week/5 weeks	46	Окружность руки, боль, стеснение и тяжесть в руке, ROM плеча / Arm circumference, pain, tightness and heaviness in the arm, ROM of the shoulder joint	В обеих группах значительное уменьшение окружности руки, боли, стеснения и тяжести ($p < 0,05$), улучшение ROM плеча ($p < 0,05$) на пятой неделе и третьем месяце. Как МЛД, так и ППК как компоненты КПТ были признаны успешными на 5-й неделе и 3-м месяце без превосходства друг над другом / In both groups, significant reduction in arm circumference, pain, tightness and heaviness ($p < 0,05$), improvement in shoulder ROM ($p < 0,05$) at week five and month three. Both MLD and IPC as components of CDT were found to be successful at 5 weeks and 3 months without superiority over each other
Tastaban E., 2020 РКИ / RCT ₅	КПТ + ППК / CDT + IPC	КПТ / CDT	72	Объем конечности, выраженность боли, тяжесть и скованность, нетрудоспособность, сила сжатия и депрессия / Limb volume, pain severity, heaviness and stiffness, disability, compressive strength and depression	После лечения произошло уменьшение избыточного объема (с 373 до 203 мл в группе 1 и с 379,5 до 189,5 мл в группе 2) без существенной разницы. Тяжесть и стянутасть в руке были значительно ниже в группе 2, чем в группе 1 / After treatment, there was a decrease in excess volume (from 373 to 203 ml in group 1 and from 379.5 to 189.5 ml in group 2) with no significant difference. The heaviness and tightness in the arm were significantly lower in group 2 than in group 1

Автор, год / Author, year	Вмешательства / Interventions	Контроль / Control	Количество пациентов / Number of patients	Первичные и вторичные точки / Primary and secondary points	Основные результаты / Main results
Li J.X., 2022 Метаанализ 13 РКИ из 17 РКИ / Meta-analysis of 13 of 17 RCTs	КПТ + ППК / CDT + IPC	КПТ / CDT	159	Заболываемость ЛСРГ, уменьшение объема, ROM / BCRL incidence, volume reduction, ROM	Никакой разницы в уменьшении объема. SMD = 4,51 ($p = 0,44$, 95% ДИ: 7,01–16,03). Значительное улучшение диапазона движения ($p < 0,05$) / No difference in volume reduction. SMD = 4.51 (95% CI: 7.01–16.03). Significant improvement in range of motion
Rafn V.S., 2023 Метаанализ 18 систематических обзоров (40 РКИ) / Meta-analysis of 18 systematic reviews (40 RCTs)	МЛД, ППК, лечебная гимнастика, кинезиотейпирование, низкоинтенсивное лазерное излучение, иглорефлексотерапия / MLD, IPC, physical exercise, kinesiotaping, low-intensity laser radiation, acupuncture	Контрольная группа / Control group	1970	Сокращение объема конечности / Reduction in limb volume	Выявлен небольшой эффект во всех вмешательствах по сравнению с любым контролем ($g = 0,20$; $p = 0,047$, $I^2 = 0,79$), что соответствует сокращению объема на 119,7 мл (95% ДИ: 135–104) и 88,0 мл (95% ДИ: 99–77) в группах вмешательства и контроля соответственно. Различия между группами в уменьшении объема были небольшими и не достигли статистической значимости для любого из методов лечения / A small effect was found in all interventions compared to any control ($g = 0,20$; $p = 0,047$, $I^2 = 0,79$), corresponding to volume reductions of 119.7 mL (95% CI: 135–104) and 88.0 mL (95% CI: 99–77) in the intervention and control groups, respectively. Differences between groups in volume reduction were small and did not reach statistical significance for any of the treatments
Yao M., 2024 Метаанализ 9 РКИ / Meta-analysis of 9 RCTs	КПТ + ППК / CDT + IPC	КПТ / CDT	400	Объем руки. Боль и тяжесть в руке. ROM плеча / Arm volume. Pain and heaviness in the arm. ROM of the shoulder	SMD для процентного уменьшения объема составила 0,63 (95% ДИ: -0,24–1,50; $I^2 = 90,9$ %), что не показало существенной разницы между КПТ в отдельности и КПТ в сочетании с ППК ($p = 0,15$). Показатели боли и тяжести также были сопоставимы между группами. Однако наблюдалась существенная разница в подвижности суставов внешней ротации (SMD = 0,62; 95% ДИ: 0,08–1,16; $I^2 = 23,8$ %), что говорит в пользу КПТ с ППК / SMD for percentage volume reduction was 0.63 (95% CI: -0.24–1.50; $I^2 = 90.9$ %), which showed no significant difference between CDT alone and CDT combined with IPC ($p = 0.15$). Pain and severity scores were also comparable between groups. However, there was a significant difference in external rotation joint mobility (SMD = 0.62; 95% CI: 0.08–1.16; $I^2 = 23.8$ %), which favoured CDT with IPC

Автор, год / Author, year	Вмешательства / Interventions	Контроль / Control	Количество пациентов / Number of patients	Первичные и вторичные точки / Primary and secondary points	Основные результаты / Main results
Hou S., 2024 Систематический обзор и метаанализ 12 РКИ / Systematic review and meta-analysis of 12 RCTs	КПТ + ППК / CDT + IPC	КПТ / IPC		Окружность руки, диапазон движения в плечевом суставе, боль по ВАШ / Arm circumference, range of motion in the shoulder joint, VAS pain	Дополнительное применение ППК к КПТ может дополнительно уменьшить отек в течение 4 недель после периода лечения (SMD = -0,2 мл, 95% ДИ: от -0,33 до -0,07 мл). Однако это дополнительное преимущество ослабевало в течение примерно 9,4 ± 2,6 недель наблюдения после прекращения физиотерапии (SMD = -0,15 мл, 95% ДИ: -0,33–0,04 мл). Включение ППК к КПТ значимо увеличивает диапазон отведения плеча (SMD = 0,51; 95% ДИ: 0,02–1,00), разгибания (SMD = 0,53; 95% ДИ: 0,04–1,02), сгибания (SMD = 0,50; 95% ДИ: 0,01–0,99) и наружной ротации (SMD = 0,51; 95% ДИ: 0,02–1,00). Отмечены статистически незначимые изменения болевых ощущений / The adjunctive use of IPC to CDT may further reduce oedema within 4 weeks of the treatment period (standard mean difference (SMD = -0.2 mL, 95% CI: -0.33 to -0.07 mL). However, this additional benefit waned at approximately 9.4 ± 2.6 weeks of follow-up after discontinuation of physiotherapy (SMD = -0.15 mL; 95% CI: -0.33–0.04 mL). Inclusion of IPC to CDT significantly increased the range of shoulder extension (SMD = 0.51; 95% CI: 0.02–1.00), extension (SMD = 0.53; 95% CI: 0.04–1.02), flexion (SMD = 0.50; 95% CI: 0.01–0.99) and external rotation (SMD = 0.51; 95% CI: 0.02–1.00). Statistically non-significant changes in pain were noted

Примечание: РКИ — рандомизированное контролируемое исследование; КПТ — комплексная противоопухолевая терапия; ППК — переменная пневмокомпрессия; МЛД — мануальный лимфодренаж; СтЛТ — стандартная лимфатическая терапия, состоящая из ухода за кожей, компрессионной терапии (многослойное бинтование с последующим компрессионным рукавом и перчаткой для руки), упражнений под компрессией и обучения самостоятельному уходу; ЛСРГ — лимфедема, связанная с радикальным лечением рака груди; ДИ — доверительный интервал; SMD — стандартизованная разность средних; УАПК — усовершенствованная аппаратная пневмокомпрессия; БК — бандажирование конечности; ВАШ — визуальная аналоговая шкала.

Note: RCT_s — randomised controlled trials; IPC — intermittent pneumatic compression; CDT — complex decongestive therapy; MLD — manual lymphatic drainage; StLT — standard lymphatic therapy consisting of skin care, compression therapy (multilayer bandaging followed by compression sleeve and hand glove), compression exercises and self-care education; BCRL — breast cancer related lymphedema; CI — confidence interval; SMD — standard mean difference; APCD — advanced pneumatic compression devices; LB — limb bandaging; VAS — visual analogue scale.

УАПК применялась по одному часу в день в течение 12 недель при рабочем давлении 30 мм рт. ст. В каждую группу было включено по 18 участников. Целью этого перспективного РКИ было определить, обеспечивает ли УАПК (Advanced Pneumatic Compression Devices — APCD), Flexitouch (США)) лучшие результаты, измеряемые по отеку руки и уменьшению содержания воды в тканях по сравнению со стандартной ППК у пациентов с ЛСРГ.

В группе УАПК наблюдалось значительно более эффективное уменьшение объема на 118 ± 170 мл по сравнению с увеличением на 6 ± 216 мл у пациентов, получающих стандартную методику ППК ($p = 0,01$). Простые компрессионные аппараты состояли из насоса и трехкамерного биндажа, в то время как усовершенствованное устройство включало многокамерный биндаж, состоящий из трех частей: для руки, прилегающей грудной клетки и брюшной полости. Объемы рук определялись на основе измерений обхвата руки и соответствующих модельных расчетов, а вода в тканях определялась на основе измерений диэлектрической проницаемости ткани руки. В группе, получавшей УАПК, было отмечено в среднем снижение отека на 29 % по сравнению с увеличением на 16 % в группе стандартной ППК. Средние изменения значений диэлектрической проницаемости ткани руки составили снижение на 5,8 % в группе УАПК и увеличение на 1,9 % в группе ППК [27].

Таким образом, данное исследование показало, что для фазы домашнего поддерживающего лечения ЛСРГ применение УАПК (с использованием APCD) обеспечивает лучшие результаты, чем с использованием стандартной ППК.

В РКИ Ridner S.H. 2012 г. ($n = 42$) проводилось сравнение терапевтического эффекта расширенной пневматической компрессионной терапии туловища/груди/руки (экспериментальная группа, $n = 21$) с пневмокомпрессией только руки (контрольная группа, $n = 21$) при самостоятельном уходе за собой при лимфедеме руки без поражения туловища с использованием системы Flexitouch (США) (APCD) в течение 30-дневного курса домашнего применения [46]. Результаты показали статистически значимое снижение как количества симптомов, так и общей симптоматической нагрузки в каждой группе. Однако статистически значимых различий в этих результатах между группами не было. Было достигнуто статистически значимое снижение биоэлектрического сопротивления и окружности руки в обеих группах. Однако статистически значимой разницы в снижении между группами не было. Эти результаты указывают на то, что оба вида ППК эффективны при ЛСРГ, и на то, что может не быть дополнительной пользы от расширенной пневматической обработки лимфатических сосудов туловища перед массажем руки, когда отсутствует отек туловища.

Регулировка и расширенные программы, доступные во многих усовершенствованных устройствах для компрессионной терапии (APCD), обеспечивают более быстрые и короткие циклы сжатия и расслабления с уровнями компрессии, более близкими к тем, которые применяются при МЛД [47]. Некоторые устройства APCD предоставляют специальную одежду, позволяющую проводить обработку туловища, которая считается основополагающей в клиническом обучении технике МЛД и основана на лимфатической архитектуре [48, 49].

Доказательств эффективности и преимуществ усовершенствованных устройств по сравнению со стандартными устройствами недостаточно. Несмотря на то, что в нескольких исследованиях были получены положительные результаты при использовании традиционных стандартных режимов ППК, трудно сравнить результаты, полученные в ходе первоначальных исследований по эффективности ППК с современными вариантами УАПК. На сегодня было проведено одно сравнительное исследование по эффективности УАПК при ЛСРГ по сравнению с самостоятельным лимфодренажным массажем в течение 1 часа каждый день в течение 14 дней с последующим переходом на другой вид лечения с 1-недельным перерывом перед каждым лечением [25]. После лечения объем руки и средний вес пациентов значительно уменьшились после использования устройства APCD, но не после самостоятельного применения МЛД [25].

В настоящее время требуется проведение хорошо спланированных исследований, которые смогут доказать, что применение УАПК может быть более эффективно при лечении ЛСРГ, чем стандартная ППК, для повышения доказательности применения аппаратного лимфодренажа у данной категории пациентов.

Основываясь на теоретических преимуществах, которые потенциально может обеспечить УАПК, разработанные методики могут рекомендоваться пациентам с ЛСРГ для домашнего применения.

При УАПК с использованием аппарата Flexitouch (США) оказывается легкое переменное давление на туловище и пораженную руку с помощью многокамерных надувных и растягивающихся тканевых изделий. Опубликованные данные показывают, что при стандартной программе лечения предплечье подвергается воздействию давления от $9,0 \pm 4,2$ мм рт. ст. до $13,7 \pm 4,8$ мм рт. ст., что фактически приближается к давлению, оказываемому при МЛД [50].

При ППК используется более медленный цикл надувания/сдувания, при котором для полного надувания изделия требуется примерно 72 сек; надувание продолжается в течение 22 сек, после чего воздух выпускается из всех камер одновременно. Этот процесс приводит к созданию статического давления на всю руку на уровне, вероятно, превышающем тот, который сдавливает лимфатические капилляры и тем самым предотвращает всасывание лимфы в течение этого интервала [51, 52].

При УАПК используется более быстрый цикл обработки, при котором каждая камера надувается/сдувается за 1–3 сек до надувания следующей камеры. Этот более быстрый и лаконичный цикл нагнетания и сброса давления приближен к методам, применяемым при МЛД, и соответствует профилю давления, который, как было описано, усиливает лимфодренаж [47, 50]. Возникающее в результате динамическое и переменное давление, вероятно, заставляет лимфатические капилляры реагировать на изменения давления в коже. Кроме того, более быстро меняющиеся волны давления могут лучше способствовать оттоку лимфы, поскольку такая частота лучше соответствует частоте артериальных и дыхательных импульсов, которые, как считается, стимулируют лимфатическую систему [47, 53].

Кроме того, компрессионные манжеты, используемые в УАПК, обеспечивают целенаправленное движение

ние, которое охватывает большую часть пораженной области, чем при стандартной ППК, и, следовательно, воздействуют на большую площадь поверхности, следуя лимфатической анатомии всего квадранта верхней конечности. Недавно опубликованное пилотное исследование с использованием методов флюоресцентной визуализации в ближнем инфракрасном диапазоне подтверждает, что такой подход к лечению может повысить сократительную способность лимфатических сосудов [49]. Данное исследование продемонстрировало значительное повышение сократительной способности лимфатических сосудов при применении УАПК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ опубликованных источников показал, что КПТ в сочетании с ППК более эффективно уменьшает избыточный объем и избыточную окружность верхней конечности с лимфедемой в течение относительно короткого периода наблюдения. Однако

дополнительные преимущества, полученные от сочетанного применения КПТ и ППК, были ослаблены после более длительного периода наблюдения через 8 недель после окончания физиотерапии. Кроме того, оценка боли по визуально-аналоговой шкале не показала никакой разницы между группой КПТ + ППК и группой только КПТ, что указывает на то, что субъективные болевые ощущения пациентов практически не менялись независимо от того, добавлялась ППК или нет.

Кроме того, сочетанное применение КПТ + ППК может улучшить подвижность плеча в четырех функциональных положениях: отведение, разгибание, сгибание и наружная ротация, что может служить основанием для периодического непрерывного поддерживающего лимфодренажного лечения с целью сохранения противоотечного эффекта.

Также было показано, что применение методики УАПК с имитацией МЛД превосходит ППК и более адаптировано к длительному домашнему применению у пациентов с ЛСРГ.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Апханова Татьяна Валерьевна, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отдела физиотерапии и рефлексотерапии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

E-mail: apkhanovatv@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-2050>

Кончугова Татьяна Венедиктовна, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела физиотерапии и рефлексотерапии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0991-8988>

Мусаева Ольга Михайловна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9146-0966>

Морунова Валентина Андреевна, кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела физиотерапии и рефлексотерапии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5791-2770>

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

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

Щербакова Олеся Анатольевна, кандидат медицинских наук, заместитель главного врача по медицинской части, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-2831-8192>

Агасаров Лев Георгиевич, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела физиотерапии и рефлексотерапии, Национальный медицинский

исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5218-1163>

Назарова Кристина Михайловна, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2590-6755>

Марченкова Лариса Александровна, доктор медицинских наук, доцент, руководитель научно-исследовательского управления, заведующий отделом 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 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: Апханова Т.В., Кончугова Т.В., Агасаров Л.Г. — научное обоснование, методология, написание черновика рукописи, руководство проектом, редактирование рукописи; Мусаева О.М., Морунова В.А., Васильева В.А., Назарова К.М. — обеспечение материалов для исследования, верификация и анализ данных; Щербакова О.А., Марченкова Л.А. — курация данных, обеспечение материалов для исследования.

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

Конфликт интересов. Апханова Т.В. — научный редактор журнала «Вестник восстановительной медицины», Кончугова Т.В. — заместитель главного редактора журнала «Вестник восстановительной медицины», Агасаров Л.Г. — член редакционной коллегии журнала «Вестник восстановительной медицины», Марченкова Л.А. — председатель

редакционного совета журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные авторы заявляют отсутствие конфликта интересов.

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

ADDITIONAL INFORMATION

Tatiana V. Apkhanova, D.Sc. (Med.), Chief Researcher, Department of Physiotherapy and Reflexotherapy, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

E-mail: apkhanovtv@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-2050>

Tatiana V. Konchugova, D.Sc. (Med.), Professor, Chief Researcher of the Department of Physiotherapy and Reflexotherapy, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0991-8988>

Olga M. Musaeva, Ph.D. (Med.), Senior Researcher, Somatic Rehabilitation, Active Longevity and Reproductive Health Department, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9146-0966>

Valentina A. Morunova, Ph.D. (Med.), Researcher of the Department of Physiotherapy and Reflexotherapy, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5791-2770>

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

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

Olesya A. Shcherbakova, Ph.D. (Med.), Deputy Chief Physician for Medical Affairs, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-2831-8192>

Lev G. Agasarov, D.Sc. (Med.), Professor, Chief Researcher, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5218-1163>

Kristina M. Nazarova, Ph.D. (Med.), Researcher, Somatic Rehabilitation, Active Longevity and Reproductive Health

Department, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2590-6755>

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

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

Author Contributions. All authors confirm their authorship in accordance with the international criteria of the ICMJE (all authors have made significant contributions to the concept, design of the study and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Apkhanova T.V., Konchugova T.V., Agasarov L.G. — conceptualization, methodology, writing — original draft, project administration, writing — review & editing; Musaeva O.M., Morunova V.A., Vasilyeva V.A., Nazarova K.M. — resources, validation, formal analysis; Shcherbakova O.A., Marchenkova L.A. — data curation, resources.

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

Disclosure. Apkhanova T.V. — Scientific Editor of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal, Konchugova T.V. — Deputy Editor-in-Chief of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal, Agasarov L.G. — Member of Editorial Board of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal, Marchenkova L.A. — Chair of the Editorial Council of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal. The other authors state that there is no conflict of interest.

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

Список литературы/ References

- Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin.* 2021; 71(3): 209–249. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>
- Allemani C., Weir H.K., Carreira H., et al. Global surveillance of cancer survival 1995–2009: analysis of individual data for 25,676,887 patients from 279 population-based registries in 67 countries (CONCORD-2). *Lancet.* 2015; 385(9972): 977–1010. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62038-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62038-9)
- DiSipio T., Rye S., Newman B., Hayes S. Incidence of unilateral arm lymphoedema after breast cancer: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Oncol.* 2013; 14(6): 500–515. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(13\)70076-7](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(13)70076-7)
- Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность). Под ред. Каприна А.Д., Старинского В.В., Петровой Г.В. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. 2021; 252 с. [Malignant neoplasms In Russia in 2018 (morbidity and mortality). Edited by A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, G.V. Petrova. M.: P.A. Herzen MNIIOI — branch of FGBU “NMRC Radiology” of the Ministry of Health of Russia. 2021; 252 p. (In Russ.)]
- Евстигнеева И.С. Принципы выбора физических факторов в ранний послеоперационный период лечения рака молочной железы: рандомизированное контролируемое исследование. *Вестник восстановительной медицины.* 2025; 24(1): 19–29. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-1-19-29> [Evstigneeva I. S. Principles of physical factor selection in the early postoperative period of breast cancer treatment: a randomized controlled study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2025; 24(1): 19–29. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-1-19-29> (In Russ.)]
- Апханова Т.В., Кончугова Т.В., Кульчицкая Д.Б. и др. Новые немедикаментозные технологии при лимфедеме, связанной с раком груди: обзор литературы. *Вестник восстановительной медицины.* 2024; 23(3): 40–51. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-40-51> [Apkhanova T.V., Konchugova T.V., Kulchitskaya D.B., et al. New non-drug technologies for lymphedema associated with breast cancer: a review. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2024; 23(3): 40–51. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-40-51> (In Russ.)]
- Rockson S.G., Keeley V., Kilbreath S., et al. Cancer-associated secondary lymphoedema. *Nat Rev Dis Primers.* 2019; 5(1): 22. <https://doi.org/10.1038/s41572-019-0072-5>
- Ezzo J., Manheimer E., McNeely M.L., et al. Manual lymphatic drainage for lymphedema following breast cancer treatment. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015; 2015(5): CD003475. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003475.pub2>

9. Andersen L., Højris I., Erlandsen M., Andersen J. Treatment of breast-cancer-related lymphedema with or without manual lymphatic drainage — a randomized study. *Acta Oncol.* 2000; 39(3): 399–405. <https://doi.org/10.1080/028418600750013186>
10. Johansson K., Albertsson M., Ingvar C., Ekdahl C. Effects of compression bandaging with or without manual lymph drainage treatment in patients with postoperative arm lymphedema. *Lymphology.* 1999; 32(3): 103–110.
11. McNeely M.L., Magee D.J., Lees A.W., et al. The addition of manual lymph drainage to compression therapy for breast cancer related lymphedema: a randomized controlled trial. *Breast Cancer Res Treat.* 2004; 86(2): 95–106. <https://doi.org/10.1023/B:BREA.0000032978.67677.9f>
12. Johansson K., Lie E., Ekdahl C., Lindfeldt J. A randomized study comparing manual lymph drainage with sequential pneumatic compression for treatment of postoperative arm lymphedema. *Lymphology.* 1998; 31(2): 56–64.
13. Williams A.F., Vadgama A., Franks P.J., Mortimer P.S. A randomized controlled crossover study of manual lymphatic drainage therapy in women with breast cancer-related lymphoedema. *Eur J Cancer Care (Engl).* 2002; 11(4): 254–261. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2354.2002.00312.x>
14. Sitzia J., Sobrido L., Harlow W. Manual lymphatic drainage compared with simple lymphatic drainage in the treatment of post-mastectomy lymphoedema: A pilot randomised trial. *Physiotherapy* 2002; 88(2): 99–107.
15. De Vrieze T., Gebruers N., Nevelsteen I., et al. Manual lymphatic drainage with or without fluoroscopy guidance did not substantially improve the effect of decongestive lymphatic therapy in people with breast cancer-related lymphoedema (Efort-BCRL trial): a multicentre randomised trial. *J Physiother.* 2022; 68(2): 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2022.03.010>
16. Huang T.W., Tseng S.H., Lin C.C., et al. Effects of manual lymphatic drainage on breast cancer-related lymphedema: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *World J Surg Oncol.* 2013; 11: 15. <https://doi.org/10.1186/1477-7819-11-15>
17. Bergmann A., da Costa Leite Ferreira M.G., de Aguiar S.S., et al. Physiotherapy in upper limb lymphedema after breast cancer treatment: a randomized study. *Lymphology.* 2014; 47(2): 82–91.
18. Gradalski T., Ochalek K., Kurpiewska J. Complex Decongestive Lymphatic Therapy with or Without Vodder II Manual Lymph Drainage in More Severe Chronic Postmastectomy Upper Limb Lymphedema: A Randomized Noninferiority Prospective Study. *J Pain Symptom Manage.* 2015; 50(6): 750–757. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2015.06.017>
19. Tambour M., Holt M., Speyer A., et al. Manual lymphatic drainage adds no further volume reduction to Complete Decongestive Therapy on breast cancer-related lymphoedema: a multicentre, randomised, single-blind trial. *Br J Cancer.* 2018; 119(10): 1215–1222. <https://doi.org/10.1038/s41416-018-0306-4>
20. Sen E.I., Arman S., Zure M., et al. Manual Lymphatic Drainage May Not Have an Additional Effect on the Intensive Phase of Breast Cancer-Related Lymphedema: A Randomized Controlled Trial. *Lymphat Res Biol.* 2021; 19(2): 141–150. <https://doi.org/10.1089/lrb.2020.0049>
21. Wigg J., Lee N. Redefining essential care in lymphoedema. *Br J Community Nurs.* 2014; Suppl: S20–S27. <https://doi.org/10.12968/bjcn.2014.19.sup4.s20>
22. Feldman J.L., Stout N.L., Wanchai A., et al. Intermittent pneumatic compression therapy: a systematic review. *Lymphology.* 2012; 45(1): 13–25.
23. Taradaj J., Rosińczuk J., Dymarek R., et al. Comparison of efficacy of the intermittent pneumatic compression with a high- and low-pressure application in reducing the lower limbs phlebolympheidema. *Ther Clin Risk Manag.* 2015; 11: 1545–1554. <https://doi.org/10.2147/TCRM.S92121>
24. Szuba A., Achalu R., Rockson S.G. Decongestive lymphatic therapy for patients with breast carcinoma-associated lymphedema. A randomized, prospective study of a role for adjunctive intermittent pneumatic compression. *Cancer.* 2002; 95(11): 2260–2267. <https://doi.org/10.1002/cncr.10976>
25. Wilburn O., Wilburn P., Rockson S.G. A pilot, prospective evaluation of a novel alternative for maintenance therapy of breast cancer-associated lymphedema [ISRCTN76522412]. *BMC Cancer.* 2006; 6: 84. <https://doi.org/10.1186/1471-2407-6-84>
26. Ridner S.H., McMahon E., Dietrich M.S., Hoy S. Home-based lymphedema treatment in patients with cancer-related lymphedema or noncancer-related lymphedema. *Oncol Nurs Forum.* 2008; 35(4): 671–680. <https://doi.org/10.1188/08.ONF.671-680>
27. Fife C.E., Davey S., Maus E.A., et al. A randomized controlled trial comparing two types of pneumatic compression for breast cancer-related lymphedema treatment in the home. *Support Care Cancer.* 2012; 20(12): 3279–3286. <https://doi.org/10.1007/s00520-012-1455-2>
28. Moattari M., Jaafari B., Talei A., et al. The effect of combined decongestive therapy and pneumatic compression pump on lymphedema indicators in patients with lymphedema secondary to breast cancer treatment: a randomized clinical control trial. *Breast J.* 2013; 19(1): 114–115. <https://doi.org/10.1111/tbj.12060>
29. Tran K., Argáez C. Intermittent Pneumatic Compression Devices for the Management of Lymphedema: A Review of Clinical Effectiveness and Guidelines [Internet]. Ottawa (ON): Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health. 2017.
30. Comerota A.J. Intermittent pneumatic compression: physiologic and clinical basis to improve management of venous leg ulcers. *J Vasc Surg.* 2011; 53(4): 1121–1129. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2010.08.059>
31. Rogan S., Taeymans J., Luginbuehl H., et al. Therapy modalities to reduce lymphoedema in female breast cancer patients: a systematic review and meta-analysis. *Breast Cancer Res Treat.* 2016; 159(1): 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10549-016-3919-4>
32. Shao Y., Qi K., Zhou Q.H., Zhong D.S. Intermittent pneumatic compression pump for breast cancer-related lymphedema: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Oncol Res Treat.* 2014; 37(4): 170–174. <https://doi.org/10.1159/000360786>
33. Japan Lymphoedema Study Group. A practice guideline for the management of lymphoedema. *J Lymph.* 2011; 6(2): 60–71.
34. Queensland Health. Lymphoedema clinical practice guideline 2014: the use of compression in the management of adults with lymphoedema [Internet]. Brisbane (AU): Queensland Health; 2014 Available at: <https://www.health.qld.gov.au/ahwac/docs/archived-docs/guideline-lymph.pdf> (Accessed 05.04.2023).
35. Gurdal S.O., Kostanoglu A., Cavdar I., et al. Comparison of intermittent pneumatic compression with manual lymphatic drainage for treatment of breast cancer-related lymphedema. *Lymphat Res Biol.* 2012; 10(3): 129–135.
36. Tastaban E., Soyder A., Aydin E., et al. Role of intermittent pneumatic compression in the treatment of breast cancer-related lymphoedema: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2020; 34(2): 220–228. <https://doi.org/10.1177/0269215519888792>
37. Haghghat S., Lotfi-Tokaldany M., Yunesian M., et al. Comparing two treatment methods for post mastectomy lymphedema: complex decongestive therapy alone and in combination with intermittent pneumatic compression. *Lymphology.* 2010; 43(1): 25–33.
38. Uzkeser H., Karatay S., Erdemci B., et al. Efficacy of manual lymphatic drainage and intermittent pneumatic compression pump use in the treatment of lymphedema after mastectomy: a randomized controlled trial. *Breast Cancer.* 2015; 22(3): 300–307. <https://doi.org/10.1007/s12282-013-0481-3>
39. Rafn B.S., Bodilsen A., von Heymann A., et al. Examining the efficacy of treatments for arm lymphedema in breast cancer survivors: an overview of systematic reviews with meta-analyses. *EClinicalMedicine.* 2023; 67: 102397. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2023.102397>
40. Lee N., Wigg J., Pugh S., et al. Lymphoedema management with the LymphFlow Advance pneumatic compression pump. *Br J Community Nurs.* 2016; 21(Suppl 10): S13–S19. <https://doi.org/10.12968/bjcn.2016.21>
41. Szolnoky G., Lakatos B., Keskeny T., et al. Intermittent pneumatic compression acts synergistically with manual lymphatic drainage in complex decongestive physiotherapy for breast cancer treatment-related lymphedema. *Lymphology.* 2009; 42(4): 188–194.
42. Hou S., Li Y., Lu W., et al. Efficacy of intermittent pneumatic compression on breast cancer-related upper limb lymphedema: a systematic review and meta-analysis in clinical studies. *Gland Surg.* 2024; 13(8): 1358–1369. <https://doi.org/10.21037/gS-24-123>

43. Sanal-Toprak C., Ozsoy-Unubol T., Bahar-Ozdemir Y, Akyuz G. The efficacy of intermittent pneumatic compression as a substitute for manual lymphatic drainage in complete decongestive therapy in the treatment of breast cancer related lymphedema. *Lymphology*. 2019; 52(2): 82–91.
44. Yao M., Peng P, Ding X., et al. Comparison of Intermittent Pneumatic Compression Pump as Adjunct to Decongestive Lymphatic Therapy against Decongestive Therapy Alone for Upper Limb Lymphedema after Breast Cancer Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Breast Care (Basel)*. 2024; 19(3): 155–164. <https://doi.org/10.1159/000538940>
45. Li J.X., Gao J., Song J.Y., et al. Compression Therapy for the Patients with Breast Cancer: A Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Cancer Nurs*. 2022; 45(4): E736–E745. <https://doi.org/10.1097/NCC.0000000000001005>
46. Ridner S.H., Murphy B., Deng J., et al. A randomized clinical trial comparing advanced pneumatic truncal, chest, and arm treatment to arm treatment only in self-care of arm lymphedema. *Breast Cancer Res Treat*. 2012; 131(1): 147–158. <https://doi.org/10.1007/s10549-011-1795-5>
47. Foldi M., Foldi E., Kubik S. *Textbook of lymphology*. English Ed. Elsevier: Munich. 2003.
48. Chevillat A.L., McGarvey C.L., Petrek J.A., et al. Lymphedema management. *Semin Radiat Oncol*. 2003; 13(3): 290–301. [https://doi.org/10.1016/S1053-4296\(03\)00035-3](https://doi.org/10.1016/S1053-4296(03)00035-3)
49. Adams K.E., Rasmussen J.C., Darne C., et al. Direct evidence of lymphatic function improvement after advanced pneumatic compression device treatment of lymphedema. *Biomed Opt Express*. 2010; 1(1): 114–125. <https://doi.org/10.1364/BOE.1.000114>
50. Mayrovitz H.N. Interface pressures produced by two different types of lymphedema therapy devices. *Phys Ther*. 2007; 87(10): 1379–1388. <https://doi.org/10.2522/ptj.20060386>
51. Unno N., Nishiyama M., Suzuki M., et al. A novel method of measuring human lymphatic pumping using indocyanine green fluorescence lymphography. *Journal of Vascular Surgery*. 2010; 52: 946–952.
52. Segers P., Belgrado J.P., Leduc A., et al. Excessive pressure in multichambered cuffs used for sequential compression therapy. *Phys Ther*. 2002; 82(10): 1000–1008.
53. Olszewski W.L. *Lymph stasis: pathophysiology, diagnosis and treatment*. CRC Press: Boca Raton. 1991.

Когнитивная реабилитация при рассеянном склерозе: эффективность и потенциал технологий виртуальной реальности. Обзор

Широлапов И.В., Захаров А.В., Романчук Н.П., Комарова Ю.С., Сергеева М.С.,
Шишкина А.А., Хивинцева Е.В., Шарафутдинова И.А.

Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Инновационные технологии в реабилитации рассеянного склероза (РС) направлены на внедрение в клиническую практику передовых методик и техник для глубокой и всесторонней оценки, а также эффективного лечения нарушений не только в двигательной, но и в когнитивной сфере.

ЦЕЛЬ. Обобщить и проанализировать современные данные о потенциале использования технологий виртуальной реальности (VR) в когнитивной реабилитации при РС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Поиск проводился в базах данных PubMed, Scopus, РИНЦ с использованием поисковых запросов и ключевых слов на русском и английском языках: multiple sclerosis, cognitive, virtual reality/VR, immersive technologies, neurorehabilitation с 2014 по 2024 гг.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА. В настоящее время для предотвращения прогрессии когнитивного дефицита внедряются технологии VR и дополненной реальности, которые обеспечивают реалистичное взаимодействие пользователя с использованием доступного оборудования, визуальных и звуковых эффектов и мультисенсорной обратной связи. Системы VR демонстрируют эффективность при реабилитации многих заболеваний, позволяя корректировать нарушенные функции, стимулировать ограниченные вследствие патологии способности и способствовать всестороннему улучшению здоровья. Восстановительные возможности применения VR реализуются благодаря комплексному вовлечению органов чувств и стимуляции нейропластичности, что развивает специфические когнитивные и поведенческие аспекты функционирования пациентов. Мультимодальная обратная связь, получаемая посредством упражнений, выполняемых в виртуальной среде, позволяет развивать осознание результатов выполняемых движений, а также их качества, что положительно влияет на когнитивную деятельность и двигательный контроль. Преимущество использования технологий VR, особенно с иммерсивными инструментами, заключается в создании позитивного мотивирующего опыта обучения для пациента, который требует вовлечение когнитивной двигательной и сенсорных систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В настоящем обзоре проанализирована актуальная научная информация в данной области исследований, проводится детальная оценка современного состояния и потенциала использования технологий VR в когнитивной реабилитации при РС, а также обсуждаются фундаментальные механизмы, лежащие в основе нейрореабилитации при использовании иммерсивных технологий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рассеянный склероз, нейрореабилитация, виртуальная реальность/VR, когнитивная деятельность, двигательный контроль, иммерсивные технологии, качество жизни

Для цитирования / For citation: Широлапов И.В., Захаров А.В., Романчук Н.П., Комарова Ю.С., Сергеева М.С., Шишкина А.А., Хивинцева Е.В., Шарафутдинова И.А. Когнитивная реабилитация при рассеянном склерозе: эффективность и потенциал технологий виртуальной реальности. Обзор. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(4):156–167. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-156-167> [Shirolapov I.V., Zakharov A.V., Romanchuk N.P., Komarova Yu.S., Sergeeva M.S., Shishkina A.A., Khivintseva E.V., Sharafutdinova I.A. Cognitive Rehabilitation in Multiple Sclerosis: Effectiveness and Potential of Virtual Reality Technologies. A review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):156–167. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-156-167> (In Russ.).]

* **Для корреспонденции:** Широлапов Игорь Викторович, E-mail: i.v.shirolapov@samsmu.ru

Статья получена: 18.10.2024
Статья принята к печати: 22.01.2025
Статья опубликована: 16.08.2025

Cognitive Rehabilitation in Multiple Sclerosis: Effectiveness and Potential of Virtual Reality Technologies. A review

 Igor V. Shirolapov*,  Alexander V. Zakharov,  Natalia P. Romanchuk,
 Yuliya S. Komarova,  Mariya S. Sergeeva,  Anna A. Shishkina,
 Elena V. Khivintseva,  Irina A. Sharafutdinova

Samara State Medical University, Samara, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Innovative technologies in the rehabilitation of multiple sclerosis are aimed at introducing into clinical practice advanced methods and techniques for deep and comprehensive assessment and effective treatment of disorders not only in the motor, but also in the cognitive area. The aim of this review is to summarize and analyze current data on the potential of using virtual reality technologies in cognitive rehabilitation in multiple sclerosis.

AIM. To summarise and analyse current evidence on the potential of using virtual reality technologies in cognitive rehabilitation in multiple sclerosis.

MATERIALS AND METHODS. The search was conducted in PubMed, Scopus, RSCI databases using search queries and keywords in Russian and English: multiple sclerosis, cognitive, virtual reality/VR, immersive technologies, neurorehabilitation from 2014 to 2024.

MAIN CONTENT OF THE REVIEW. Currently, in order to prevent the progression of cognitive deficit, 3D computer simulation technologies are being introduced, which provide realistic user interaction using special electronic equipment, visual and sound effects and multisensory feedback. Virtual reality systems demonstrate effectiveness in the rehabilitation of many diseases, allowing for the correction of impaired functions, stimulation of residual abilities and promotion of global health improvement. The restorative potential of virtual reality (VR) is realized through the complex involvement of the senses and stimulation of neuroplasticity, which develops specific cognitive and behavioral aspects of patient functioning. Increased feedback obtained through exercises performed in a virtual environment allows for the development of awareness of the results of the movements performed and the quality of the movements themselves, which has a positive effect on cognitive activity and motor control. The advantage of using VR technologies, especially with immersive tools, is to create a positive, motivating learning experience for the patient, which requires individual control over several sensorimotor and cognitive domains.

CONCLUSION. This review analyzes the current scientific information in this area of research, provides a detailed assessment of the current state and potential of VR technologies in cognitive rehabilitation in multiple sclerosis, and discusses the fundamental mechanisms underlying neurorehabilitation using immersive technologies.

KEYWORDS: multiple sclerosis, neurorehabilitation, virtual reality/VR, cognitive activity, motor control, immersive technologies, quality of life

For citation: Shirolapov I.V., Zakharov A.V., Romanchuk N.P., Komarova Yu.S., Sergeeva M.S., Shishkina A.A., Khivintseva E.V., Sharafutdinova I.A. Cognitive Rehabilitation in Multiple Sclerosis: Effectiveness and Potential of Virtual Reality Technologies. A review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4):156–167. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-156-167> (In Russ.).

* **For correspondence:** Igor V. Shirolapov, E-mail: i.v.shirolapov@samsmu.ru

Received: 18.10.2024

Accepted: 22.01.2025

Published: 16.08.2025

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии позволяют преодолеть разрыв между проводимым лечением в клинике и дома, способствуют повышению эффективности назначенной терапии и ускорению процессов восстановления физиологических функций и индивидуальной производительности пациентов с различными нарушениями в двигательной, когнитивной и психической сферах. Реабилитационные технологии, такие как системы виртуальной и дополненной реальности (VR, DR), а также системы дистанционного мониторинга за последнее десятилетие демонстрируют беспрецедентный рост и прогресс в научных исследованиях в области восстановительного лечения, в том числе пациентов с рассеянным склерозом (РС) [1].

VR как современная передовая технология основана на создании моделируемых среды и условий. Виртуаль-

ные сценарии воспроизводят реальные объекты и события в трехмерном виде, предоставляя пользователям мультисенсорную обратную связь в ответ на их движение. Технологии VR и DR быстро развиваются и все больше ориентированы на использование в здравоохранении. При этом VR — это технология, которая моделирует виртуальный 3D-мир и позволяет пользователям взаимодействовать с ним аналогично реальности, а технология DR накладывает сгенерированную компьютером визуализацию на изображение в реальном мире и обеспечивает взаимодействие между виртуальными изображениями или объектами и картинками реального мира [2–4].

Иммерсивные технологии дают пользователю ощущение активного взаимодействия со сценариями, используемыми в обучении, способствуя не только улучшению двигательных и когнитивных функций, но и по-

вышая мотивацию за счет прямого вовлечения пациентов в процесс, поскольку субъект становится основным и активным участником тренинга, отказываясь от пассивной роли в собственной терапии. Такие аспекты восприятия и опыта, активируемые ВР, особенно актуальны в области реабилитации, поскольку двигательная осведомленность и эмоциональная вовлеченность могут способствовать совершенствованию функционального выполнения заданий и контролю сложных поведенческих реакций, активируя двигательные функции и когнитивные способности пациента и ускоряя его функциональное восстановление. Фактически системы ВР и ДР могут улучшить нейрореабилитационные процессы за счет усиления сенсорной обратной связи и вызвать изменения в процессах нейронной пластичности, что позволяет повторно приобрести двигательные и когнитивные функции [4–6].

РС как аутоиммунное воспалительное демиелинизирующее заболевание является одной из ведущих причин хронической неврологической дисфункции. РС характеризуется повторяющимися обострениями или прогрессирующим течением. Двигательные и сенсорные расстройства, когнитивная дисфункция, нарушение психологического статуса пациентов приводят к постепенному ограничению возможностей в повседневной жизни, что серьезно влияет на здоровье и социальную активность таких людей и требует длительного наблюдения и эффективной реабилитации [7]. Предлагая перспективу сочетания двигательного, когнитивного и психологического благополучия с возможностью манипулирования мультисенсорными функциями в безопасной среде, технология ВР рассматривается как многообещающий инструмент реабилитации, в том числе в терапии РС.

В настоящее время интенсифицируется интеграция современных технологических достижений, цифровых алгоритмов, дистанционных подходов и медицинских инноваций при совершенствовании, разработке и активном внедрении новых подходов восстановительного лечения и профилактики двигательной и когнитивной дисфункции, в частности, таких как ВР и ДР, транскраниальная стимуляция, роботизированные методы, удаленный мониторинг, нейробиоуправление и телемедицина [6, 8–13]. Таким образом, реабилитация масштабируется и является незаменимым методом в длительном ведении пациентов с хроническими патологиями, включая лиц с РС. На сегодня, по мере постоянного увеличения пула исследований в направлении терапии и реабилитации РС, в реальную клиническую практику транслируются эффективные инновационные подходы и более совершенные методы восстановительного лечения [14–15].

ЦЕЛЬ

Обобщить и проанализировать современные данные о потенциале использования технологий ВР в когнитивной реабилитации при РС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для реализации поставленной цели и подготовки обзора был выполнен поиск публикаций в наукометрических базах данных PubMed, Scopus, РИНЦ с использованием поисковых запросов и ключевых слов.

Поиск включал статьи, опубликованные за последние 10 лет (2014–2024 гг.), языком запроса и анализа был английский (русский язык — для базы РИНЦ). В частности, использовались следующие ключевые слова и их комбинации: multiple sclerosis, cognitive, virtual reality/VR, immersive technologies, neurorehabilitation. Чтобы расширить систематический поиск, использовались операторы «И» и «ИЛИ» для объединения ключевых слов. Согласно поставленной цели, для анализа результатов тезисы докладов, протоколы заседаний, книги, материалы конференций, клинические случаи не использовались. В обобщенный анализ включены публикации результатов исследований, в которых были адекватно представлены исходные данные относительно применения технологий ВР в целях реабилитации когнитивных нарушений при РС.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА

Особенности реабилитации при рассеянном склерозе

РС является наиболее распространенной нетравматической причиной неврологической инвалидности у людей молодого возраста, и по оценкам почти 3 млн человек во всем мире имеют такой диагноз [16]. Учитывая распространенный характер поражения центральной нервной системы (ЦНС), симптомы РС могут быть весьма неоднородными: у пациентов наблюдаются нарушения двигательной активности и равновесия, сенсорных функций, зрения, когнитивного профиля и поведения. Терапия, модифицирующая заболевание РС, направлена на замедление прогрессирования заболевания и предотвращение повторных обострений, тогда как реабилитация в первую очередь направлена на возможность восстановления двигательных и когнитивных функций [17].

В последние годы большое внимание уделяется оценке качества жизни пациентов с РС, поскольку заболевание имеет различные клинические проявления и связанные с ними осложнения, а также характеризуется прогрессирующим течением, что имеет выраженный психосоциальный контекст [18–19]. Действительно, восприятие пациентами своего физического и психического благополучия существенно влияет на их автономию, благополучие и потенциальное функциональное восстановление после реабилитации. Таким образом, улучшение воспринимаемого качества жизни имеет важное значение для проведения и планирования эффективных вмешательств для пациента. При этом, несмотря на очевидную значимость реабилитации при РС, доступность полноценного лечения для многих пациентов может быть ограничена по различным причинам (например, технические сложности, финансовое бремя или выраженные физические нарушения). В связи с этим интенсивно изучаются и интегрируются инновационные подходы в восстановительной терапии РС, направленные на снижение нагрузки на медицинские службы, пациентов и лиц, осуществляющих уход, без снижения качества и эффективности лечения [20–21]. В целом реабилитация пациентов с РС должна учитывать различные персонализированные варианты ухода, при этом важную роль играют доступные фронтальные технологии, потенциально позволяющие обходить указанные ограничения, в частности, технологии дистан-

ционного вмешательства и ВР. Рассматривается, что ВР и системы компьютерной реабилитационной среды могут быть эффективными для повышения качества жизни и улучшения моторных, когнитивных и психологических показателей у пациентов с РС [22–23].

Технология виртуальной реальности как инновационный подход в нейрореабилитации

Эксперты в области здравоохранения в настоящее время интенсифицируют научное внимание и практические разработки в области профилактики заболеваний и всех этапов реабилитации. Современные исследования показывают, что здоровое питание и новые стратегии пищевого поведения, регулярные физические нагрузки, отказ от пагубных пристрастий, восстановление регуляции в цикле сна и бодрствования и антивозрастное поведение помогают замедлить процесс старения, улучшить качество жизни и достичь значительных успехов в борьбе с нейродегенеративными и невровоспалительными заболеваниями [24–29]. Разработка инновационных подходов профилактики и реабилитации, достижения в области нейронауки, хронобиологии и нейротехнологий, клинические исследования новых препаратов и нефармакологических методик, направленных на сохранение когнитивных функций и восстановление двигательных нарушений, антиоксидантная терапия, генетическая инженерия и биотехнологии, а также фундаментальное изучение клеточных и молекулярных механизмов старения, неспецифической защиты, ускоренного восстановления функций и мобилизации внутренних резервов представляют собой современные тренды в реабилитационной и профилактической медицине, которые являются важной составляющей в вопросе увеличения продолжительности жизни и максимально ориентированы на сохранение здоровья и качества жизни пациентов [13, 30–32].

Инновационные технологии обещают улучшить уход за пациентами, поддерживая проведение научно обоснованных терапевтических мероприятий, и имеют потенциал для использования у пациента дома. Однако внедрение этих технологий в реальную клиническую практику для усиления терапевтических подходов сталкивается с определенными проблемами и требует времени. В частности, с начала клинических испытаний проходит более 10–15 лет, и при этом принимается лишь некоторая часть исследований эффективности. С производственной точки зрения это создает колоссальные проблемы, поскольку технологии развиваются такими темпами, которые намного опережают время, необходимое для внедрения фактических данных на практике. Другими словами, технология, которая признана эффективной, может оказаться устаревшей к моменту ее внедрения на практике [33–34].

Технологии ВР моделируют виртуальный трехмерный мир и позволяют пользователям взаимодействовать с ним посредством компьютерного имитирования, которое определяет состояние и действия пользователя и заменяет или дополняет информацию сенсорной обратной связи для одного или нескольких органов чувств таким образом, что у пользователя возникает ощущение погружения в симуляцию. Близкая по методологии технология ДР предназначена для добавления цифровых элементов к объектам из реального мира

и позволяет ограниченно взаимодействовать между виртуальными изображениями или объектами и изображениями реального мира. Технологии ВР и ДР в совокупности с дистанционным мониторингом с помощью носимых датчиков для сбора данных о движении и общем функционировании пациента в режиме реального времени на удалении подтверждают свою эффективность и обоснованно внедряются в различных областях терапии и реабилитации [1, 8, 35–37].

Технология ВР стимулирует ЦНС посредством высокоинтенсивной, мультисенсорной, повторяющейся и ориентированной на задачу сильной обратной связи и модулирует двигательные, когнитивные и сенсорные функции, так что пациенты могут погрузиться в виртуальную среду и достичь идеального эффекта реабилитационных тренировок [15, 38–39]. У пациентов с РС реабилитационное обучение с помощью таких технологий может способствовать активации системы зеркальных нейронов, что приводит к корковым и подкорковым изменениям в мозге, а также дополнительно стимулирует синаптическую реорганизацию и ремиелинизацию двигательных областей мозга [40]. Таким образом, иммерсивные технологии представляют собой самостоятельный инновационный подход нейрореабилитации с огромным потенциалом, который может стимулировать нейропластичность, обеспечивая большое количество повторений, позволяя быстро и незначительно изменять сложность задач, а также поддерживая мотивацию и вовлеченность участников во время тренировок. Поэтому за последнее десятилетие возрос интерес к использованию ВР для улучшения качества жизни и повышения мотивации к физическим упражнениям, изменению поведения, реабилитации двигательных навыков и предотвращению падений. ВР включает подходы, разработанные для реабилитационных приложений, а также универсальные игровые системы или физическую реабилитацию в форме видеоигр типа «экзергейминг» [41–44].

Рассеянный склероз и когнитивные нарушения

Рассеянный склероз прогрессивно ухудшается с течением времени, и до 65–70 % людей с таким диагнозом испытывают когнитивные нарушения. Наиболее затронутыми когнитивными функциями являются внимание, скорость обработки информации, вербальная память, зрительно-пространственные навыки и исполнительные функции, оказывая негативное влияние на личное и социальное функционирование, профессиональную деятельность и качество жизни [45]. Клинические данные свидетельствуют о том, что когнитивные нарушения присутствуют на всех стадиях РС, даже при отсутствии других симптомов, при этом различные клинические фенотипы РС и лежащие в их основе патологические механизмы играют решающую роль в характере когнитивной дисфункции [20, 46]. Поэтому неудивительно, что отмечается рост научно-прикладного внимания к нейроповеденческим реабилитационным подходам как средствам управления когнитивной сферой у людей с РС [47]. Основной целью методов когнитивной коррекции и реабилитации является укрепление остаточных способностей и содействие освоению новых стратегий, что в конечном итоге приводит к улучшению когнитивных функций.

Поскольку нейробиология РС характеризуется прогрессирующим повреждением головного мозга, стимуляция процессов нейропластичности может сбалансировать определенные нарушения, поддерживая эффективное функционирование мозга и контрастируя начало и ухудшение когнитивного дефицита [48, 49]. Когнитивная реабилитация повышает как функциональную, так и структурную нейропластичность, и это улучшение напрямую связано с тренируемыми доменами. При когнитивной реабилитации важно не только уменьшить выраженность когнитивного дефицита и замедлить его прогрессию, но и способствовать повышению осведомленности пациентов о когнитивных и иных медико-социальных трудностях, с которыми они сталкиваются в повседневной жизни. Кроме того, данные рандомизированных клинических исследований и метаанализов свидетельствуют о том, что положительные эффекты когнитивной коррекции при РС выходят за рамки влияния исключительно на показатели когнитивной производительности и могут быть более широкими, включая воздействие на утомляемость, настроение и качество жизни таких пациентов [50–52].

Установлено, что память, исполнительные функции, внимание и скорость обработки информации являются характерными когнитивными областями, демонстрирующими наибольшую дисфункцию при РС, однако для пациентов когнитивные нарушения иногда являются упускаемым из виду симптомом, который существенно влияет на повседневную деятельность и качество жизни [9, 45, 53]. Когнитивные проблемы могут препятствовать способности пациента выполнять свою работу и участвовать в социальной деятельности независимо от его физических недостатков, тем самым существенно влияя на основные сферы его жизни. Предполагается, что участие в различных программах физической реабилитации может индуцировать механизмы повышения стрессоустойчивости и адаптации пациентов, а также смягчения долгосрочной инвалидности. Однако представленные результаты систематического обзора [54] демонстрируют, что традиционная физическая тренировка при РС, несмотря на ожидания, значимо не улучшает когнитивную производительность пациентов как в целом, так и в отношении ее конкретных областей. Стоит отметить, что сами авторы метаанализа рекомендуют относиться к представленным выводам с осторожностью и считают необходимым проведение новых и дополнительных исследований с сопоставимыми протоколами и возможностью увеличения «дозы» тренировочного воздействия для более детальной оценки эффективности.

Таким образом, учитывая когнитивные и эмоциональные последствия РС, важно разрабатывать и внедрять в клиническую практику более эффективные, доступные и инновационные терапевтические подходы, что одновременно актуализирует изучение и расширение потенциала технологий ВР и ДР [36].

Преимущества иммерсивных технологий в реабилитации когнитивной дисфункции при рассеянном склерозе

Технологии трехмерной визуализации в последние годы приобрели особую популярность благодаря развитию цифровой техники и информационно-коммуни-

кационных систем, поэтому использование иммерсивных интерфейсов перестало быть исключительно элементом развлечения, а становится новым эффективным инструментом, используемым в различных областях медицины [41].

Лечебно-восстановительные эффекты, активируемые ВР-технологиями, демонстрируют определенные преимущества таких методик и актуализируют их использование в области нейрореабилитации пациентов с РС, поскольку открывают новые перспективы для ускоренного восстановления пациентов. Использование ВР позволяет персонализированно подбирать сложность задач по возможностям и потенциалу пациента и контролировать его работу с помощью различных обратных связей (визуальных и слуховых). Кроме того, системы позволяют повысить качество вмешательства с помощью проведения реабилитационных мероприятий в игровой форме, повышая мотивацию и вовлеченность пациента. Также к преимуществам таких технологий можно отнести возможность пользователей в период реабилитационной программы, проводимой в домашних условиях, одновременно заниматься повседневными делами, недоступными при постоянном пребывании в стационаре. Более того, опыт погружения в ВР ставит пациента в центр его терапевтической программы, что одновременно позволяет ему модифицировать свои представления об окружающем мире и процессе реабилитации. Поэтому в последние годы ВР находит многочисленные применения в реабилитации людей разных возрастных групп, страдающих двигательными, когнитивными, поведенческими и сенсорными нарушениями [4, 43, 55–56].

Известно, что технология ВР является эффективным дополнением или заменой традиционной реабилитации с помощью физических упражнений [57–58]. Результаты метаанализов демонстрируют, что терапия на основе ВР применима для лечения различных групп заболеваний и эффективна для улучшения исполнительных функций, для восстановления когнитивных, психических и моторных нарушений. В частности, сообщается об использовании таких технологий при физической реабилитации и уменьшении психологических симптомов у различных групп пациентов, включая восстановительную терапию после инсульта, при нейродегенеративных заболеваниях, у пациентов с легкими и умеренными когнитивными нарушениями, при вестибулярных, респираторных и сердечно-сосудистых нарушениях, при лечении хронической боли и в онкологии [12, 55, 59–62]. Таким образом, в реабилитации пациентов с РС иммерсивные технологии закономерно рассматриваются в качестве многообещающей терапевтической стратегии (рис. 1) [57, 63].

В ряде РКИ анализировалась эффективность нейрореабилитации при РС с использованием систем виртуальной реальности различной степени погружения (неиммерсивная, полностью иммерсивная или полумиммерсивная). Например, для исследования возможностей неиммерсивной технологии ВР использовались запатентованные программы GE-O System [64], REACTIV [65], Microsoft Xbox One и Kinect [66], Lokomat-Pro [67]. Реабилитационные системы Khumeia отмечены в работах, анализирующих влияние на когнитивные функции пациентов с РС полностью иммерсивных технологий [68, 69],

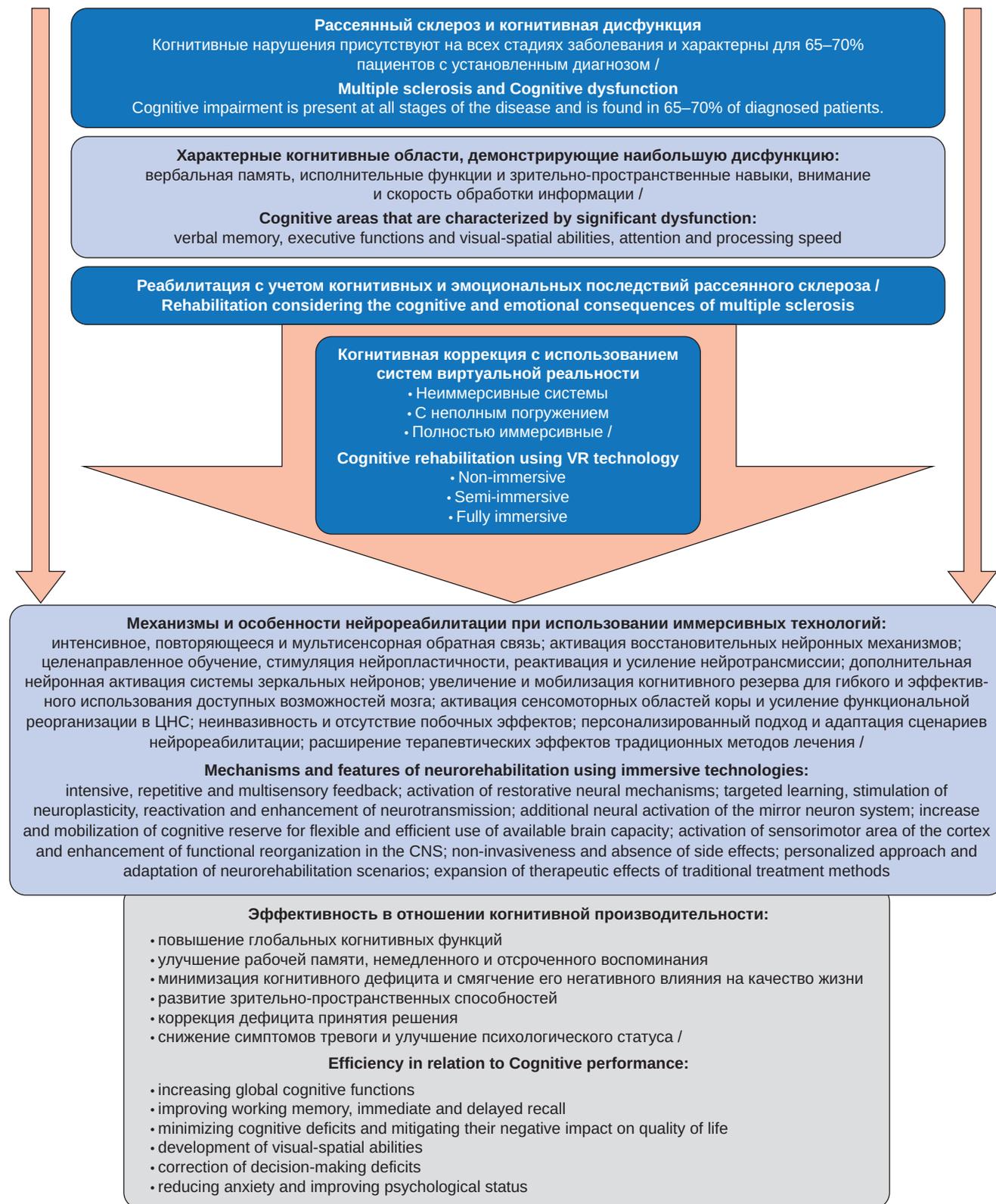


Рис. 1. Когнитивная реабилитация при рассеянном склерозе с использованием систем виртуальной реальности
Fig. 1. Cognitive rehabilitation in multiple sclerosis using Virtual Reality technologies

а система BTS-Nirvana — как виртуальная технология с неполным погружением, или полуиммерсивная [23].

Когнитивная реабилитация на основе ВР различной степени погружения имеет достоверный потенциал не только для улучшения психологического статуса и когнитивных функций у пациентов с РС, но и в целом прогноза заболевания [56, 70]. Так, Ozdogar A.T. et al. [66] изучено влияние физического тренинга типа «экзергейминг», основанного на видеоиграх и неиммерсивных ВР системах (в частности, Microsoft Xbox One, Kinect), у па-

циентов с РС легкой формы инвалидности. Результаты в группе неиммерсивного видеоигрового тренинга превосходили традиционную реабилитацию в улучшении депрессии и рабочей памяти. С другой стороны, традиционная физическая реабилитация немного превосходила пациентов при оценке моторной функции верхних конечностей, усталости и качества жизни, связанного со здоровьем. В отношении когнитивной продуктивности данные РКИ показали значительные улучшения в рабочей, зрительной и вербальной памяти

в группе ВР-терапии в сравнении с контрольной группой, где производительность рабочей памяти достоверно снизилась. По заключению авторов физические упражнения в формате видеоигровой реабилитации могут использоваться в качестве метода улучшения основных когнитивных функций в терапии пациентов с РС и одновременно являются эффективными в отношении улучшения двигательной функции верхних и нижних конечностей, баланса, качества жизни и психологического статуса, а также снижения утомляемости и депрессии [66]. Более того, с учетом предпочтений пациента, рекомендаций физиотерапевта, клинических условий и персонализированного подхода видеоигры или традиционная реабилитация могут использоваться взаимозаменяемо, а также дополнять друг друга [44].

Исследование Leonardi S. et al. [68] включало оценку результатов когнитивной производительности после реабилитационной программы с использованием запатентованной иммерсивной системы Khumeia у пациентов, страдающих рецидивирующим/ремиттирующим РС. Тренинг выполнялся 3 раза в неделю в течение 2 месяцев. Данные нейропсихологического обследования показали, что как традиционные, так и ВР-подходы когнитивной реабилитации были эффективны при оценке психологических показателей настроения и зрительно-пространственных навыков. Однако только в экспериментальной группе было обнаружено значительное улучшение в специфических когнитивных областях, включая способность к обучению, кратковременную вербальную память, способность к лексическому доступу, а также улучшение качества жизни, связанное с психическим статусом. По заключению авторов виртуальную технологию реабилитации с полным погружением можно рассматривать как мотивационный и эффективный инструмент когнитивного восстановления в терапии РС, и в целом она имеет ряд достоинств при различных неврологических расстройствах [68].

В другом многоцентровом РКИ проверена эффективность интегрированного подхода дистанционной терапии, включающего воздействие на двойные домены (моторный и когнитивный) с использованием полностью иммерсивной системы реабилитации по сравнению с традиционным реабилитационным уходом на дому пациентов, страдающих РС. У 70 участников оценивали двигательные функции равновесия, постурального контроля, динамической ходьбы, когнитивные результаты, а также вовлеченность и мотивационные аспекты в начале исследования и через 6 недель реабилитации. Исследование предоставило доказательства, что пациенты с РС могут получить достоверную пользу от телереабилитационного подхода с применением ВР-технологии в развитии физической сферы, когнитивных показателей, качества жизни и двигательных симптомов [69].

Maggio M.G. et al. представлены результаты изучения эффективности и доступности иммерсивных технологий для когнитивной реабилитации различных неврологических заболеваний [2; 71]. В частности, для оценки влияния системы ВР с частичным погружением на нейропсихологическое и двигательное восстановление людей, страдающих РС, авторы рандомизировали равным количеством 60 человек на контрольную группу, проходившую традиционную когнитивную тренировку, и экспериментальную группу, которая выполняла ре-

билитационную программу с помощью интерактивной системы ВР для пациентов с нейромоторными нарушениями Nirvana компании BTS S.p.A. (Италия). Когнитивные и двигательные результаты исследовались с помощью клинических и нейропсихологических шкал до и в конце каждого отдельного тренинга. В соответствии с результатами только в экспериментальной группе (использование ВР) наблюдалось значительное улучшение когнитивных параметров и показателей моторики. Авторы заключили, что когнитивная тренировка с использованием технологий ВР может усилить результаты реабилитации пациентов с РС, оказывая положительное влияние как на двигательные, так и на когнитивные функции [23].

По данным анализа Zhang J. et al. [72], реабилитация на основе ВР-технологий помогает пациентам с РС улучшить глобальные когнитивные функции, немедленное и отсроченное воспоминание, зрительно-пространственные способности и симптомы тревоги. Однако оказываемое влияние на скорость обработки информации, внимание, рабочую память или депрессивные симптомы представляется ограниченным. Стоит отдельно отметить, что в соответствии с описанными авторами характеристиками отобранные в метаанализ исследования обладали хорошим методологическим качеством, продолжительность вмешательства варьировалась от 6 недель до 6 месяцев, от 2 до 5 сеансов в неделю продолжительностью примерно от 30 до 90 минут каждый [72].

Таким образом, когнитивная коррекция, основанная на виртуальных технологиях, благодаря своей неинвазивности и отсутствию характерных для фармакотерапии побочных эффектов дает определенные преимущества в достижении целей терапии и улучшении необходимых результатов, включая минимизацию когнитивного дефицита и смягчение его негативного влияния, содействие пониманию пациентами своих когнитивных проблем, что в целом предоставляет им возможность эффективнее управлять своей повседневной деятельностью [40, 73].

Механизмы нейрореабилитации при использовании иммерсивных технологий

Принимая во внимание научные данные и практическую значимость, рассматривается, что реабилитация на основе иммерсивных технологий может стимулировать двигательное обучение и активировать восстановительные нейронные механизмы, расширяя терапевтический эффект традиционных методов лечения. Высокоинтенсивное, повторяющееся и целенаправленное обучение является отличительной чертой применения ВР-технологии, которая повышает синаптическую пластичность [74]. Реабилитация с использованием иммерсивных подходов продемонстрировала потенциал улучшения когнитивных способностей при нейродегенеративных расстройствах, особенно в отношении глобальных когнитивных функций и зрительно-пространственных способностей, что также согласуется с результатами, систематизированными Zhang J. (2024) для пациентов с РС [72, 75]. Предположительно при РС нейрореабилитация с применением ВР способствует дополнительной нейрональной активации, в том числе активации системы зеркальных нейронов, что приводит к корковым и подкорковым функциональным изменениям, а также

к эффективной стимуляции синаптической перестройки и миелинизации в головном мозге [15]. У человека данная нейронная сеть расположена в обоих полушариях мозга в нижней лобной коре, нижней теменной доле и премоторной коре. В случае применения техник ВР активация системы зеркальных нейронов происходит не только во время выполнения двигательной активности, но и при наблюдении за выполнением такой активности другим человеком или аватаром, при этом использование иммерсивных вмешательств инициирует зеркальные нейроны посредством мультисенсорной обратной связи. В целом активация сенсомоторных областей коры приводит к стимулированию и усилению функциональной реорганизации в ЦНС [5, 71].

Иммерсивные технологии могут являться эффективным дополнением к традиционной реабилитации РС для повышения комплаентности пациентов и активного погружения в процесс восстановительного лечения. Интеграция ВР с другими инновационными методами реабилитации, например, сочетание с роботизированной тренировкой ходьбы, способствует у пациентов с РС улучшению не только двигательных функций, но и когнитивной сферы. Более того, применение иммерсивных техник может быть эффективной терапевтической заменой и мотивирующей альтернативой традиционной реабилитации [64, 76–79]. Механизмы, лежащие в основе улучшения функциональных результатов у пациентов с РС, могут быть опосредованы стимуляцией нейропластичности и нейротрансмиссии в мозге и увеличением когнитивного резерва, что способствует гибкому и эффективному использованию доступных возможностей при выполнении когнитивных задач, тем самым смягчая влияние атрофии нейронов и необратимых изменений ткани головного мозга на скорость когнитивной обработки информации и характеристики памяти [80, 81]. Следовательно, ВР-технологии положительно влияют на когнитивные функции, психический статус и настроение пациентов с РС независимо от того, используются ли они отдельно или в сочетании с другими терапевтическими вмешательствами.

Таким образом, мультисенсорная обратная связь при использовании виртуальных технологий и повторное выполнение когнитивных и физических задач способствуют улучшению функциональных результатов пациентов, усиливая процессы нейропластичности мозга и приводя к глубоким изменениям на клеточном и синаптическом уровнях. Эффекты стимуляции нейропластичности связаны с реактивацией и усилением нейротрансмиссии и вовлечением зеркальных нейронов, интеграции восприятия, сознания и исполнения при одновременном выполнении множественных задач, формированием новых и повторением существующих

двигательных программ в процессе обучения. Как известно, способность к нейропластичности сохраняется на протяжении всей жизни и напрямую связана с индивидуальными возможностями к самовосстановлению, обучению и адаптации, что значимо для хронических и прогрессирующих нарушений в ЦНС, в частности, при восстановительном лечении пациентов с РС [82, 83].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поиск новых безопасных подходов в нейрореабилитации имеет фундаментальное значение. Реабилитационные инновации, ориентированные на помощь пациентам с РС, направлены на внедрение в клиническую практику передовых технологий для оценки и лечения когнитивных и моторных функций. Более глубокие знания о когнитивных фенотипах на уровне пациента, предельно доступные и адаптированные вмешательства, персонализированные подходы, а также лучшее понимание механизмов когнитивного дефицита и необходимости решения проблемы многозадачности в повседневной жизни следует считать основными целями текущих и будущих исследований в направлениях реабилитации РС. Анализ больших данных, алгоритмы искусственного интеллекта, носимые технологии, компьютеризированные программы когнитивного обучения, ВР и ДР являются лишь частью современных технологических достижений, которые могут быть необходимы для решения таких задач. Более того, технологии цифровых двойников, дистанционные подходы без участия специализированного и вспомогательного персонала и повышение уровня иммерсивности виртуальных сред могут стать передовыми элементами, имеющими решающее значение для реализации более адаптированных и эффективных реабилитационных вмешательств.

Продемонстрировано, что клиническая эффективность когнитивной реабилитации с использованием технологий ВР может быть сопоставима или даже превосходит в определенных областях традиционные программы восстановительной терапии. При рассмотрении фундаментальных механизмов, лежащих в основе нейрореабилитации с применением иммерсивных методик, обсуждается способность стимулировать синаптическую реорганизацию и ремиелинизацию. При этом тренировки, проводимые с применением таких современных технологий, помогают улучшить не только баланс и двигательные функции, но и когнитивную производительность пациентов с РС. В целом когнитивная коррекция, основанная на виртуальных технологиях, благодаря своей неинвазивности и отсутствию характерных для фармакотерапии побочных эффектов демонстрирует персональные преимущества в достижении терапевтических целей и повышении эффективности реабилитации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Широлатов Игорь Викторович, кандидат медицинских наук, доцент, заведующий лабораторией, доцент кафедры физиологии, Научно-исследовательский институт нейронаук, Самарский государственный медицинский университет. E-mail: i.v.shirolatov@samsmu.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7670-6566>

Захаров Александр Владимирович, кандидат медицинских наук, доцент, директор, доцент кафедры неврологии

и нейрохирургии, Научно-исследовательский институт нейронаук, Самарский государственный медицинский университет.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1709-6195>

Романчук Наталья Петровна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры физиологии, заведующий лабораторией, Научно-исследовательский институт нейронаук, Самарский государственный медицинский университет.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3522-6803>

Комарова Юлия Сергеевна, специалист, Научно-исследовательский институт нейронаук, Самарский государственный медицинский университет.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3435-1477>

Сергеева Мария Станиславовна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры физиологии, Научно-исследовательский институт нейронаук, Самарский государственный медицинский университет.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0926-8551>

Шишкина Анна Анатольевна, кандидат медицинских наук, заведующий кафедрой медицинской реабилитации, спортивной медицины, физиотерапии и курортологии, Самарский государственный медицинский университет.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0586-8039>

Хивинцева Елена Викторовна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры неврологии и нейрохирургии, Самарский государственный медицинский университет.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1878-7951>

Шарафутдинова Ирина Ахатовна, специалист, Научно-исследовательский институт нейронаук, Самарский государственный медицинский университет.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7314-0221>

Вклад авторов. Авторы данного исследования подтверждают соответствие своего авторства согласно международ-

ным 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: Широлапов И.В. — написание черновика рукописи, проверка и редактирование рукописи, научное обоснование; Захаров А.В. — проверка и редактирование рукописи, научное обоснование; Романчук Н.П. — проверка и редактирование рукописи, научное обоснование; Комарова Ю.С. — написание черновика рукописи, проверка и редактирование рукописи; Сергеева М.С. — проверка и редактирование рукописи, научное обоснование; Шишкина А.А. — научное обоснование; Хивинцева Е.В. — написание черновика рукописи, научное обоснование; Шарафутдинова И.А. — написание черновика 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

Igor V. Shirolapov, Ph.D. (Med.), Docent, Head of Laboratory, Associate Professor at the Department of Physiology, Research Institute of Neurosciences, Samara State Medical University.

E-mail: i.v.shirolapov@samsmu.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7670-6566>

Alexander V. Zakharov, Ph.D. (Med.), Docent, Director, Associate Professor at the Department of Neurology and Neurosurgery, Research Institute of Neurosciences, Samara State Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1709-6195>

Natalia P. Romanchuk, Ph.D. (Med.), Associate Professor at the Department of Physiology, Head of Laboratory, Research Institute of Neurosciences, Samara State Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3522-6803>

Yuliya S. Komarova, Specialist, Research Institute of Neurosciences, Samara State Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3435-1477>

Mariya S. Sergeeva, Ph.D. (Biol.), Docent, Associate Professor at the Department of Physiology, Research Institute of Neurosciences, Samara State Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0926-8551>

Anna A. Shishkina, Ph.D. (Med.), Head of the Department of Medical Rehabilitation, Sports Medicine, Physiotherapy and Balneology, Samara State Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0586-8039>

Elena V. Khivintseva, Ph.D. (Med.), Docent, Associate Professor at the Department of Neurology and Neurosurgery, Samara State Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1878-7951>

Irina A. Sharafutdinova, Specialist, Research Institute of Neurosciences, Samara State Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7314-0221>

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: Shirolapov I.V. — writing — original draft, writing — review & editing, conceptualization; Zakharov A.V. — writing — review & editing, conceptualization; Romanchuk N.P. — writing — review & editing, conceptualization; Komarova Yu.S. — writing — original draft, writing — review & editing; Sergeeva M.S. — writing — review & editing, conceptualization; Shishkina A.A. — conceptualization; Khivintseva E.V. — writing — original draft, conceptualization; Sharafutdinova I.A. — writing — original draft.

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. LaMarca A., Tse I., Keysor J. Rehabilitation Technologies for Chronic Conditions: Will We Sink or Swim? *Healthcare* (Basel). 2023; 11(20): 2751. <https://doi.org/10.3390/healthcare11202751>
2. Maggio M.G., Cezar R.P., Milardi D., et al. Do patients with neurological disorders benefit from immersive virtual reality? A scoping review on the emerging use of the computer-assisted rehabilitation environment. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2024; 60(1): 37–43. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.23.08025-5>

3. Deutsch J.E., Westcott McCoy S. Virtual Reality and Serious Games in Neurorehabilitation of Children and Adults: Prevention, Plasticity, and Participation. *Pediatr Phys Ther.* 2017; 29(3): 23–36. <https://doi.org/10.1097/PEP.0000000000000387>
4. Catania V., Rundo F., Panerai S., Ferri R. Virtual Reality for the Rehabilitation of Acquired Cognitive Disorders: A Narrative Review. *Bioengineering (Basel).* 2023; 11(1): 35. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11010035>
5. Calabrò R.S., Naro A., Russo M., et al. The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG: A randomized clinical trial. *J. Neuroeng. Rehabil.* 2017; 14: 53. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0268-4>
6. Zakharov A.V., Bulanov V.A., Khivintseva E.V., et al. Stroke affected lower limbs rehabilitation combining virtual reality with tactile feedback. *Frontiers in Robotics and AI.* 2020; 7: 81. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00081>
7. McGinley M.P., Goldschmidt C.H., Rae-Grant A.D. Diagnosis and treatment of multiple sclerosis: A review. *JAMA.* 2021; 325(8): 765–779. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.26858>
8. De Farias F.A.C., Dagostini C.M., Bicca Y.D.A., et al. Remote Patient Monitoring: A Systematic Review. *Telemed. J. Health.* 2020; 26: 576–583. <https://doi.org/10.1089/tmj.2019.0066>
9. Широлапов И.В., Захаров А.В., Шишкина А.А. и др. Эффективность компьютеризированного когнитивного тренинга для профилактики когнитивных нарушений и стимуляции нейропластичности. *Успехи геронтологии.* 2024; 37(3): 221–229. <https://doi.org/10.34922/AE.2024.37.3.007> [Shirolapov I.V., Zakharov A.V., Shishkina A.A., et al. Efficiency of computerized cognitive training for prevention of cognitive impairments and stimulation of neuroplasticity. *Adv Gerontol.* 2024; 37(3): 221–229. <https://doi.org/10.34922/AE.2024.37.3.007> (In Russ.).]
10. Пятин В.Ф., Широлапов И.В. Физическая нагрузка ускорением — расширение реабилитационных возможностей восстановительной медицины. *Вестник восстановительной медицины.* 2009; 29(1): 25–29. [Pyatin V.F., Shirolapov I.V. Accelerated physical activity — expanding the rehabilitative potential of regenerative medicine. *Journal of Restorative Medicine and Rehabilitation.* 2009; 29(1): 25–29 (In Russ.).]
11. Pyatin V.F., Kolsanov A.V., Shirolapov I.V. Recent Medical Techniques for Peripheral Nerve Repair: Clinico-Physiological Advantages of Artificial Nerve Guidance Conduits. *Advances in Gerontology.* 2017; 7(2):148–154. <https://doi.org/10.1134/S2079057017020126>
12. Ali S.G., Wang X., Li P., et al. A systematic review: Virtual-reality-based techniques for human exercises and health improvement. *Front Public Health.* 2023; 11: 1143947. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1143947>
13. Базанова О.М., Балиоз Н.В., Ермолаева С.А., и др. Исследование психофизиологических показателей сенсомоторной интеграции при ПТСР. Обоснование выбора мишеней для биоуправления. *Физиология человека.* 2024; 50(3): 63–80. <https://doi.org/10.31857/S0131164624030061> [Bazanova O.M., Balioz N.V., Ermolaeva S.A., et al. Study of psychophysiological indicators of sensorimotor Integration in PTSD. Justification of the choice of targets for biofeedback. *Human Physiology.* 2024; 50(3): 63–80. <https://doi.org/10.31857/S0131164624030061> (In Russ.).]
14. Макшаков Г.С., Мазур А.П., Садовских М.О. и др. Реабилитация нарушений ходьбы и баланса при рассеянном склерозе с помощью прогрессивной тренировки мощности с сопротивлением: рандомизированное контролируемое исследование. *Вестник восстановительной медицины.* 2023; 22(3): 17–18. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-17-28> [Makshakov G.S., Mazur A.P., Sadovskikh M.O., et al. Rehabilitation of Gait and Balance Disorders in Multiple Sclerosis using Progressive Resistance Power Training: a Randomized Controlled Study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2023; 22(3): 17–18. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-17-28> (In Russ.).]
15. Duan H., Jing Y., Li Y., et al. Rehabilitation treatment of multiple sclerosis. *Front Immunol.* 2023; 14: 1168821. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1168821>
16. Giovannoni G., Butzkueven H., Dhib-Jalbut S., et al. Brain health: Time matters in multiple sclerosis. *Mult. Scler. Relat. Disord.* 2016; 9: 5–48. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2016.07.003>
17. Boschetti A., Maida E., Dini M., et al. A Review on the Feasibility and Efficacy of Home-Based Cognitive Remediation in People with Multiple Sclerosis. *J Clin Med.* 2024; 13(7): 1916. <https://doi.org/10.3390/jcm13071916>
18. Мельников М.В., Пашенков М.В., Бойко А.Н. Психонейроиммунология и рассеянный склероз. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2015; 115(2–2): 8–15. [Melnikov M.V., Pashenkov M.V., Boyko A.N. Psychoneuroimmunology and multiple sclerosis. *Zhurnal Nevrologii i Psichiatrii im. S.S. Korsakova.* 2015; 115(2–2): 8–15 (In Russ.).]
19. Berrigan L.I., Fisk J.D., Tremlett H., et al. Health-related quality of life in multiple sclerosis: direct and indirect effects of comorbidity. *Neurology.* 2016; 86: 1417–1424. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002564>
20. Tacchino A., Podda J., Bergamaschi V., et al. Cognitive rehabilitation in multiple sclerosis: Three digital ingredients to address current and future priorities. *Front Hum Neurosci.* 2023; 17: 1130231. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1130231>
21. Brichetto G., Pedullà L., Podda J., Tacchino A. Beyond center-based testing: Understanding and improving functioning with wearable technology in MS. *Mult. Scler.* 2019; 25: 1402–1411. <https://doi.org/10.1177/1352458519857075>
22. Frau J., Mulasso A., Coghe G., et al. Multidimensional frailty and its association with quality of life and disability: A cross-sectional study in people with multiple sclerosis. *Mult. Scler. Relat. Disord.* 2023; 79: 105036. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2023.105036>
23. Maggio M.G., De Luca R., Manuli A., et al. Do patients with multiple sclerosis benefit from semi-immersive virtual reality? A randomized clinical trial on cognitive and motor outcomes. *Appl. Neuropsychol. Adult.* 2022; 29: 59–65. <https://doi.org/10.1080/23279095.2019.1708364>
24. Shirolapov I., Zakharov A., Gochhait S., et al. Aquaporin-4 as the Main Element of the Glymphatic System for Clearance of Abnormal Proteins and Prevention of Neurodegeneration: A Review. *WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine.* 2023; 20: 110–118. <https://doi.org/10.37394/23208.2023.20.11>
25. Широлапов И.В., Захаров А.В., Булгакова С.В. и др. Глимфатическая дисфункция в патогенезе нейродегенеративных заболеваний и патологического старения. *Гены и клетки.* 2023; 18(4): 309–322. <https://doi.org/10.23868/gc546022> [Shirolapov I.V., Zakharov A.V., Bulgakova S.V., et al. Glymphatic dysfunction in the pathogenesis of neurodegenerative diseases and pathological aging. *Genes & cells.* 2023; 18(4): 309–322. <https://doi.org/10.23868/gc546022> (In Russ.).]
26. Тренева Е.В., Булгакова С.В., Курмаев Д.П. и др. Адипокины и долгожительство: связи и парадоксы. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология.* 2024; 2: 149–155. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-222-2-149-155> [Treneva E.V., Bulgakova S.V., Kurmaev D.P., et al. Adipocines and longevity: connections and paradoxes. *Experimental and Clinical Gastroenterology.* 2024; 2: 149–155. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-222-2-149-155> (In Russ.).]
27. Широлапов И.В., Маслова О.А., Барашкина К.М., и др. Энтомофагия как альтернативный источник белка и новая пищевая стратегия. *Казанский медицинский журнал.* 2023; 104(5): 733–740. <https://doi.org/10.17816/KMJ123526> [Shirolapov I.V., Maslova O.A., Barashkina K.M., et al. Entomophagy as an alternative source of protein and a new food strategy. *Kazan Medical Journal.* 2023;104(5):733–740. <https://doi.org/10.17816/KMJ123526> (In Russ.).]
28. Широлапов И.В., Грибкова О.В., Ковалев А.М. и др. Роль взаимосвязей по оси мозг-кишечник-микробиом в регуляции циркадианных ритмов, механизмах сна и их нарушений. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски.* 2024; 124(5–2): 79–86. <https://doi.org/10.17116/jnevro202412405279> [Shirolapov I.V., Gribkova O.V., Kovalev A.M., et al. The interactions along the microbiota-gut-brain axis in the regulation of circadian rhythms, sleep mechanisms and disorders. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2024; 124(5–2): 79–86. <https://doi.org/10.17116/jnevro202412405279> (In Russ.).]
29. Okholm S. Geroscience: just another name or is there more to it? *Biogerontology.* 2024; 25(4): 739–743. <https://doi.org/10.1007/s10522-024-10105-x>

30. Шиrolапов И.В., Захаров А.В., Смирнова Д.А. и др. Роль глимфатического клиренса в механизмах взаимосвязи цикла сон-бодрствование и развития нейродегенеративных процессов. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2023; 123(9): 31–36. <https://doi.org/10.17116/jnevro202312309131> [Shirolapov I.V., Zakharov A.V., Smirnova D.A., et al. The significance of the glymphatic pathway in the relationship between the sleep-wake cycle and neurodegenerative diseases. S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2023; 123(9): 31–36. <https://doi.org/10.17116/jnevro202312309131> (In Russ.)]
31. Курмаев Д.П., Булгакова С.В., Тренева Е.В. и др. COVID-19, нейроковид и когнитивные нарушения у пациентов пожилого и старческого возраста (обзор литературы). Успехи геронтологии. 2023; 36(1): 98–108. <https://doi.org/10.34922/AE.2023.36.1.013> [Kurmaev D.P., Bulgakova S.V., Treneva E.V., et al. COVID-19, NeuroCOVID-19 and cognitive impairment in elderly and old patients (Literature review). Advances in Gerontology. 2023; 36(1): 98–108. <https://doi.org/10.34922/AE.2023.36.1.013> (In Russ.)]
32. Пятин В.Ф., Шиrolапов И.В. Нейромышечная стимуляция в условиях вибрационной физической нагрузки для профилактики остеопороза. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2020; 97(3): 87–93. <https://doi.org/10.17116/kurort20209703187> [Pyatin V.F., Shirolapov I.V. Neuromuscular stimulation in conditions of vibrational physical activity for the prevention of osteoporosis. Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult. 2020; 97(3): 87–93. <https://doi.org/10.17116/kurort20209703187> (In Russ.)]
33. Morris Z.S., Wooding S., Grant J. The Answer Is 17 Years, What Is the Question: Understanding Time Lags in Translational Research. J. R. Soc. Med. 2011; 104: 510–520. <https://doi.org/10.1258/jrsm.2011.110180>
34. Shirolapov I.V., Zakharov A.V., Smirnova D.A. et al. The Role of the Glymphatic Clearance System in the Mechanisms of the Interactions of the Sleep-Waking Cycle and the Development of Neurodegenerative Processes. Neurosci Behav Physiol. 2024; 54(2): 199–204. <https://doi.org/10.1007/s11055-024-01585-y>
35. Mihelj M., Novak D., Begus S. Virtual Reality Technology and Applications. 1st ed. Springer. Dordrecht. The Netherlands. 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-6910-6>
36. Emmelkamp P.M.G., Meyerbröker K. Virtual Reality Therapy in Mental Health. Annu Rev Clin Psychol. 2021; 17: 495–519. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-081219-115923>
37. Sevchenko K., Lindgren I. The Effects of Virtual Reality Training in Stroke and Parkinson's Disease Rehabilitation: A Systematic Review and a Perspective on Usability. Eur. Rev. Aging Phys. Act. 2022; 19: 4. <https://doi.org/10.1186/s11556-022-00283-3>
38. Agapov S.N., Bulanov V.A., Zakharov A.V., et al. Comparison of classifiers in the tasks of the single-trial vep classification. Zhurnal Vysshei Nervnoi Deyatelnosti Imeni I.P. Pavlova. 2017; 67(4): 521–526. <https://doi.org/10.7868/S004446771704013X>
39. Kirasirova L.A., Zakharov A.V., Morozova M.V., et al. Erp correlates of emotional face processing in virtual reality. Opera Medica et Physiologica, 2021; 8(3): 12–19. <https://doi.org/10.24412/2500-2295-2021-3-12-19>
40. Rizzolatti G., Fogassi L. The mirror mechanism: recent findings and perspectives. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2014; 369: 20130420. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0420>
41. Felsberg D., Maher J.P., Rhea C.K. The State of Behavior Change Techniques in Virtual Reality Rehabilitation of Neurologic Populations: A Systematic Review. Front. Psychol. 2019; 10: 979. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00979>
42. Ren Y., Lin C., Zhou Q., et al. Effectiveness of Virtual Reality Games in Improving Physical Function, Balance and Reducing Falls in Balance-Impaired Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. Arch. Gerontol. Geriatr. 2023; 108: 104924. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2023.104924>
43. Corregidor-Sánchez A.I., Segura-Fragoso A., Rodríguez-Hernández M., et al. Effectiveness of Virtual Reality Technology on Functional Mobility of Older Adults: Systematic Review and Meta-Analysis. Age Ageing. 2021; 50: 370–379. <https://doi.org/10.1093/ageing/afaa197>
44. Elhusein A.M., Fadlalmola H.A., Awadalkareem E.M., et al. Exercise-based gaming in patients with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. Belitung Nurs J. 2024; 10(1): 1–14. <https://doi.org/10.33546/bnj.3006>
45. Benedict R.H.B., Amato M.P., DeLuca J., Geurts J.J.G. Cognitive impairment in multiple sclerosis: Clinical management, MRI, and therapeutic avenues. Lancet Neurol. 2020; 19: 860–871. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(20\)30277-5](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(20)30277-5)
46. DeLuca G.C., Yates R.L., Beale H., Morrow S.A. Cognitive impairment in multiple sclerosis: Clinical, radiologic and pathologic insights. Brain Pathol. 2015; 25: 79–98. <https://doi.org/10.1111/bpa.12220>
47. Sandroff B.M., DeLuca J. Will Behavioral Treatments for Cognitive Impairment in Multiple Sclerosis Become Standards-of-Care? Int. J. Psychophysiol. 2020; 154: 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.02.010>
48. Schoonheim M.M., Meijer K.A., Geurts J.J. Network collapse and cognitive impairment in multiple sclerosis. Front. Neurol. 2015; 6: 82. <https://doi.org/10.3389/fneur.2015.00082>
49. Nasios G., Bakirtzis C., Messinis L. Cognitive impairment and brain reorganization in MS: Underlying mechanisms and the role of neurorehabilitation. Front. Neurol. 2020; 11: 147. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00147>
50. Prosperini L., Di Filippo M. Beyond clinical changes: Rehabilitation-induced neuroplasticity in MS. Mult. Scler. J. 2019; 25: 1348–1362. <https://doi.org/10.1177/1352458519846096>
51. Mitolo M., Venneri A., Wilkinson I.D., Sharrack B. Cognitive rehabilitation in multiple sclerosis: A systematic review. J. Neurol. Sci. 2015; 354: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2015.05.004>
52. Sumowski J.F., Benedict R., Enzinger C., et al. Cognition in multiple sclerosis: State of the field and priorities for the future. Neurology. 2018; 90(6): 278–288. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000004977>
53. Oreja-Guevara C., Ayuso Blanco T., Brieva Ruiz L., et al. Cognitive Dysfunctions and Assessments in Multiple Sclerosis. Front. Neurol. 2019; 10: 581. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00581>
54. Gharakhanlou R., Wesselmann L., Rademacher A., et al. Exercise training and cognitive performance in persons with multiple sclerosis: A systematic review and multilevel meta-analysis of clinical trials. Mult Scler. 2021; 27(13): 1977–1993. <https://doi.org/10.1177/1352458520917935>
55. Su Z., Zhang L., Lian X., Guan M. Virtual Reality-Based Exercise Rehabilitation in Cancer-Related Dysfunctions: Scoping Review. J Med Internet Res. 2024; 26: e49312. <https://doi.org/10.2196/49312>
56. Massetti T., da Silva T.D., Crocetta T.B., et al. The Clinical Utility of Virtual Reality in Neurorehabilitation: A Systematic Review. J Cent Nerv Syst Dis. 2018; 10: 1179573518813541. <https://doi.org/10.1177/1179573518813541>
57. Захаров А.В., Хивинцева Е.В., Колсанов А.В., Воронин А.С. Эффективность реабилитации пациентов с рассеянным склерозом в виртуальной реальности. Наука и инновации в медицине. 2019; 4(3): 25–29. <https://doi.org/10.35693/2500-1388-2019-4-3-25-29> [Zakharov A.V., Khivintseva E.V., Kolsanov A.V., Voronin A.S. The effectiveness of rehabilitation of patients with multiple sclerosis in virtual reality. Science and Innovations in Medicine. 2019; 4(3): 25–29. <https://doi.org/10.35693/2500-1388-2019-4-3-25-29> (In Russ.)]
58. Bateni H., Carruthers J., Mohan R., Pishva S. Use of Virtual Reality in Physical Therapy as an Intervention and Diagnostic Tool. Rehabil Res Pract. 2024; 2024: 1122286. <https://doi.org/10.1155/2024/1122286>
59. Zhang Q., Fu Y., Lu Y., et al. Impact of Virtual Reality-Based Therapies on Cognition and Mental Health of Stroke Patients: Systematic Review and Meta-analysis. J Med Internet Res. 2021; 23(11): e31007. <https://doi.org/10.2196/31007>

60. Papaioannou T., Voinescu A., Petri K., Stanton Fraser D. Efficacy and Moderators of Virtual Reality for Cognitive Training in People with Dementia and Mild Cognitive Impairment: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Alzheimers Dis.* 2022; 88(4): 1341–1370. <https://doi.org/10.3233/JAD-210672>
61. Kumar J., Patel T., Sugandh F., et al. Innovative Approaches and Therapies to Enhance Neuroplasticity and Promote Recovery in Patients with Neurological Disorders: A Narrative Review. *Cureus.* 2023; 15(7): e41914. <https://doi.org/10.7759/cureus.41914>
62. Повереннова И.Е., Ткаченко А.С., Захаров А.В. и др. Каротидный стеноз как фактор риска развития ишемического инсульта. Наука и инновации в медицине. 2024; 9(2): 124–130. <https://doi.org/10.35693/SIM627523> [Poverennova I.E., Tkachenko A.S., Zakharov A.V., et al. Carotid stenosis as a risk factor for ischemic stroke. *Science and Innovations in Medicine.* 2024; 9(2): 124–130. <https://doi.org/10.35693/SIM627523> (In Russ).]
63. Cortés-Pérez I., Sánchez-Alcalá M., Nieto-Escámez F.A., et al. Virtual reality-based therapy improves fatigue, impact, and quality of life in patients with multiple sclerosis. *A Systematic Rev Meta-Analysis. Sensors (Basel).* 2021; 21: 7389. <https://doi.org/10.3390/s21217389>
64. Munari D., Fonte C., Varalta V., et al. Effects of robot-assisted gait training combined with virtual reality on motor and cognitive functions in patients with multiple sclerosis: A pilot, single-blind, randomized controlled trial. *Restor Neurol Neurosci.* 2020; 38(2): 151–164. <https://doi.org/10.3233/RNN-190974>
65. Lamargue D., Koubiyr I., Deloire M., et al. Effect of cognitive rehabilitation on neuropsychological and semiecolological testing and on daily cognitive functioning in multiple sclerosis: The REACTIV randomized controlled study. *J Neurol Sci.* 2020; 415: 116929. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2020.116929>
66. Ozdogar A.T., Ertekin O., Kahraman T., et al. Effect of video-based exergaming on arm and cognitive function in persons with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. *Mult Scler Relat Disord.* 2020; 40: 101966. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2020.101966>
67. Russo M., Dattola V., De Cola M.C., et al. The role of robotic gait training coupled with virtual reality in boosting the rehabilitative outcomes in patients with multiple sclerosis. *Int J Rehabil Res.* 2018; 41(2): 166–172. <https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000270>
68. Leonardi S., Maggio M.G., Russo M., et al. Cognitive recovery in people with relapsing/remitting multiple sclerosis: A randomized clinical trial on virtual reality-based neurorehabilitation. *Clin Neurol Neurosurg.* 2021; 208: 106828. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2021.106828>
69. Pagliari C., Di Tella S., Jonsdottir J., et al. Effects of home-based virtual reality telerehabilitation system in people with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. *J Telemed Telecare.* 2024; 30(2): 344–355. <https://doi.org/10.1177/1357633X211054839>
70. Manuli A., Maggio M.G., Tripoli D., et al. Patients' perspective and usability of innovation technology in a new rehabilitation pathway: An exploratory study in patients with multiple sclerosis. *Mult Scler Relat Disord.* 2020; 44: 102312. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2020.102312>
71. Maggio M.G., Maresca G., De Luca R., et al. The Growing Use of Virtual Reality in Cognitive Rehabilitation: Fact, Fake or Vision? A Scoping Review. *J Natl Med Assoc.* 2019; 111(4): 457–463. <https://doi.org/10.1016/j.jnma.2019.01.003>
72. Zhang J., Wu M., Li J., et al. Effects of virtual reality-based rehabilitation on cognitive function and mood in multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Mult Scler Relat Disord.* 2024; 87: 105643. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2024.105643>
73. Kane A., Thompson N.R., Sullivan A.B. Assessment of Computer Assisted Rehabilitation Environment (CAREN) System Use and Mood in Patients with Multiple Sclerosis. *Int J MS Care* 2022; 24: 63–66. <https://doi.org/10.7224/1537-2073.2020-131>
74. Clemenson G.D., Stark S.M., Rutledge S.M., Stark C.E.L. Enriching hippocampal memory function in older adults through video games. *Behav Brain Res.* 2020; 390: 112667. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112667>
75. Riva G., Mancuso V., Cavedoni S., Stramba-Badiale C. Virtual reality in neurorehabilitation: a review of its effects on multiple cognitive domains. *Expert Rev Med Devices.* 2020; 17(10): 1035–1061. <https://doi.org/10.1080/17434440.2020.1825939>
76. Lozano-Quilis J.A., Gil-Gómez H., Gil-Gómez J.A., et al. Virtual rehabilitation for multiple sclerosis using a kinect-based system: randomized controlled trial. *JMIR Serious Games.* 2014; 2(2): e12. <https://doi.org/10.2196/games.2933>
77. Behrouz Jazi A.H., Rasti J., Etemadifar M. Balance rehabilitation for patients with Multiple Sclerosis using a Kinect®-based virtual training program. *J Clin Neurosci.* 2023; 116: 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2023.08.026>
78. Bulanov V.A., Zakharov A.V., Khivintseva E.V. Wavelet transform for the identification of P300. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2020; 862(5): 052049. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/5/052049>
79. Пятин В.Ф., Шиrolапов И.В., Никитин О.Л. Реабилитационные возможности вибрационной физической нагрузки в геронтологии. Успехи геронтологии. 2009; 22(2): 337–342. [Piatin V.F., Shirolapov I.V., Nikitin O.L. Vibrational physical exercises as the rehabilitation in gerontology. *Adv Gerontol.* 2009; 22(2): 337–342 (In Russ).]
80. Ksiazek-Winiarek D.J., Szpakowski P., Glabinski A. Neural Plasticity in Multiple Sclerosis: The Functional and Molecular Background. *Neural Plast.* 2015; 2015: 307175. <https://doi.org/10.1155/2015/307175>
81. Modica C.M., Bergsland N., Dwyer M.G., et al. Cognitive reserve moderates the impact of subcortical gray matter atrophy on neuropsychological status in multiple sclerosis. *Mult Scler.* 2016; 22(1): 36–42. <https://doi.org/10.1177/1352458515579443>
82. Milewska-Jędrzejczak M., Głabiński A. The Influence of Conventional and Innovative Rehabilitation Methods on Brain Plasticity Induction in Patients with Multiple Sclerosis. *J Clin Med.* 2023; 12(5): 1880. <https://doi.org/10.3390/jcm12051880>
83. Neupokoeva A., Bratchenko I., Bratchenko L., et al. Raman Liquid Biopsy: A New Approach to The Multiple Sclerosis Diagnostics. *Front. Neurol.* 2025; 16: 1516712. <https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1516712>

Post-press / Press release

XI Международный конгресс «Санаторно-курортное лечение»

29–30 мая 2025 г. в Москве состоялся XI Международный конгресс «Санаторно-курортное лечение» — ключевое событие в области развития санаторно-курортного комплекса России, объединяющее главных внештатных специалистов по санаторно-курортному лечению, ученых, представителей клинических центров, а также руководителей и специалистов по практической реабилитационной медицине.

Мероприятие прошло при поддержке и непосредственном участии Министерства здравоохранения Российской Федерации и в соответствии с планом научно-практических мероприятий Минздрава России на 2025 г.



Рис. 1. Торжественное открытие XI Международного конгресса «Санаторно-курортное лечение»

Fig. 1. Grand opening of the XI International Congress “Health Resort Treatment”

На Конгрессе обсуждались современные подходы, передовые практики и инновационные решения в сфере санаторно-курортного лечения, а также стратегическое развитие отрасли в контексте национальных приоритетов и глобальных тенденций. В рамках программы были освещены вопросы повышения качества и доступности медицинских и оздоровительных услуг, цифровизации индустрии, внедрения новых технологий и формирования современных стандартов инфраструктуры.

Работа Конгресса была организована с приглашением авторитетных спикеров — руководителей и экспертов, играющих ключевую роль в реализации значимых изменений в отрасли курортологии. За два насыщенных дня в мероприятии приняли участие 191 докладчик, среди которых были главные внештатные специалисты по санаторно-курортному лечению, специалисты научно-клинических центров министерства здравоохранения России, руководители и специалисты практической реабилитационной медицины, представители ведомственной медицины санаторно-курортного комплекса субъектов России.

Важной частью Конгресса стало заседание профильной комиссии Минздрава России, которое определило основные векторы в развитии санаторно-курортной отрасли на территории Российской Федерации.

В ходе Конгресса прошли панельные дискуссии и мастер-классы на 20 научно-практических секциях, торжественное подписание соглашения о сотрудничестве между ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России (ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России) и Научно-практическим центром курортологии Федерации профсоюзов Республики Узбекистан, торжественное награждение специалистов благодарственными письмами Минздрава России за вклад в развитие санаторно-курортной отрасли, специализированная выставка физиотерапевтических аппаратов и реабилитационного оборудования.



Рис. 2. Выступление Министра здравоохранения Российской Федерации М.А. Мурашко

Fig. 2. Speech by M.A. Murashko, Minister of Health of the Russian Federation

Позитивный отклик участников Конгресса вызвала возможность обратной связи с экспертами, докладчиками, вовлеченность всех делегатов в работу.

Почетными гостями Конгресса стали Министр здравоохранения Российской Федерации Мурашко Михаил Альбертович, заместитель министра здравоохранения Российской Федерации Камкин Евгений Геннадьевич, первый заместитель председателя Комитета Совета Федерации по социальной политике Чефранова Жанна Юрьевна, член Комитета Государственной думы по охране здоровья, руководитель Экспертного совета по вопросам совершенствования медицинской реабилитации и санаторно-курортного лечения Кизеев Михаил Владимирович, директор Департамента организации медицинской помощи и санаторно-курортного дела Минздрава России Каракулина Екатерина Валерьевна, заместитель директора департамента организации медицинской помощи и санаторно-курортного дела Минздрава России Бадлуев Даржа Эдуардович, и.о. генерального директора ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр медицинской реабилитации и курортологии Федерального медико-биологического агентства» Гамеева Елена Владимировна, главный внештатный специалист по санаторно-курортному лечению Минздрава России, главный врач санаторно-курортно-

го комплекса «Вулан» — научно-клинического филиала ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России Никитин Михаил Владимирович, главный внештатный специалист по медицинской реабилитации Минздрава России, руководитель Научно-исследовательского центра медицинской реабилитации Федерального центра мозга и нейротехнологий ФМБА России Иванова Галина Евгеньевна, главный внештатный специалист по медицинской профилактике Минздрава России, руководитель отдела стратегического планирования и внедрения технологий ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Минздрава России Дроздова Любовь Юрьевна, директор Департамента по взаимодействию с органами власти АО «Корпорация Туризм. РФ» Шелдунов Михаил Юрьевич.



Рис. 3. Директор Департамента организации медицинской помощи и санаторно-курортного дела Минздрава России Каракулина Е.В., заместитель министра здравоохранения Российской Федерации Камкин Е.Г., заместитель директора департамента организации медицинской помощи и санаторно-курортного дела Минздрава России Бадлуев Д.Э.

Fig. 3. E.V. Karakulina, Director of the Department for Organization of Medical Care and Health Resort Management of the Ministry of Health of Russia, E.G. Kamkin, Deputy Minister of Health of the Russian Federation, D.E. Badluev, Deputy Director of the Department for Organization of Medical Care and Health Resort Management of the Ministry of Health of Russia

В своем выступлении министр здравоохранения Михаил Мурашко обозначил ключевые направления работы санаторно-курортного комплекса Российской Федерации и отметил, что санаторно-курортное лечение — неотъемлемый компонент здравоохранения и один из главных способов поддержания и укрепления здоровья, а также реабилитации пациентов.

«По данным реестра государственного курортного фонда, 252 территории признаны лечебно-оздоровительными местностями, и наша с вами задача их развивать. Ключевым является в том числе и выход на новые стандарты предоставления как медицинской помощи, так и услуг», — сказал глава Минздрава России Михаил Мурашко.

Михаил Мурашко подчеркнул, что каждое санаторно-курортное учреждение должно беспрекословно выполнять задачи, которые касаются создания доступной среды для всех категорий граждан.

«Пациенты с ампутациями конечностей, люди на инвалидных колясках и многие другие категории граждан, которым требуются дополнительные оборудованные помещения и лечебные кабинеты, включая использование в том числе и специализированных для них методов лечения, — все это должно войти в нашу практику как норма оказания медицинской помощи», — подчеркнул министр.

«Наше сегодняшнее мероприятие проходит в год старта новых национальных проектов, когда определяются векторы развития здравоохранения на среднесрочную перспективу. Особенностью нашего Конгресса является выработка тематических инициатив для внесения вклада санаторно-курортного комплекса в достижение национальных целей развития страны.

Экспертному сообществу, главным внештатным специалистам, руководителям организаций и всем участникам, и гостям Конгресса предстоит обсудить важнейшие темы. Основные из них — это возможности санаторно-курортного лечения для роста ожидаемой продолжительности жизни граждан нашей страны и механизмы повышения доступности и качества санаторных услуг для всех полувозрастных групп населения. В контексте обеспечения технологического лидерства России предстоит выработать подходы к развитию новых технологий и внедрению современных решений, касающихся здоровья, при санаторно-курортном лечении, что невозможно без профессиональных медицинских и научных работ, формирования и развития научных школ, курортов, привлечения и удержания в отрасли молодых ученых и практиков», — заявила в своем выступлении директор ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России Наталия Зубарева.

«В рамках Конгресса предстоит обсудить актуальные вопросы совершенствования санаторно-курортной сферы в нашей стране, в том числе формирование единого регистра, реестра курортного фонда, приведение материально-технической базы санаториев



Рис. 4. Осмотр выставки Конгресса Министром здравоохранения Российской Федерации Мурашко М.А. и доктором экономических наук, доцентом, директором ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России Зубаревой Н.Н.

Fig. 4. A visit to the Congress exhibition by M.A. Murashko, Minister of Health of the Russian Federation, and N.N. Zubareva, Doctor of Science (Economics), Docent, Director of National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Russia N.N. Zubareva

к современным стандартам, проведение научных исследований, развитие системы образования медицинских специалистов. Проведение Конгресса с международным участием подчеркивает важность обмена опытом передовыми практиками в области санаторно-курортного лечения, позволит совершенствовать отечественную систему здравоохранения, внедрять инновационные методы лечения и восстановления, обеспечить высокий уровень помощи населению и сервисам», — сказала первый заместитель председателя Комитета Совета Федерации по социальной политике Жанна Чедранова.

«Сегодня санаторно-курортная отрасль переживает хорошие времена. Мы на всех уровнях говорим о том, что действительно это этап нового стратегического развития. Озвучены национальные цели, национальные проекты. И, конечно же, здесь санаторно-курортное лечение имеет очень значимое влияние на все эти показатели, начиная от профилактики и заканчивая очень серьезным лечением. И мне, конечно же, вдвойне приятно, что законодатели сделали очень большие перспективные шаги в программе госгарантий на 2025 год. Уже зафиксированы подходы включения санаторно-курортного лечения именно в программу госгарантий. Это беспрецедентное решение на самом высоком уровне», — отметил в своем выступлении руководитель Экспертного совета по вопросам совершенствования медицинской реабилитации и санаторно-курортного лечения Михаил Кизеев.

Согласно официальной статистике, в Конгрессе очно приняли участие 714 специалистов из 106 городов 58 субъектов Российской Федерации и 8 стран: Беларуси, Грузии, Египта, Казахстана, России, США, Таджикистана и Южной Осетии.

Конгресс, безусловно, стал яркой площадкой для обсуждения стратегических инициатив, острых вопросов и научных достижений в формировании новых стандартов, развитии инновационных методов лечения и реабилитации, укрепления межрегиональных связей и повышения стратегической роли санаторно-курортных учреждений в системе здравоохранения России.



Рис. 5. Торжественное подписание соглашения о сотрудничестве между ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России, доктором экономических наук, доцентом, директором ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России Зубаревой Н.Н., и научно-практическим центром курортологии Федерации профсоюзов Республики Узбекистан, доктором медицинских наук, директором научно-практического центра курортологии Федерации профсоюзов Республики Узбекистан Абдурахимовым З.А.

Fig. 5. Ceremony of signing the cooperation agreement between National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Russia, by Doctor of Science (Economics), Associate Professor, Director of National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Russia N.N. Zubareva, and the Scientific and Practical Center of Balneology of the Federation of Trade Unions of the Republic of Uzbekistan, Doctor of Medical Sciences, Director of the Scientific and Practical Center of Balneology of the Federation of Trade Unions of the Republic of Uzbekistan Z.A. Abdurahimov

XI International Congress "Health Resort Treatment"

On May 29–30, 2025, Moscow hosted the XI International Congress "Health Resort Treatment" — a key event in the development of Russia's health resort complex, bringing together chief external experts on health resort treatment, scientists, representatives of clinical centers, as well as managers and experts in practical rehabilitation medicine.

The event was held with the support and direct participation of the Ministry of Health of the Russian Federation, in accordance with the Plan of Scientific and Practical Events of the Russian Ministry of Health for 2025.

The Congress discussed modern approaches, best practices and innovative solutions in the sphere of health resort treatment, as well as strategic development of the industry in the context of national priorities and global trends. The program covered the issues of improving the quality and accessibility of medical and health services, digitalization of the industry, introduction of new technologies and formation of modern infrastructure standards.

The Congress programme was organized around invited speakers, who are recognized experts or hold management positions and play a key role in implementing significant changes in the spa industry. Over the course of two busy days, the event welcomed 191 speakers, including chief external experts in health resort treatment, specialists from scientific and clinical centers of the Ministry of Health of Russia, managers and specialists in practical rehabilitation medicine, and representatives of departmental medicine in the health resort complex of the constituent entities of Russia.

A key part of the Congress was the meeting of the specialized commission of the Ministry of Health of Russia. This meeting defined the main vectors in the development of the health resort industry in the Russian Federation.

Among the events of the Congress were panel discussions and master classes at 20 scientific and practical sections, a ceremonial signing of a cooperation agreement between the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Russia and the Scientific and Practical Center for Balneology of the Federation of Trade Unions of the Republic of Uzbekistan, an official ceremony of awarding specialists with letters of thanks from the Ministry of Health of Russia for their contribution to the development of the health resort industry, a specialized exhibition of physiotherapeutic devices and rehabilitation equipment.

The Congress participants positively responded to the opportunity of feedback from experts, speakers, involvement of all delegates in the activities of the Congress.

Among the guests of honor at the Congress were Mikhail Murashko, Minister of Health of the Russian Federation, Evgeny Kamkin, Deputy Minister of Health of the Russian Federation, and Zhanna Chefranova, First Deputy Chairman of the Federation Council Committee on Social Policy, member of the State Duma Committee on Health Protection, Head of the Expert Council on Improving Medical Rehabilitation and Health Resort Treatment, Mikhail Kizeyev, Director of the Department for Organization of

Medical Care and Health Resort Management of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ekaterina Karakulina, Deputy Director of the Department for Organization of Medical Care and Health Resort Management of the Ministry of Health of Russia, Badluyev Darzha, Acting Director General of the Federal Scientific and Clinical Center for Medical Rehabilitation and Balneology of the Federal Medical and Biological Agency Elena Gameyeva, Chief External Expert in Health Resort Treatment of the Ministry of Health of the Russian Federation, Chief Physician of Vulcan Health Resort Complex — a Scientific and Clinical Branch of National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Russia, Mikhail Nikitin, Chief External Expert in Medical Rehabilitation of the Ministry of Health of the Russian Federation, Head of the Research Center for Medical Rehabilitation of the Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies of FMBA of Russia, Galina Ivanova, Chief External Expert in Medical Prevention of the Ministry of Health of Russia, Head of the Department of Strategic Planning and Implementation of Technologies of the National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine of the Ministry of Health of Russia, Lyubov Drozdova, Director of the Department for Liaison with State Authorities of Turizm Corporation. RF., JSC, Mikhail Sheldunov.

In his address, the Minister of Health Mikhail Murashko outlined the key areas of work of the health resort complex of the Russian Federation and noted that health resort treatment is an integral component of health care and one of the main ways to maintain and improve health, as well as rehabilitation of patients.

"According to the register of the state resort fund, 252 territories in the country are recognized as health and recreation areas, and our task is to develop them. The crucial objective is, among other things, to reach new standards of providing both medical care and services," Mikhail Murashko, Head of the Russian Ministry of Health, said.

Mikhail Murashko emphasized the importance of every health resort institution ensuring the creation of an accessible environment for all categories of citizens.

"Patients with amputations, people in wheelchairs and many other categories of citizens who need additional equipped premises and medical rooms, including the use of specialized treatment methods for those people, all this should be part of our practice as a norm of providing medical care," the Minister stressed.

"Our today's event is being held in the year of the launch of new national projects, when the vectors of healthcare development for the medium term are defined. The peculiarity of our Congress is the elaboration of thematic initiatives for the contribution of the health resort complex to the achievement of national development goals of the country."

The expert community, chief external experts, heads of organizations and all participants and guests of the Congress are to discuss topics of great importance. The primary ones are the opportunities presented by health resort treatment for the enhancement of life expectancy among the nation's citizens, along with mechanisms aimed at optimizing the accessibility

and quality of health resort services for all age and gender demographics within the population. In the context of ensuring technological leadership, Russia will have to work out approaches to the development of new technologies and health solutions for health resort treatment, which is impossible without professional medical and scientific work, the formation and development of scientific schools, resorts, attracting and retaining young scientists and practitioners in the industry”, — Natalia Zubareva, Director of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Russia, said in her address.

“During the Congress, we are going to discuss the current issues of improving the health resort sector in our country, including the creation of a unified register of the health resorts pool, bringing the resources and facilities of sanatoria up to modern standards, conducting scientific research, and developing the educational system for medical professionals. By holding the Congress with international participation, we can emphasize the importance of exchanging experience and best practices in the field of health resort treatment. This will improve the domestic healthcare system, introduce innovative treatment and rehabilitation methods, and ensure that the population receives a high-level assistance and services”, — Zhanna Chefranova, First Deputy Chairman of the Federation Council Committee on Social Policy, noted in her speech.

While, Mikhail Kizeyev, Head of the Expert Council on Improving Medical Rehabilitation and Health Resort Treatment, said: *“Today, the health resort industry is living through good times. We are saying at every level that this is indeed a stage of a new strategic development. National goals, national projects have been announced. And, of course, here, health resort treatment has a very significant impact on all these indicators, from prevention to very serious treatment. And I am, of course, doubly pleased that the legislators have made very big promising steps in the program of state guarantees for 2025. The approaches to including health resort treatment in the state guarantees program have already been defined. It’s an unprecedented decision at the highest level.”*

According to official statistics, the Congress was attended by 714 specialists from 106 cities of 58 constituent entities of the Russian Federation and 8 countries: Belarus, Georgia, Egypt, Kazakhstan, Russia, USA, Tajikistan and South Ossetia.

The Congress has undoubtedly become a prominent platform for discussing strategic initiatives, pressing issues and scientific achievements in the establishment of new standards, development of innovative treatment and rehabilitation methods, strengthening interregional ties and enhancing the strategic role of health resort institutions in the Russian healthcare system.