



ФГБУ «НМИЦ РК»
Минздрава России

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

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

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

Вестник

Том 23, №3
Июнь
Vol. 23, No.3
June
2024

восстановительной медицины

Bulletin of Rehabilitation Medicine
Vestnik Vosstanovitel'noj Mediciny

ТОМ 23, № 3. 2024 / VOL. 23, ISSUE 3, 2024

ВЕСТНИК ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЫ / BULLETIN OF REHABILITATION MEDICINE



Подписной индекс: 71713 | www.vvmr.ru

ВЕСТНИК ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЫ

Том 23, № 3-2024

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

ЮРОВА О.В., д.м.н., проф., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия
УГО КАРРАРО, проф., Университет Падуи, Падуя, Италия

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

АГАСАРОВ Л.Г., д.м.н., проф., Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва

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

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

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

ВЛАДИМИРСКИЙ Е.В. д.м.н., проф., Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера, Пермь

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

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

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

КИЗЕЕВ М.В., к.м.н., Санаторий «Решма», Решма, Ивановская область

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

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

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

КУЛЬЧИЦКАЯ Д.Б., д.м.н., проф., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва

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

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

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

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

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

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

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

ХАН М.А., д.м.н., проф., Московский научно-практический центр медицинской реабилитации восстановительной спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы, Москва

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

ХРАМОВ В.В., д.м.н., проф., Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Саратов

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

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

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

КОНЧУГОВА Т.В., д.м.н., проф., 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-кор. РАН, Московский научно-практический центр медицинской реабилитации восстановительной спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы, Москва

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

БОЙЦОВ С.А., д.м.н., проф., академик РАН, Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии Минздрава России, Москва

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ИЗДАТЕЛЬСКАЯ КОМАНДА

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР

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

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

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

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

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

ПЕРЕВОДЧИК

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



УЧРЕДИТЕЛЬ и ИЗДАТЕЛЬ

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации
<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, ROAD, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, Russian State Library, SHERPA RoMEO, Portico.

АДРЕС 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» Министерства здравоохранения Российской Федерации. 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 21.06.2024.
Выход в свет 28.06.2024.
Формат 640x900 1/8.
Бумага мелованная 115 г/м².
Печать офсетная.
Тираж 1000 экз. Заказ № 20240619.

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) 981-91-03 E-mail: medprint@mail.ru

BULLETIN OF REHABILITATION MEDICINE

Vestnik Vosstanovitel'noj Mediciny

Vol. 23, No. 3•2024

EDITOR-IN-CHIEF

ANATOLIY D. FESYUN, Dr.Sci. (Med.), National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

DEPUTY EDITORS-IN-CHIEF

Olga V. YUROVA, Dr.Sci. (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, Dr.Sci. (Med.), Professor, I M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Lyudmila A. BELOVA, Dr.Sci. (Med.), Professor, Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

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

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

Evgeniy V. VLADIMIRSKIY, Dr.Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia

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

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

Vladimir V. EZHOV, Dr.Sci. (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

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

Olga M. KONOVA, Dr.Sci. (Med.), Assistant Professor, National Medical Research Center for Children's Health, Moscow, Russia

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

Detelina B. KULCHITSKAYA, Dr.Sci. (Med.), Professor, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

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

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

Mikhail V. NIKITIN, Dr.Sci. (Med.), Dr.Sci. (Econ.), Professor, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

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

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

DMITRIY V. SKVORTSOV, Dr.Sci. (Med.), Professor, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Elena F. TUROVININA, Dr.Sci. (Med.), Professor, Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

Maya A. KHAN, Dr.Sci. (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, Dr.Sci. (Med.), Professor, National Medical Research Center for Treatment and Rehabilitation Center, Moscow, Russia

Vladimir V. KHRAMOV, Dr.Sci. (Med.), Professor, V.I. Razumovskiy Saratov State Medical University, Saratov, Russia

Maksim Yu. YAKOVLEV, Dr.Sci. (Med.), National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

Alexander V. YASHKOV, Dr.Sci. (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

Tatiana V. KONCHUGOVA, Dr.Sci. (Med.), Professor, 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 Russian Academy of Sciences, Dr.Sci. (Med.), Professor, Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

Tatyana T. BATISHEVA, Dr.Sci. (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, Dr.Sci. (Med.), Professor, E. I. Chazov National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russia

Igor V. BUKHTIYAROV, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Dr.Sci. (Med.), Professor, N. F. Izmerova Research Institute of Occupational Medicine, Moscow, Russia

Andrey V. GRECHKO, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Dr.Sci. (Med.), Professor, Federal Scientific and Clinical Center for Resuscitation and Rehabilitation, Moscow, Russia

Mikhail D. DIDUR, Dr.Sci. (Med.), Professor, N. P. Bekhtereva Institute of Human Brain, St Petersburg, Russia

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

Galina E. IVANOVA, Dr.Sci. (Med.), Professor, N. I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

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

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

Natalya G. MOKRYSHEVA, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Dr.Sci. (Med.), Professor, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow, Russia

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

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

Gennady G. ONISHCHENKO, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sci. (Med.), Professor, Russian Academy of Education, Moscow, Russia

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

Aleksandr N. RAZUMOV, Dr.Sci. (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, Dr.Sci. (Med.), Professor, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

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

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

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

PUBLISHING STAFF

SCIENTIFIC EDITOR

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

MANAGING EDITOR

Elena S. BEREZKINA, Ph.D. (Biol.), National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

TECHNICAL EDITOR

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

TRANSLATOR

Bella A. GAYNANOVA, 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, ROAD, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, Russian State Library, SHERPA RoMEO, Portico.

EDITORIAL BOARD ADDRESS

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 21.06.2024.
Published 28.06.2024.
640x900 1/8 format.
Coated paper 115 g/m².
Offset printing.
Circulation 1000 copies. Order No. 20240619.

The Journal is distributed on 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) 981-91-03
E-mail: medprint@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРА

CONTENTS

СТАТЬИ / ARTICLES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

8

Влияние синдрома «Пизанской башни» на равновесие и походку при болезни Паркинсона: сравнительное исследование
Назарова К.М., Налобина А.Н.

The Effect of the Pisa Syndrome on Balance and Gait in Parkinson's Disease: a Comparative Study
Kristina M. Nazarova, Anna N. Nalobina

ORIGINAL ARTICLE / ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

14

Enhancing Sleep Quality in Non-Alcoholic Fatty Liver with Combined Accelerated Aerobic Training: a Randomized Control Study
Lamiaa M. Fahmy, Azza A. Abd Elhady, Ashraf A. Ali, Asmaa H. Ali, Gehad A. Abd Elhaseeb

Улучшение качества сна при неалкогольной жировой дистрофии печени с помощью комбинированных аэробных тренировок с ускорением силы тяжести: рандомизированное контрольное исследование
Фахми Л.М., Абдель Хади А.А., Али А.А., Али А.Х., Абд-аль-хасиб Г.А.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

21

Особенности сенсомоторного реагирования студентов с различным типом отношения к болезни: поперечное исследование
Добрин А.В., Ельникова О.Е., Колосова И.Г.

Features of Sensorimotor Response of Students with Different Types of Attitude to the Disease: a Cross-Sectional Study
Alexander V. Dobrin, Oksana E. Elnikova, Irina G. Kolosova

ORIGINAL ARTICLE / ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

32

Non-Invasive Laser Therapy Effect on Lipid Profile and Renal Function in Metabolic Syndrome: Randomized Control Trial
Toka S. Abd El-sabour, Nagwa H. Badr, Fatma A. Attia, Rana H.M. Elbanna

Влияние неинвазивной лазерной терапии на липидный профиль и функцию почек при метаболическом синдроме: рандомизированное контрольное исследование
Абд Эль-Сабур Т.С., Бадр Н.Х., Атия Ф.А., Эльбанна Р.Х.М.

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / REVIEW

40

Новые немедикаментозные технологии при лимфедеме, связанной с раком груди: обзор литературы
Апханова Т.В., Кончугова Т.В., Кульчицкая Д.Б., Юрова О.В., Стяжкина Е.М., Марфина Т.В., Агасаров Л.Г., Васильева В.А., Березкина Е.С.

New Non-Drug Technologies for Lymphedema Associated with Breast Cancer: a Review
Tatiana V. Arkhanova, Tatiana V. Konchugova, Detelina B. Kulchitskaya, Olga V. Yurova, Elena M. Styazhkina, Tatyana V. Marfina, Lev G. Agasarov, Valeriia A. Vasileva, Elena S. Berezkina

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / REVIEW

52

Эффективность совершенствования координационных способностей в коррекции расстройств биомеханики дыхания после кардиохирургической операции: обзор литературы
Архипова Н.В., Помешкина С.А., Быков Е.В.

Effectiveness of Improving Coordination Abilities after Cardiac Surgery: a Review
Natalya V. Arkhipova, Svetlana A. Pomeskina, Evgeniy V. Bykov

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / REVIEW

61

Медицинская реабилитация после травм нижних конечностей у пациентов с сахарным диабетом: обзор литературы
Васильева В.А., Марченкова Л.А., Ответчикова Д.И., Рожкова Е.А., Фесюн А.Д.

Medical Rehabilitation after Lower Limb Injuries in Patients with Diabetes Mellitus: a Review
Valeriia A. Vasileva, Larisa A. Marchenkova, Daria I. Otvetchikova, Elena A. Rozhkova, Anatoliy D. Fesyun

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / REVIEW

69

Обоснование использования магниточувствительных биоматериалов в клинической практике для стимуляции регенерации костных тканей: обзор литературы

Марков П.А., Костромина Е.Ю., Фесюн А.Д., Еремин П.С.

Rationale of Using Magnetically Sensitive Biomaterials in Bone Tissue Therapy: a Review

Pavel A. Markov, Elena Yu. Kostromina, Anatoliy D. Fesyun, Petr S. Eremin

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / REVIEW

77

Психофизиологические технологии с применением метода биологической обратной связи: аналитический обзор

Костенко Е.В., Котельникова А.В., Погонченкова И.В., Петрова Л.В., Хаустова А.В., Филиппов М.С., Каверина Е.В.

Psychophysiological Technologies Using the Biofeedback Method: an Analytical Review

Elena V. Kostenko, Anastasia V. Kotelnikova, Irena V. Pogonchenkova, Liudmila V. Petrova, Anna V. Khaustova, Maksim S. Filippov, Elena V. Kaverina

В ЦЕНТРЕ ВНИМАНИЯ / IN THE FOCUS OF ATTENTION

92

Юбилей Майи Алексеевны Хан

Jubilee of Maya A. Khan

Оригинальная статья / Original article

УДК: 616.858

DOI: <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-8-13>

Влияние синдрома «Пизанской башни» на равновесие и походку при болезни Паркинсона: сравнительное исследование

 Назарова К.М.^{1,*},  Налобина А.Н.²

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

² ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Синдром «Пизанской башни» — это поздняя деформация, которая может привести к ухудшению контроля позы и равновесия у пациентов с болезнью Паркинсона (БП), что повышает риск травматизма и снижает качество жизни.

ЦЕЛЬ. Изучить влияние синдрома «Пизанской башни» на поструральный контроль, равновесие и походку пациентов с болезнью Паркинсона.

ГИПОТЕЗА. Предполагается, что пациенты с БП, имеющие синдром «Пизанской башни», будут иметь специфические особенности пострурального контроля и равновесия, которые необходимо учитывать при разработке реабилитационных технологий для коррекции позных нарушений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В рамках сравнительного исследования было обследовано 30 человек обоих полов, возрастной диапазон 45–80 лет, с 2–4-й стадией БП по классификации Хен и Яра (1967), все участники исследования получали препараты леводопы в индивидуальной дозировке, подобранной врачом неврологом-паркинсологом. Исследуемые были разделены на 2 группы по 15 человек в каждой по принципу наличия синдрома «Пизанской башни» и его отсутствия. Критерии включения в группы: добровольное информированное согласие лиц с БП на исследование; возраст от 45–80 лет, 2–4-я стадия болезни Паркинсона по Хен — Яру, отсутствие других заболеваний и грубых когнитивных нарушений. Критерии невключения в исследование: возраст моложе 45 и старше 80 лет, лица, страдающие психическими расстройствами, отказ подписать информированное согласие на участие в исследовании, все заболевания, в том числе инфекционные, в острой стадии, хронические заболевания в стадии обострения, другие неврологические заболевания. Диагностика проводилась с помощью системы стабилометрии COBS Physiomed и опросника EQ-5D-3L, дневников падений и динамического индекса походки (DGI). Достоверность различий определялась по *U*-критерию Манна — Уитни. Обработка данных была проведена с использованием программы Statistica 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ. При статистическом анализе выявлены достоверные различия в параметре индекс координации теста «Баланс стоя» для правой ноги при уровне значимости $p < 0,05$. По шкале EQ-5D-3L выявлены достоверные различия между группами при уровне значимости $p < 0,05$, в группе людей с БП без синдрома «Пизанской башни» качество жизни достоверно выше, а количество падений достоверно выше в группе лиц, страдающих БП с синдромом «Пизанской башни», этот показатель превышает частоту падений среди лиц с БП без синдрома «Пизанской башни» почти в два раза, что учащает травматизацию людей и ведет к снижению качества жизни.

ОБСУЖДЕНИЕ. Ходьба со сменой направления и многозадачностью является наиболее значимой проблемой для лиц с БП с синдромом «Пизанской башни», различия между группами достоверны при уровне значимости $p < 0,01$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Пациенты с БП и синдромом «Пизанской башни» имеют измененную походку, связанную с наклоном тела вперед, нестабильностью и снижением контроля над равновесием.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: физическая реабилитация, болезнь Паркинсона, синдром «Пизанской башни», качество жизни, повседневная активность.

Для цитирования / For citation: Назарова К.М., Налобина А.Н. Влияние синдрома «Пизанской башни» на равновесие и походку при болезни Паркинсона: сравнительное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2024; 23(3):8-13. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-8-13> [Nazarova K.M., Nalobina A.N. The Effect of the Pisa Syndrome on Balance and Gait in Parkinson's Disease: a Comparative Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):8-13. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-8-13> (In Russ.)]

* Для корреспонденции: Назарова Кристина Михайловна, E-mail: nkm19@yandex.ru, nazarovakm@nmicrk.ru

Статья получена: 06.03.2024
Статья принята к печати: 14.05.2024
Статья опубликована: 17.06.2024

The Effect of the Pisa Syndrome on Balance and Gait in Parkinson's Disease: a Comparative Study

 Kristina M. Nazarova^{1,*},  Anna N. Nalobina²

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

² Moscow city University, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Pisa syndrome is a postural deformity that can lead to impaired posture control and balance in patients with Parkinson's disease (PD), which increases the risk of injury and reduces the quality of life.

AIM. To study the effect of the Pisa syndrome on postural control, balance and gait of patients with Parkinson's disease.

HYPOTHESIS. It is assumed that patients with PD with the Pisa syndrome will have specific features of postural control and balance, which must be taken into account when developing rehabilitation technologies for correcting postural disorders.

MATERIALS AND METHODS. As part of the comparative study, 30 people of both sexes were examined, all study participants received levodopa drugs in an individual dosage selected by a neurologist-parkinsonologist. The subjects were divided into 2 groups of 15 people each according to the principle of the presence of the Pisa syndrome and its absence. Criteria for inclusion in the groups: voluntary informed consent of persons with PD for the study; age from 45–80 years, stage 2–4 of Hoehn-Yahr Parkinson's disease, absence of other diseases and gross cognitive impairment. The diagnosis was carried out using the COBS Physiomed stabilometry system and the EQ-5D-3L questionnaire, a diary of falls and a dynamic gait index (DGI). The reliability of the differences was determined by the Mann-Whitney *U*-test. Data processing was carried out using the Statistica 10 program.

RESULTS. Significant differences were revealed in the parameter of the coordination index of the Standing Balance test for the right leg and on the EQ-5D-3L scale at a significance level of $p < 0.05$, in the group of people with PD without the Pisa syndrome, the quality of life was significantly higher, the number of falls was significantly higher in the group of people suffering from PD with the Pisa syndrome towers.

DISCUSSION. Walking with a change of direction and multitasking is the most significant problem for people with PD with the Pisa syndrome, the differences between the groups are significant at a significance level of $p < 0.01$.

CONCLUSION. Patients with PD and Pisa syndrome have altered gait associated with body tilt forward, instability and decreased balance control.

KEYWORDS: physical rehabilitation, Parkinson's disease, Pisa syndrome, quality of life, daily activity.

For citation: Nazarova K.M., Nalobina A.N. The Effect of the Pisa Syndrome on Balance and Gait in Parkinson's Disease: a Comparative Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):8-13. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-8-13> (In Russ.).

* **For correspondence:** Kristina M. Nazarova, E-mail: nkm19@yandex.ru, nazarovakm@nmicrk.ru

Received: 06.03.2024

Accepted: 14.05.2024

Published: 17.06.2024

ВВЕДЕНИЕ

Синдром «Пизанской башни» (тоническое латеральное сгибание туловища) — это деформация осанки, поражающая пациентов с болезнью Паркинсона (БП), распространенность составляет 1,9 % [1, 2]. Это относится к боковому сгибанию туловища более чем на 10°, которое устраняется пассивной мобилизацией или нахождением в положении лежа на спине [3, 4]. Патологические основы синдрома «Пизанской башни» при БП еще не полностью изучены. Как центральные, так и периферические механизмы могут влиять на эту деформацию [3, 5], при этом ключевую роль могут играть центральные механизмы, такие как дистония мышц туловища и нижних конечностей. Электромиографические исследования [2, 4, 6, 7] показали увеличенную активацию параспинальных мышц при наклоне туловища по сравнению со здоровыми контрольными испытуемыми. Периферические механизмы, включая миопатию и дегенеративные изменения в позвоночнике и мягких тканях, могут вызывать мышечный дисбаланс, слабость и компенсационную позу [2, 3].

Контроль позы и равновесия играет важную роль в поддержании подвижности и общего благополучия

человека [2, 8]. Постуральный контроль помогает сохранять стабильность тела относительно гравитации и окружающей среды. Контроль равновесия включает выполнение статических и динамических задач, необходимых для повседневных действий [4]. У пациентов с БП часто возникают проблемы с контролем позы и равновесия [5]. Исследования показывают, что синдром «Пизанской башни» может оказывать влияние на эти нарушения, однако точная природа этого воздействия требует дальнейшего изучения. Некоторые данные указывают на то, что искаженное выравнивание осанки не обязательно связано с неадекватными реакциями на позу или равновесие [6]. Исследования продемонстрировали, что пациенты с БП страдают от измененного чувства вертикали и что нарушение проприоцептивной системы и соматосенсорной интеграции может являться причиной частых падений и серьезной травматизации [5, 6]. Такое нарушение также может создавать неточное внутреннее представление о структуре тела [6], предрасполагая людей с БП к повышенному риску падения [5, 8]. Еще одним потенциальным осложнением, наблюдаемым особенно часто у пациентов с БП, имеющих синдром «Пизанской башни» на ранних

стадиях заболевания, является отсутствие осознания смещения туловища [4].

Насколько нам известно, на сегодняшний день ни в одном исследовании не изучались нарушения пострурального контроля, равновесия и походки у пациентов с БП и синдромом «Пизанской башни».

ЦЕЛЬ

Изучить влияние синдрома «Пизанской башни» на поструральный контроль, равновесие и походку у пациентов с болезнью Паркинсона.

ГИПОТЕЗА

Предполагается, что из-за нарушения осанки у пациентов с БП, имеющих синдром «Пизанской башни», будут выявлены специфические особенности пострурального контроля, равновесия и ходьбы по сравнению с пациентами с БП без синдрома «Пизанской башни», которые необходимо учитывать при разработке реабилитационных технологий, направленных на коррекцию поздних нарушений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе лечебно-реабилитационного центра ФГБУ «Клиническая больница» Управления делами Президента РФ (г. Москва) с июля 2022 г. по август 2023 г. В рамках открытого проспективного контролируемого исследования было обследовано 30 человек обоих полов (в равных долях), возрастной диапазон 45–80 лет, с 2–4-й стадией БП по классификации Хен и Яра (1967), все участники исследования получали препараты леводопы в индивидуальной дозировке, подобранной врачом неврологом-паркинсологом. В анализируемой нами выборке средний возраст составлял $64,2 \pm 5,1$ года, стадия по Хен — Яру в среднем составила $2,6 \pm 0,5$. Длительность заболевания составляла от 3 до 27 лет. Исследуемые были разделены на 2 группы по 15 человек в каждой по принципу наличия синдрома «Пизанской башни» и его отсутствия. Критерии включения в группы: добровольное информированное согласие лиц с БП на исследование; возраст от 45–80 лет, 2–4-я стадия болезни Паркинсона по Хен — Яру, отсутствие других неврологических, ортопедических и онкологических заболеваний, отсутствие грубых когнитивных нарушений. Критерии исключения: возраст моложе 45 и старше 75 лет; лица, страдающие психическими расстройствами; отказ подписать информированное согласие на участие в исследовании; все заболевания, в том числе инфекционные, в острой стадии, хронические заболевания в стадии обострения, другие неврологические заболевания.

Критерии не включения

Наличие выраженных когнитивных нарушений, наличие выраженных аффективных нарушений, требующих медикаментозной коррекции, наличие патологий опорно-двигательного аппарата (остеопороз, заболевания позвоночника), возникновение острых заболеваний, препятствующих продолжению восстановительного лечения (острые пневмонии, тромбозы вен и артерий и др.), декомпенсация сопутствующих соматических заболеваний, необходимость коррекции противопар-

кинсонической терапии в связи с прогрессированием основных симптомов, отказ от участия в исследовании на любом из этапов.

Комплекс обследования пациентов

Диагностика проводилась специалистом по физической реабилитации совместно с врачом неврологом-паркинсологом. В ходе исследования были получены данные о различных параметрах, таких как стадия по Хен — Яру, нагрузка и координация для каждой ноги, флуктуация и симметрия. Они были оценены при помощи системы стабилотрии COBS Physiomed. Кроме того, были исследованы показатели качества жизни через EQ-5D-3L, дневники падений и динамический индекс походки (DGI).

Статистический анализ

Обработка данных проводилась с использованием программы Statistica 10 для Windows с использованием непараметрических методов. Достоверность различий была проверена при помощи *U*-критерия Манна — Уитни. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимался равным 0,01.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Во время исследования были измерены стабилотметрические характеристики участников. В тесте «Баланс стоя» средняя нагрузка на левую ногу составила $50,9 \pm 7,6$ %, на правую — $50,7 \pm 6,1$ %. Индекс координации левой ноги был $0,8 \pm 0,1$, правой — $0,8 \pm 0,2$. Флуктуация составила $14,5 \pm 6,2$ %, индекс симметрии — $0,6 \pm 0,2$. В тесте «Наклоны корпуса вперед» средняя нагрузка на левую ногу составила $48,6 \pm 4,1$ %, на правую — $51,1 \pm 4,1$ %. Индекс координации левой ноги — $0,8 \pm 0,2$, правой — $0,7 \pm 0,1$. Флуктуация составила $4,1 \pm 2,9$ %, индекс симметрии — $0,7 \pm 0,2$. В тесте «Подъемы из положения сидя» средняя нагрузка на левую ногу составила $52,9 \pm 3,5$ %, на правую — $47,6 \pm 4,8$ %. Индекс координации левой ноги $0,7 \pm 0,2$, правой — $0,7 \pm 0,1$. Флуктуация составила $7,3 \pm 4,5$ %, индекс симметрии — $0,7 \pm 0,2$. Все параметры, кроме индекса координации, были снижены у всех участников исследования. Значения индекса массы тела (ИМТ) участников обеих групп находились в пределах нормы: $19,2 \pm 2,4$ балла в группе пациентов с БП с синдромом «Пизанской башни» и $19,6 \pm 2,1$ балла в группе пациентов с БП без синдрома «Пизанской башни».

Данные, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что у пациентов обеих групп наблюдались нарушения равновесия и частые падения, что существенно снижает качество жизни людей с БП.

В группе пациентов с БП и синдромом «Пизанской башни» наблюдались следующие особенности: в тесте «Баланс стоя» нагрузка на ноги была неодинаковой, флуктуация составила 16,1 %, индекс симметрии уменьшился на 40 %. В тесте «Наклоны корпуса вперед» центр тяжести смещался вправо, флуктуация составила 3,6 %, индекс симметрии снизился на 30 %. В тесте «Подъемы из положения сидя» наблюдалось увеличение нагрузки на левую ногу выше нормы, на правую — ниже нормы. Качество жизни по опроснику EQ-5D-3L было оценено в $50,5 \pm 15,9$ балла, среднее количество падений в не-

Таблица 1. Параметры стабилотрии и качества жизни людей с болезнью Паркинсона

Table 1. Parameters of stabilometry and quality of life of people with Parkinson's disease

Параметры / Parameters	БП с синдромом «Пизанской башни» / PD with Pisa syndrome		БП без синдрома «Пизанской башни» / PD without Pisa syndrome	
	Левая нога / Left leg	Правая нога / Right leg	Левая нога / Left leg	Правая нога / Right leg
Баланс стоя / Standing balance				
Нагрузка, % / Load, %	44,9 ± 5,6	55,1 ± 5,6	50,6 ± 8,3	50,3 ± 8,2
Индекс координации, ед. / Coordination index, units	0,9 ± 0,1*	0,8 ± 0,1*	0,8 ± 0,1*	0,7 ± 0,1*
Флуктуация, % / Fluctuation, %	16,1 ± 6,9		16,1 ± 6,9	
Индекс симметрии, ед. / Symmetry index, units	0,6 ± 0,2		0,6 ± 0,2	
Наклоны корпуса вперед / Body tilts forward				
Нагрузка, % / Load, %	46,8 ± 3,5	53,2 ± 3,5	50,4 ± 2,5	50 ± 2,9
Индекс координации, ед. / Coordination index, units	0,7 ± 0,2	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,1
Флуктуация, % / Fluctuation, %	3,6 ± 1,4		3,7 ± 1,8	
Индекс симметрии, ед. / Symmetry index, units	0,7 ± 0,2		0,7 ± 0,2	
Подъемы из положения сидя / Lifts from a sitting position				
Нагрузка, % / Load, %	54,1 ± 2,9	45,9 ± 2,9	54,7 ± 4,6	45,3 ± 4,6
Индекс координации, ед. / Coordination index, units	0,6 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1
Флуктуация, % / Fluctuation, %	9,2 ± 4,6		6,6 ± 4,3	
Индекс симметрии, ед. / Symmetry index, units	0,6 ± 0,1		0,5 ± 0,1	
Шкалы / Scales				
EQ-5D-3L, баллы / points	50,5 ± 15,9*		54 ± 12*	
Дневник падений, количество падений в неделю / Diary of falls, the number of falls per week	11 ± 1*		6 ± 2*	
Динамический индекс походки (DGI), баллы / Dynamic gait Index (DGI), points	11,3 ± 3,1**		17,7 ± 3,6**	
Индекс массы тела (ИМТ), баллы / Body Mass Index (BMI), points	19,2 ± 2,4		19,6 ± 2,1	

Примечание: * — межгрупповые статистически значимые различия ($p < 0,05$); ** — межгрупповые статистически значимые различия ($p < 0,01$).

Note: * — statistically significant differences between groups ($p < 0.05$); ** — statistically significant differences between groups ($p < 0.01$).

делю составило 11 ± 1 раз. Средний балл динамического индекса походки (DGI) снизился на 58,1 %, достигнув значения $11,3 \pm 3,1$ балла.

Среди пациентов с БП без синдрома «Пизанской башни» обнаружены следующие особенности. В положении стоя флуктуация составляет 16,1 %, индекс симметрии снижен на 40 %. При сгибании туловища распределение нагрузки между стопами симметрично, с флуктуацией 3,7 % и индексом симметрии, сниженным на 30 %. Во время подъемов из положения сидя наблюдается смещение центра тяжести, что отражается в увеличении нагрузки на левую ногу на 4,7% и уменьшении на правую ногу на 9,6 %, с флуктуацией 6,6 % и индексом симметрии, сниженным на 50 %. Качество жизни, оцененное по опроснику EQ-5D-3L, составляет 54 ± 12 баллов. Среднее количество падений в неделю составило 6 ± 2 раза, а средний балл динамического индекса походки (DGI) — $17,7 \pm 3,6$ балла, о чем свидетельствуют ранее опубликованные исследования [9].

ОБСУЖДЕНИЕ

В результате статистического анализа были обнаружены значимые различия в индексе координации теста «Баланс стоя» для правой ноги ($p < 0,05$), который остался в норме для обеих групп. Качество жизни у пациентов с БП без синдрома «Пизанской башни» оказалось выше, а количество падений ниже. Однако в группе с синдромом «Пизанской башни» частота падений была выше, увеличивая риск травм и снижая качество жизни ($p < 0,05$). Наиболее значимым фактором оказалась проблема ходьбы с изменением направления и выполнением нескольких задач у пациентов с обоими состояниями, при этом различия между группами были значимы ($p < 0,01$). Полученные результаты подтверждают данные других исследований, которые также выявили снижение стабилметрических показателей у этой категории пациентов [10]. Не обнаружено значительной разницы в стабилметрических параметрах между группами пациентов с БП с синдромом «Пизанской башни» и без него [11]. Некоторые исследования [12] могут показывать различия в значениях индекса координации между группами

пациентов с БП с синдромом «Пизанской башни» и без него. В нашем исследовании не выявлено таких различий, это может быть вызвано различиями в методологии измерения и критериями включения пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования было выявлено, что синдром «Пизанской башни» оказывает существенное влияние на постуральный контроль, равновесие и походку у лиц, страдающих БП. Наблюдаемые изменения в образе движения и позе пациентов подтверждают связь между симптомами болезни и описанным синдромом.

Основные выводы исследования:

1. Постуральный контроль: у пациентов с БП отмечается снижение постурального контроля, проявляющееся в произвольном наклоне тела (синдром «Пизанской башни»). Этот феномен значительно влияет на способность поддерживать вертикальное положение.

2. Равновесие: синдром «Пизанской башни» существенно сказывается на равновесии больных. Изменения в общем центре масс и центре тяжести приводят к нестабильности и повышенному риску потери равновесия.

3. Походка: характеристики походки подвергаются существенным изменениям под воздействием синдрома. Это проявляется в уменьшении длины шага, ухудшении координации движений и увеличении времени контакта стопы с поверхностью.

4. Практические рекомендации: полученные результаты могут быть использованы для разработки эффективных методов физической реабилитации, направленных на улучшение постурального контроля и равновесия у пациентов с БП.

Данное исследование подчеркивает важность дальнейших научных исследований в области влияния синдрома «Пизанской башни» на функциональные аспекты жизни пациентов с БП и открывает новые перспективы для разработки персонализированных подходов к реабилитации данной категории пациентов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Назарова Кристина Михайловна, специалист по эргореабилитации, ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России, аспирант кафедры адаптологии и спортивной подготовки, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет».

E-mail: nkm19@yandex.ru, nazarovakm@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2590-6755>

Налобина Анна Николаевна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры адаптологии и спортивной подготовки, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6574-1609>

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 сле-

дующим образом: Назарова К.М. — научное обоснование, методология, верификация данных, проведение исследования, анализ данных, обеспечение материалов для исследования, написание черновика рукописи, визуализация; Налобина А.Н. — курация данных, проверка и редактирование рукописи, курирование проекта, руководство проектом.

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

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

Этическое утверждение. Авторы заявляют, что все процедуры, использованные в данной статье, соответствуют этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, и соответствуют Хельсинкской декларации в редакции 2013 г.

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

ADDITIONAL INFORMATION

Kristina M. Nazarova, Occupational Therapist, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Postgraduate at the Department of Adaptology and Sports Training, Moscow City University.

E-mail: nkm19@yandex.ru, nazarovakm@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2590-6755>

Anna N. Nalobina, Ph.D. (Biol.), Docent, Professor at the Department of Adaptology and Sports Training, Moscow City University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6574-1609>

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: Nazarova K.M. — scientific justification, methodology, data verification, research, data analysis, provision of materials for research, writing a draft manuscript, visualization; Nalobina A.N. — Data curation, manuscript review and editing, project curation, project management.

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

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.

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

Список литературы / References

- Исмаилова С.Б., Ондар В.С., Прокопенко С.В. Реабилитация при болезни Паркинсона-немедикаментозные подходы. Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2020; 2(1): 57–65. <https://doi.org/10.36425/rehab19282> [Ismailova S.B., Ondar V.S., Prokopenko S.V. Rehabilitation for Parkinson's disease-non-drug approaches. Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation. 2020; 2(1): 57–65. <https://doi.org/10.36425/rehab19282> (In Russ.).]
- Panero E., Dimanico U., Artusi C.A., et al. Standardized biomechanical investigation of posture and gait in pisa syndrome disease. *Symmetry*. 2021; 13(12): 22–37. <https://doi.org/10.3390/sym13122237>
- Прокопенко С.В., Можейко Е.Ю., Аброськина М.В. и др. Персонализированная реабилитационная оценка локомоторных функций при болезни Паркинсона с использованием трехмерного видеоанализа движений. Российский неврологический журнал. 2021; 26(1): 23–33. <https://doi.org/10.30629/2658-7947-2021-26-1-23-33> [Prokopenko S.V., Mozheyko E.Yu., Abroskin M.V., et al. Personalized rehabilitation assessment of locomotor functions in Parkinson's disease using three-dimensional video analysis of movements. *Russian Neurological Journal*. 2021; 26(1): 23–33. <https://doi.org/10.30629/2658-7947-2021-26-1-23-33> (In Russ.).]
- Gimenez F.V., Ripka W.L., Maldaner M., et al. Stabilometric Analysis of Parkinson's Disease Patients. In 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society. 2021; 1341–1344. <https://doi.org/10.1109/EMBC46164.2021.9629598>
- Geroïn C., Artusi C. A., Nonnekes J., et al. Axial postural abnormalities in parkinsonism: gaps in predictors, pathophysiology, and management. *Movement Disorders*. 2023; <https://doi.org/10.1002/mds.29377>
- Panero E., Borzelli D., Artusi C.A., et al. Biomechanical assessment of botulinum toxin effects in Pisa syndrome disease. In 2022 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications. 2022; 1–6. <https://doi.org/10.1109/MeMeA54994.2022.9856455>
- Tinazzi M., Fasano A., Geroïn C., et al. Pisa syndrome in Parkinson disease: an observational multicenter Italian study. *Neurology*. 2015; 85(20): 1769–1779. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002122>
- Назарова К.М., Налобина А.Н. Возможности эрготерапии для улучшения качества жизни при болезни Паркинсона. Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Естественные науки. 2023; 49(1): 88–96. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.49.1.7> [Nazarova K.M., Nalobina A.N. Possibilities of occupational therapy to improve the quality of life in Parkinson's disease. *Bulletin of the Moscow City Pedagogical University. Series: Natural Sciences*. 2023; 49(1): 88–96. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.49.1.7> (In Russ.).]
- Назарова К.М., Налобина А.Н. Влияние камптокормии на постуральный контроль, равновесие и походку лиц с болезнью Паркинсона. Современные вопросы биомедицины. 2024; 8(1): 225–230. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.49.1.7> [Nazarova K.M., Nalobina A.N. The effect of camptocormia on postural control, balance and gait of persons with Parkinson's disease. *Modern issues of biomedicine*. 2024; 8(1): 225–230. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.49.1.7> (In Russ.).]
- Gimenez F.V., Ripka W.L., Maldaner M., Stadnik A.M.W. Stabilometric Analysis of Parkinson's Disease Patients. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2021; 1341–1344. <https://doi.org/10.1109/EMBC46164.2021.9629598>
- López-Liria R., Vega-Tirado S., Valverde-Martínez M.Á., et al. Efficacy of Specific Trunk Exercises in the Balance Dysfunction of Patients with Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sensors*. 2023; 23(4): 1817. <https://doi.org/10.3390/s23041817>
- Чигалейчик Л.А., Полещук В.В., Иллариошкин С.Н. Применение компьютерной стабилометрии для оценки и дифференциальной диагностики постуральных нарушений при болезни Паркинсона. Вестник Российской военно-медицинской академии. 2019; 38(3): 167–168. <https://doi.org/10.17816/rmmar26172> [Chigaleychik L.A., Poleshchuk V.V., Illarioshkin S.N. Primenenie komp'yuternoy stabilometrii dlya otsenki i differentsial'noy diagnostiki postural'nykh narusheniy pri bolezni Parkinsona. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2019; 38(Suppl. 3): 167–168. <https://doi.org/10.17816/rmmar26172> (In Russ.).]

Original article / Оригинальная статья

UDC: 616.36-003.826

DOI: <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-14-20>

Enhancing Sleep Quality in Non-Alcoholic Fatty Liver with Combined Accelerated Aerobic Training: a Randomized Control Study

 Lamiaa M. Fahmy¹,  Azza A. Abd Elhady¹,  Ashraf A. Ali²,  Asmaa H. Ali³,
 Gehad A. Abd Elhaseeb^{1,*}

¹ Department of Physical Therapy for Cardiovascular, Respiratory Disorder and Geriatrics, Faculty of Physical Therapy, Cairo University, Giza, Egypt

² Department of Internal Medicine, Theodor Bilharz Research Institute, Cairo University, Giza, Egypt

³ Department of Physical Therapy for Basic Science, Faculty of Physical Therapy, Cairo University, Giza, Egypt

ABSTRACT

INTRODUCTION. Exercise constitutes a crucial and well-established component of changing lifestyle to control non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD). Accelerating training (AT) involves activating skeletal muscles through heightened gravity acceleration using vibration, rendering it a recommended therapeutic intervention.

AIM. To determine the impact of incorporating AT with aerobic exercise on sleep quality and liver function in NAFLD.

MATERIALS AND METHODS. This randomized control trial recruited 60 female NAFLD patients aged 35–45 years from Al-Shrouk General Hospital in Cairo. The participants were equally allocated at random into two groups: A (control group) received aerobic exercise, and B (intervention group) received AT plus aerobic exercise and followed a three-month intervention program. Before and after the interventions, sleep quality was assessed through the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), and liver function was evaluated by measuring alanine transaminase (ALT) and aspartate transferase (AST) hepatic enzymes in the blood.

RESULTS. Both PSQI scores ($p < 0.05$) and ALT enzyme levels were significantly (p was 0.005 and 0.006, respectively) improved in groups A and B after the three-month intervention program. However, the AST levels exhibited a non-significant change in both groups (p was 0.569 and 0.027, respectively).

CONCLUSION. Combining aerobic exercise and AT may provide the best clinical benefits to NAFLD patients.

KEYWORDS: non-alcoholic fatty liver disease, accelerating training, aerobic exercise, whole-body vibration, sleep quality.

For citation: Fahmy L.M., Abdel Hady A.A., Ali A.A., Ali A.H., Abd-Elhaseeb G.A. Enhancing Sleep Quality in Non-Alcoholic Fatty Liver with Combined Accelerated Aerobic Training: a Randomized Control Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):14-20. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-14-20>

* **For correspondence:** Gehad A. Abd-Elhaseeb, E-mail: dr.gpt111@cu.edu.eg

Received: 04.03.2024

Accepted: 08.05.2024

Published: 17.06.2024

Улучшение качества сна при неалкогольной жировой дистрофии печени с помощью комбинированных аэробных тренировок с ускорением силы тяжести: рандомизированное контрольное исследование

id Фахми Л.М.¹, id Абдель Хади А.А.¹, id Али А.А.², id Али А.Х.³, id Абд-аль-хасиб Г.А.^{1,*}

¹ Кафедра физической терапии сердечно-сосудистых, респираторных заболеваний и гериатрии, факультет физической терапии, Каирский университет, Гиза, Египет

² Кафедра внутренних болезней, Научно-исследовательский институт Теодора Билхарза, Каирский университет, Гиза, Египет

³ Кафедра физической терапии фундаментальных наук, факультет физической терапии, Каирский университет, Гиза, Египет

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Физические упражнения являются важнейшим и хорошо зарекомендовавшим себя компонентом изменения образа жизни для борьбы с неалкогольной жировой болезнью печени (НЖБП). Ускоряющая тренировка (УТ) предполагает активацию скелетных мышц за счет повышенного гравитационного ускорения с помощью вибрации, что делает ее рекомендованным терапевтическим вмешательством.

ЦЕЛЬ. Определить влияние сочетания тренировок с ускорением силы тяжести и аэробных упражнений на качество сна и функцию печени при НЖБП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В рандомизированном контрольном исследовании приняли участие 60 пациенток с НЖБП в возрасте 35–45 лет из больницы общего профиля Аль-Шрук в Каире. Участники были распределены методом случайного отбора поровну на две группы: пациенты группы А (контрольная группа) получали аэробные упражнения, пациенты группы В (экспериментальная группа) — тренировки с ускорением силы тяжести и аэробные упражнения и выполняли трехмесячную программу. До и после вмешательств качество сна оценивалось с помощью Питтсбургского индекса качества сна (ПИКС), функция печени — путем измерения уровня печеночных ферментов аланинтрансаминазы (АЛТ) и аспартаттрансферазы (АСТ) в крови.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Как показатели ПИКС ($p < 0,05$), так и уровень фермента АЛТ были значительно улучшены (p составил 0,005 и 0,006 соответственно) в группах А и В после трехмесячной программы вмешательства. Однако уровни АСТ в обеих группах изменились незначительно (p составил 0,569 и 0,027 соответственно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Сочетание аэробных упражнений и с тренировками с ускорением силы тяжести может принести наибольшую клиническую пользу пациентам с НЖБП.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: неалкогольная жировая болезнь печени, тренировки с ускорением силы тяжести, аэробные упражнения, вибрация тела, качество сна.

Для цитирования: Fahmy L.M., Abd-al Hady A.A., Ali A.A., Ali A.H., Abd-Elhaseeb G.A. Enhancing Sleep Quality in Non-Alcoholic Fatty Liver with Combined Accelerated Aerobic Training: a Randomized Control Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):14-20. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-14-20>

* Для корреспонденции: Gehad A. Abd-Elhaseeb, E-mail: dr.gpt111@cu.edu.eg

Статья получена: 04.03.2024

Статья принята к печати: 08.05.2024

Статья опубликована: 17.06.2024

INTRODUCTION

Non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) represents a major contributor to liver disease globally, accounting for 25–30 % of cases [1]. The numbers of Americans with NAFLD and those with non-alcoholic steatohepatitis (NASH) are anticipated to rise by 21 % to 101 million by 2030 and by 63 % to 27 million, respectively. Inactivity is associated with NAFLD onset and its development into NASH, with an increased NAFLD risk by 4 % for every hour spent sedentary [1]. Considering the absence of a pharmaceutical remedy for NAFLD and NASH, lifestyle adjustments, including exercising and dietary changes, have become the primary focus of treatment [1]. The NAFLD encompasses a range of clinic-pathologic diseases, from isolated fatty liver to

advanced NASH, which is identified by necroinflammation, hepatic fibrosis, and inflated hepatocytes [2]. Patients with NAFLD were more prone to experiencing obstructive sleep apnea, especially those exhibiting severe daytime sleepiness [3]. Prior investigations could not determine the causal relationship between sleep quantity and duration and NAFLD. However, sleep disruptions could impact their quality of life and probably impair their prognosis [4].

Although exercise can alleviate NAFLD regardless of weight loss, the ideal exercise intensity and the pathophysiologic processes remain unclear [5]. The best way to cure NAFLD is to adapt to a more active lifestyle because the present pharmacologic treatments are ineffective. This enhances vascular endothelial function,

lowers liver inflammation and hepatic steatosis, alters body composition favorably, boosts cardiorespiratory fitness, and may cause a histologic reaction [1]. The American Association for the Study of Liver Diseases has suggested exercise practice guidelines for managing NAFLD. Nonetheless, they do not provide practitioners with specific guidelines about the type or duration of exercise [6]. Exercise reduces fatty acid synthesis, boosts fatty acid oxidation in the liver, and lowers releasing molecules linked to hepatocellular and mitochondrial damage. Despite physical activity being proven efficacy for improving fatty liver disease [7], the most efficient exercise protocol for NAFLD remains unclear. However, most patients are unable to consistently participate in exercise programs due to experiencing early fatigue [8]. Aerobic exercise mostly depends on the ability of the skeletal muscle to use oxygen during aerobic respiration to create the energy source adenosine triphosphate [9]. Aerobic training techniques included optional gym workouts, treadmills, bicycles, Nordic quick walks, and walking. Aerobic exercise has been found to be a cost-effective and practical way to improve NAFLD and address obesity effectively [10]. Therefore, managing NAFLD requires at least 20 min of aerobic exercise daily [11].

Because the most efficient way to induce positive effects on the human body has been thought to be through vertical acceleration [12], AT, an innovative and simple whole-body vibration (WBV) based rehabilitation exercise, has been suggested as an intervention for managing NAFLD. The AT is a training program conducted on a three-dimensional vibrating platform that produces the vibration device

in the sagittal (y), frontal (x), and vertical (z) directions and incorporates different physical movements or static postures customized for particular purposes. Moreover, AT is beneficial for resistance exercise without requiring heavy lifting or dynamic movements, especially for obese patients struggling with joint pain during exercise [13]. Additionally, AT can reduce visceral and abdominal fat, lower insulin resistance, improve cardiovascular fitness, improve body composition, improve activity of daily living (ADL), and improve mood [14]. Furthermore, AT enhances physical function and body adiposity in obese NAFLD patients by lowering hepatic and intramyocellular fat contents, besides improving abnormal liver function test results, constituting a useful clinical approach in treating NAFLD [15].

Accordingly, we hypothesized that incorporating AT exercises into aerobic training would enhance liver function and sleep quality.

AIM

To determine the impact of incorporating AT with aerobic exercise on sleep quality and liver function in NAFLD.

MATERIALS AND METHODS

Study Design and Participants

This single-blinded randomized controlled trial recruited 60 female patients with NAFLD aged 35–45 years from Al-Shrouk General Hospital in Cairo. The study was conducted between January 2022 and December 2023 and approved by the Physical Therapy Faculty’s Ethical Committee at Cairo University on 27.02.2022 (No: P.T.REC/012/003658).

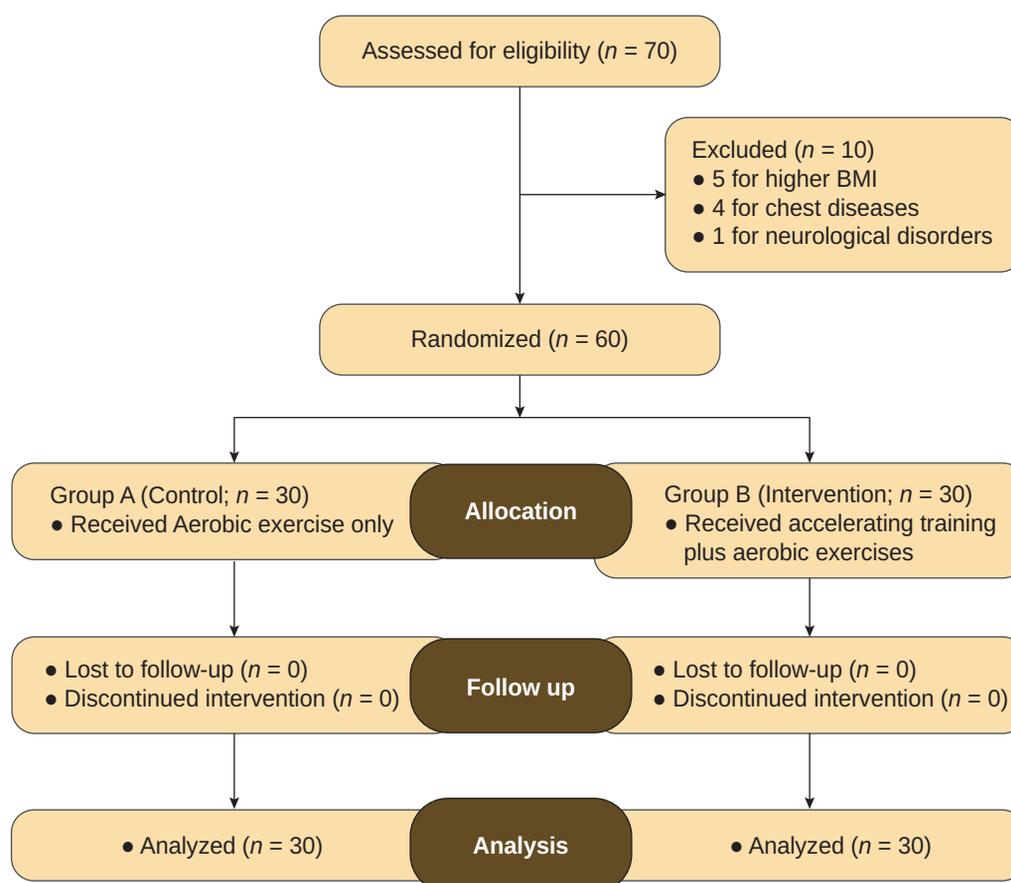


Fig. 1. The study flowchart

The study objectives and potential risks were clearly explained to the participants, who signed an informed consent before participation.

The participants had a body mass index (BMI) of 35–39.9 kg/m², indicating class II obesity. The NAFLD diagnosis was determined by excessive food consumption or lack of physical exercise, high serum alanine transaminase (ALT) levels, and confirmed with ultrasound testing. This study excluded patients using anti-diabetic or weight loss medications, pregnant and breastfeeding patients, and patients with liver disease, heart block or complex ventricular arrhythmia, recent myocardial infarction, cardiopulmonary dysfunction, cerebrovascular disorders, vision or hearing impairments, psychiatric disorders, neurological diseases affecting balance or cognitive function (e.g., epilepsy), marked lower limb fixed deformity or tightness, congenital or acquired lower limb deformities. Each patient received lifestyle advice for NAFLD nutrition and physical activity from a qualified dietitian and a medical nutritional doctor. Figure 1 depicts the study flowchart.

Procedures

All participants underwent a physical evaluation conducted by an experienced physiotherapist at the trial's commencement to assess their participation eligibility. A survey was used to collect demographic information. Each participant's height and weight were measured with an analog weight and height scale to calculate their BMI: weight (kg) divided by the square of height (m²).

A coin flip was used to randomly assign participants to groups A or B, with an equal chance of being allocated to either group. A researcher who was unaware of the group assignments observed the coin and then allocated the patients accordingly.

Interventions

The AT Program

Group B received AT training plus aerobic exercise through walking. Instructions for completing the AT activities were given to each participant during the initial visit prior to the program's start. The training was performed at a faster pace, according to Oh S. et al. [15]. The AT training was scheduled for 12 weeks, twice a week. Thirty participants completed upper, lower, and whole-body exercises on a vertical vibration machine (Super fit massage VG 200B-SFM, China) using a protocol of three phases: warming up, strength and power, and cooling down. The sessions lasted 30 min in the first one and a half

months and 40 min in the second one and a half months, with a 30-S rest period in between each movement [15].

The phases of the training were conducted as the following [15]: (1) Warming up phase: A stretching exercise for 5 min including upper and lower limb and whole-body stretching exercise (low mode, low amplitude, frequency: 16.5 Hz); (2) A strength and power phase: The first one-and-a-half-month sessions included 20 min upper and lower limb strength exercises and whole-body exercises (moderate mode, low amplitude, frequency 20 Hz) and the second one-and-a-half-month sessions included 30-min upper and lower limb strength exercises and whole-body exercises (high mode, low amplitude, frequency 22 Hz); (3) Cooling down phase: A stretching exercise of 5 min including upper and lower limb and whole-body stretching exercises (low mode, low amplitude, frequency: 16.5 Hz).

Aerobic Exercise

All participants in both groups were required to complete aerobic training consisting of an electronic treadmill (AC5000M, China) walking that lasted for three days weekly for three months. Moderate aerobic training involves a 10-min warm-up walking on the treadmill at 30–40 % HR max subsequent by 45 min of aerobic exercise on an electronic treadmill with a heart rate maintained at 60–75 % of the maximum heart rate (MHR); the heart rate was monitored by a link connected to the treadmill [16].

The workout program ends with a 10-minute cool-down period walking on the treadmill at 30–40 % HR max [16]. The Karvonen formula was employed to calculate MHR for each participant as follows: MHR = 220 – age [17]. The speed was adjusted according to target intensity.

Outcome Measures

Sleep Quality

The Arabic version of the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), a five-minute self-administered questionnaire, Arabic version as deployed to measure sleep quality pre- and post-study. The PSQI consists of 19 separate items that collectively create 7 components, resulting in a total global score. A lower score indicates better sleep quality [18].

Blood Analysis

Blood samples, 5mls were collected from the right median cubital vein utilizing a small needle pre- and post-study while the patient was fasting to measure aspartate transferase (AST) and Alanine transaminase (ALT) using standard methods (Autoanalyzer, Mindary BS 800, China) [15].

Table 1. Comparison of subject characteristics

Items	Group A (Walking)	Group B (Accelerating and walking)	T-value	p-value
	M ± SD (n = 30)	M ± SD (n = 30)		
Age, years	40.8 ± 3.4	41.07 ± 3.3	0.306	0.760
Height, cm	159.2 ± 5.9	157.8 ± 5.2	0.977	0.333
Weight, kg	91.9 ± 8.4	91.1 ± 6.6	0.459	0.648
BMI, kg/m ²	36.2 ± 1.3	36.6 ± 1.5	1.105	0.274

Note: M — mean; SD — standard deviation; p-value — probability value; * — statistical significance of differences between groups.

Statistical Analysis

The software SPSS (Version 22; SPSS Inc., Chicago, IL, USA) was employed to perform all statistical analyses. The demographic features of all participants in both groups were analyzed utilizing the Independent Sample T-test. Furthermore, MANOVA was deployed to determine the differences between the groups pre- and post-intervention, and pairwise comparisons were conducted to detect the significant variations within groups. $p < 0.05$ indicated a significant difference.

RESULTS

Table 1 indicates that the participant characteristics, including age, height, weight, and BMI, exhibited a nonsignificant difference between both groups.

Treatment Effects on ALT, AST, and Sleep Quality

Within-Group Comparison

Both AST and ALT levels and PSQ scores did not significantly differ between both groups pre- or post-intervention ($p < 0.05$). Furthermore, ALT had a significant improvement of 8.1 % in group A and 6.9 % in group B. Nonetheless, AST levels showed a nonsignificant change in groups A and B, with 2.2 % and 5.7 % percentages of change, respectively (Table 2). In addition, significant alterations of PSQ scores ($p < 0.05$) were detected in groups A and B with 50.5 % and 63.5 % percentage change, respectively (Table 2).

Between-Group Comparison

The results indicated a nonsignificant difference ($p > 0.05$) between groups pre-intervention. However,

the post-treatment comparison of groups revealed that sleep quality (p -value 0.037) and ALT levels significantly improved in group B more than in group A. However, AST levels exhibited a nonsignificant variation (p -value 0.076) between both groups post-treatment (Table 2).

DISCUSSION

The primary finding of our research was that the sleep quality was significantly improved in group A, which received AT combined with aerobic training. During the 12-week training session, liver enzymes decreased significantly. However, group B, which performed aerobic exercise without the AT, showed greater improvement in ALT levels. Our results demonstrated nonsignificant differences in all parameters between both groups pre-treatment ($p > 0.05$). These results confirmed our hypothesis that incorporating AT exercises into aerobic training would enhance liver function and sleep quality.

Several clinical trials have validated the efficacy of exercise intervention in treating NAFLD [18]. Although aerobic exercise was not related to weight loss in terms of its impact on ALT and AST, engaging in aerobic activities for 8–12 weeks can enhance AST and ALT levels in patients suffering from NASH or NAFLD. However, ALT levels have been observed to be normal in various NAFLD cases. Therefore, caution is advised when using AST and ALT as alternative markers for distinguishing changes in NAFLD resulting from exercise training [19].

Moderate-intensity treadmill training has been revealed to significantly improve mean ALT and AST levels in ten ultrasound-confirmed NAFLD patients from

Table 2. AST, ALT, and PSQI comparison within and between groups

Variables	Group A (Walking) M ± SD	Group B (Accelerating and walking) M ± SD	Comparison between Groups		
AST (U/L)	Pre-treatment	23 ± 6.6	26.2 ± 7.2	3.152	0.081
	Post-treatment	22.5 ± 7.1	24.7 ± 6.9	1.394	0.243
	Change %	2.2 %	5.7 %		
	Within-group Comparison	0.569	0.027		
ALT (U/L)	Pre-treatment	27.3 ± 6.4	30.3 ± 6.8	3.142	0.082
	Post-treatment	25.1 ± 5.9	28.2 ± 7.3	3.258	0.076
	Change %	8.1 %	6.9 %		
	Within-group Comparison	0.005*	0.006*		
PSQI	Pre-treatment	9.1 ± 2.9	9.6 ± 2.7	0.617	0.435
	Post-treatment	4.5 ± 1.8	3.4 ± 1.5	4.551	0.037*
	Change %	50.5 %	63.5 %		
	Within-group Comparison	$p < 0.05^*$	$p < 0.05^*$		

Note: AST — aspartate transferase; ALT — alanine transaminase; PSQI — Pittsburgh Sleep Quality Index; WC — waist; M — mean; SD — standard deviation; MD — mean difference; p -value — probability value; * — significance; change % — percentage of change.

36.9 ± 16.4 and 29.7 ± 9.0 U/L to 24.4 ± 7.2 and 20.9 ± 4.4 U/L, respectively [20]. The current findings support and broaden the recent discovery by Hoseini Z. et al. [21] that aerobic exercise significantly impacts liver lipid content and can effectively reduce liver fat, promote weight loss, and decrease liver enzymes (AST and ALT) and cholesterol.

Our findings align with earlier studies investigating the effects of aerobic exercise on sleep quality and duration in obese people, demonstrating improvements in sleep quality, even without significant weight reduction [22, 23]. Physical exercise can be a natural sleep approach by boosting relaxation and lowering insomnia-related hyperarousal. Engaging in physical activities enhances sleep quality, cognitive performance, physical health, and psychological well-being [24].

Our results align with the assumptions that various exercise methods effectively impact liver function. Physical activity was elucidated to be strongly linked to decreased inflammation and improved steatohepatitis and fibrosis in experimental models. Similarly, aerobic and resistance exercises have been revealed to lower liver fat, improve insulin resistance, and enhance blood lipids, independent of weight reduction in human trials [25].

Previous clinical trials on NAFLD pathogenesis have provided evidence supporting the beneficial effects of AT by revealing that a 24-week WBV has improved liver function tests, specifically AST and ALT. This suggests that WBV is a beneficial exercise alternative for NAFLD patients who struggle to participate in regular exercise [15].

Furthermore, Oh S. et al. [12] have shown that hepatic fat content and intramyocellular lipid levels significantly decreased through a 12-week program involving 20-min aerobic training sessions twice weekly. Additionally, AST ($p = 0.29$) and ALT ($p < 0.05$) levels were significantly improved, possibly because of restoring insulin sensitivity and reducing abnormal fat accumulation in the liver. This

can be accomplished by resolving adipokine imbalance, which alleviates oxidative stress and inflammation in the liver. Improvements in liver conditions were established using abdominal tomography in obese patients with NAFLD, showing changes in liver steatosis and stiffness levels [12].

Consistently, Torres-Nunes L. et al. [26] have manifested that WBV exercise can generate biological changes that lead to significant physiological responses in blood pressure, an expected result of physical activity. Their results also indicated that central, mean, maximum, and lowest temperatures increased 15 min post-interventions. Additionally, WBV exercise induced slight changes in muscle tone and several body composition measures, accompanied by a positive change in the sleep cycle. Limited scientific data supports the benefits of AT for NAFLD patients, and the most effective exercise therapy intensity and method remain uncertain.

Sagnificance & Limitations

Our study had several limitations. First, the absence of post-training follow-up because the participants were unavailable; last the limited research conducted on AT and aerobic training in NAFLD, particularly on different age levels. Therefore we recommended further investigation into the effect of AT and aerobic training in NAFLD utilizing a wide range of inclusion criteria, using other evaluating methods (such as lipid profile) and a larger sample size.

CONCLUSION

The study indicates that integrating aerobic exercise with AT significantly enhances sleep quality scores and enhances liver function test abnormalities in NAFLD patients. Moreover, AT is a promising new strategy expected to be used in therapeutic exercise programs.

ADDITIONAL INFORMATION

Lamiaa M. Fahmy, Ph.D. student, Department of Physical Therapy for Cardiovascular, Respiratory Disorder and Geriatrics, Faculty of Physical Therapy, Cairo University.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0221-6671>

Azza A. Abd Elhady, Professor, Physical Therapy for Cardiovascular, Respiratory Disorder and Geriatrics Department, Faculty of Physical Therapy, Cairo University.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2523-3013>

Ashraf A. Ali, Professor, Dr. Intensive Care, Theodor Bilharz Research Institute, M.D. Internal Medicine, Cairo University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9225-8997>

Asmaa H. Ali, Lecturer at Department of Physical Therapy for Basic Science, Faculty of Physical Therapy, Cairo University.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5781-0690>

Gehad A. Abd Elhaseeb, Lecturer of Physical Therapy for Cardiovascular, Respiratory Disorder and Geriatrics Faculty of Physical Therapy Cairo University.

E-mail: dr.gpt111@cu.edu.eg;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2930-3120>

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: Abdel Hady A.A., Ali A.A., Ali A.H., Abd-Elhaseeb G.A. — development of the study design; Fahmy L.M., Abdel Hady A.A. — data collection; Fahmy L.M., Abd-Elhaseeb G.A., Ali A.H. — data interpretation; Fahmy L.M., Abd-Elhaseeb G.A. — writing; Abdel Hady A.A., Ali A.A., Ali A.H., Abd-Elhaseeb G.A. — supervision.

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

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

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 Faculty of Physical Therapy Cairo University, Egypt, Protocol No P.T.REC/012/003658 dated February 27, 2022.

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

References

1. Thorp A., Stine J.G. Exercise as Medicine: The Impact of Exercise Training on Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Current Hepatology Reports*. 2020; 19(4): 402–411. <https://doi.org/10.1007/s11901-020-00543-9>
2. Heidari Z., Gharebaghi A. Prevalence of Non Alcoholic Fatty Liver Disease and its Association with Diabetic Nephropathy in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2017; 11(5): OC04–OC07. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2017/25931.9823>
3. Yu J.H., Ahn J.H., Yoo H.J., et al. Obstructive sleep apnea with excessive daytime sleepiness is associated with non-alcoholic fatty liver disease regardless of visceral fat. *The Korean Journal of Internal Medicine*. 2015; 30(6): 846–855. <https://doi.org/10.3904/kjim.2015.30.6.846>
4. Zarean E., Looha MA., Amini P., et al. Sleep characteristics of middle-aged adults with non-alcoholic fatty liver disease: findings from the Shahrekord PERSIAN cohort study. *BMC Public Health*. 2023; 23(1): 312. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-15251-4>
5. Houghton D., Thoma C., Hallsworth K., et al. Exercise Reduces Liver Lipids and Visceral Adiposity in Patients with Nonalcoholic Steatohepatitis in a Randomized Controlled Trial. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*. 2017; 15(1): 96–102.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2016.07.031>
6. Chalasani N., Younossi Z., Lavine J.E., et al. The diagnosis and management of non-alcoholic fatty liver disease: practice Guideline by the American Association for the Study of Liver Diseases, American College of Gastroenterology, and the American Gastroenterological Association. *American Journal of Gastroenterology*. 2012; 55(6): 2005–2023. <https://doi.org/10.1038/ajg.2012.217>
7. Risikesan J., Heebøll S., Kumarathas I., et al. Exercise increases myocardial free fatty acid oxidation in subjects with metabolic dysfunction-associated fatty liver disease. *Atherosclerosis*. 2023; 372: 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2023.03.015>
8. Huh J.Y., Mougios V., Skraparlis A., et al. Irisin in response to acute and chronic whole-body vibration exercise in humans. *Metabolism*. 2014; 63(7): 918–921. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2014.04.001>
9. Patel H., Alkhawam H., Madanieh R., et al. Aerobic vs anaerobic exercise training effects on the cardiovascular system. *World Journal of Cardiology*. 2017; 9(2): 134–138. <https://doi.org/10.4330/wjc.v9.i2.134>
10. Keating S.E., Sabag A., Hallsworth K., et al. Exercise in the Management of Metabolic-Associated Fatty Liver Disease (MAFLD) in Adults: A Position Statement from Exercise and Sport Science Australia. *Sports Medicine*. 2023; 53(12): 2347–2371. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01918-w>
11. Johnson N.A., George J. Fitness versus fatness: moving beyond weight loss in nonalcoholic fatty liver disease. *Hepatology*. 2010; 52(1): 370–381. <https://doi.org/10.1002/hep.23711>
12. Oh S., Shida T., Sawai A., et al. Acceleration training for managing nonalcoholic fatty liver disease: a pilot study. *Therapeutics and Clinical Risk Management* 2014; 10: 925–936. <https://doi.org/10.2147/tcrm.s68322>
13. Ibrahim A.A., Abdelbasset W.K. The role of physical exercise in treating people with non- alcoholic fatty liver disease. *Journal of Advanced Pharmacy Education and Research*. 2020; 10(2): 64–70.
14. Reis-Silva A., Coelho-Oliveira A.C., Martins-Anjos E., et al. Impact of Two Whole-Body Vibration Exercise Protocols on Body Composition of Patients with Metabolic Syndrome: A Randomized Controlled Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 20(1): 436. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010436>
15. Oh S., Oshida N., Someya N., et al. Whole-body vibration for patients with nonalcoholic fatty liver disease: a 6-month prospective study. *The Physiological Reports*. 2019; 7(9): e14062. <https://doi.org/10.14814/phy2.14062>
16. Dossoki M.A., Abd Alhady A.A., Amer K.A., et al. Effect of Moderate Aerobic Exercises on Liver Function in Non-Alcoholic Fatty Liver Disease in University Students. *Egyptian Journal of Physical Therapy*. 2020; 2(1): 1–8. <https://doi.org/10.21608/ejpt.2020.25632.1004>
17. Colantonio E., Kiss MAPDM. Is the HRmax = 220 – age equation valid to prescribe exercise training in children? *Journal of Exercise Physiology online*. 2013; 16(1): 19–27.
18. Zhang C., Zhang H., Zhao M., et al. Reliability, Validity, and Factor Structure of Pittsburgh Sleep Quality Index in Community-Based Centenarians. *Frontiers in Psychiatry*. 2020; 11: 573530. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.573530>
19. Glass O.K., Radia A., Kraus W.E., et al. Exercise Training as Treatment of Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 2017; 2(4): 35. <https://doi.org/10.3390/jfmk2040035>
20. Shamsoddini A., Sobhani V., Ghamar Chehreh M.E., et al. Effect of Aerobic and Resistance Exercise Training on Liver Enzymes and Hepatic Fat in Iranian Men With Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Hepatitis Monthly*. 2015; 15(10): e31434. <https://doi.org/10.5812/hepatmon.31434>
21. Hoseini Z., Behpour N., Hoseini R. Co-treatment with Vitamin D Supplementation and Aerobic Training in Elderly Women with Vit D Deficiency and NAFLD: A Single-blind Controlled Trial. *Hepatitis Monthly*. 2020; 20(2): e96437. <https://doi.org/10.5812/hepatmon.96437>
22. Banno M., Harada Y., Taniguchi M., et al. Exercise can improve sleep quality: a systematic review and meta-analysis. *PeerJ*. 2018; 6: e5172. <https://doi.org/10.7717/peerj.5172>
23. Xie Y., Liu S., Chen X.J., et al. Effects of Exercise on Sleep Quality and Insomnia in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Frontiers in Psychiatry*. 2021; 12: 664499. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.664499>
24. D'Aurea C.V.R., Frange C., Poyares D., et al. Physical exercise as a therapeutic approach for adults with insomnia: systematic review and meta-analysis. *Einstein (Sao Paulo)*. 2022; 20: eAO8058. https://doi.org/10.31744/einstein_journal/2022ao8058
25. Barrón-Cabrera E., Soria-Rodríguez R., Amador-Lara F., et al. Physical Activity Protocols in Non-Alcoholic Fatty Liver Disease Management: A Systematic Review of Randomized Clinical Trials and Animal Models. *Healthcare*. 2023; 11(14): 1992. <https://doi.org/10.3390/healthcare11141992>
26. Torres-Nunes L., da Costa-Borges P.P., Paineiras-Domingos L.L., et al. Effects of the Whole-Body Vibration Exercise on Sleep Disorders, Body Temperature, Body Composition, Tone, and Clinical Parameters in a Child with Down Syndrome Who Underwent Total Atrioventricular Septal Defect Surgery: A Case-Report. *Children (Basel)*. 2023; 10(2): 213. <https://doi.org/10.3390/children10020213>

Особенности сенсомоторного реагирования студентов с различным типом отношения к болезни: поперечное исследование

Добрин А.В.*, Ельникова О.Е., Колосова И.Г.

ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», Елец, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Одной из ключевых психофизиологических особенностей субъекта, потерявшего здоровье, является сенсомоторное реагирование, отражающее особенности нейропластичности и позволяющее понять, насколько человек способен адаптироваться к изменившимся условиям жизни, которые неизбежно накладывает болезнь. В свою очередь, достижение желаемого результата реабилитации станет эффективнее, если при построении реабилитационных мероприятий будет учтено то, как человек, имеющий те или иные проблемы со здоровьем, относится к своему изменившемуся состоянию, то есть определить тип отношения к болезни участника реабилитационных мероприятий.

ЦЕЛЬ. Изучить особенности простой и сложной сенсомоторной реакции у юношей и девушек с различным типом отношения к болезни.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ. Было обследовано 160 испытуемых (средний возраст — $21 \pm 2,3$ года) обоих полов. Основным критерием формирования выборки был разный уровень здоровья участников исследования. Отбирались респонденты, имеющие 2-ю и 3-ю группы здоровья. Диагностика типов отношения к болезни производилась при помощи методики «Тип отношения к болезни». Фиксация сенсомоторного реагирования производилась при помощи компьютерной методики РеБОС, позволяющей фиксировать простую и сложную сенсомоторную реакцию.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Выявлено, что в группе испытуемых преобладают гармоничный (25 %), анозогнозический (10,6 %) и эргопатический (20,6 %) типы отношения к болезни. Показано: 1) у испытуемых с анозогнозическим типом самая высокая точность простой сенсомоторной реакции ($-0,12 \pm 0,12$) по сравнению с двумя другими выявленными типами отношения к болезни ($p < 0,05$); 2) у испытуемых с анозогнозическим типом самые низкие значения среднего времени выполнения сложной сенсомоторной реакции ($361,51 \pm 31,14$) по сравнению с испытуемыми с гармоничным ($386,19 \pm 32,18$) и эргопатическим ($396,50 \pm 50,05$) типами отношения к болезни; 3) качество ($R = 0,299$, $R^2 = 0,090$ при $p = 0,020$) и точность ($R = 0,293$, $R^2 = 0,086$ при $p = 0,023$) простой сенсомоторной реакции влияют на тип отношения к болезни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. У испытуемых с различным типом отношения к болезни особенности сенсомоторного реагирования отличаются между собой. Наиболее эффективно выполняют сенсомоторные реакции испытуемые с анозогнозическим типом отношения к болезни. Тип отношения к болезни и параметры сенсомоторного реагирования, такие как качество и точность простой сенсомоторной реакции, связаны друг с другом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сенсомоторное реагирование, нейропластичность, тип отношения к болезни, тормозный контроль.

Для цитирования / For citation: Добрин А.В., Ельникова О.Е., Колосова И.Г. Особенности сенсомоторного реагирования студентов с различным типом отношения к болезни: поперечное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2024; 23(3):21-31. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-21-31> [Dobrin A.V., Elnikova O.E., Kolosova I.G. Features of Sensorimotor Response of Students with Different Types of Attitude to the Disease: a Cross-Sectional Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):21-31. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-21-31> (In Russ.).]

* Для корреспонденции: Добрин Александр Викторович, E-mail: doktor-alexander@mail.ru

Статья получена: 02.02.2024
Статья принята к печати: 20.05.2024
Статья опубликована: 17.06.2024

Features of Sensorimotor Response of Students with Different Types of Attitude to the Disease: a Cross-Sectional Study

 Alexander V. Dobrin*,  Oksana E. Elnikova,  Irina G. Kolosova

Bunin Yelets State University, Yelets, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. One of the key psychophysiological features of a subject who has lost his health is sensorimotor response, reflecting the features of neuroplasticity, and allowing us to understand how much a person is able to adapt to the changed living conditions that the disease inevitably imposes. In turn, achieving the desired result of rehabilitation will become more effective if, when building rehabilitation measures, it is taken into account how a person with certain health problems treats his changed condition, that is, to determine the type of attitude to the disease of a participant in rehabilitation measures.

AIM. To study the features of simple and complex sensorimotor reactions in boys and girls with different types of attitudes to the disease.

MATERIAL AND METHODS. 160 subjects (average age — 21 ± 2.3 years) of both sexes were examined. The main criterion for the sample formation was the different level of health of the study participants. Respondents with 2 and 3 health groups were selected. The diagnosis of the types of attitude to the disease was carried out using the "Type of attitude to the disease" technique. The fixation of the sensorimotor response was performed using the Rebus computer technique, which allows recording a simple and complex sensorimotor reaction.

RESULTS AND DISCUSSION. It was revealed that harmonious (25 %), anosognosic (10.6 %) and ergopathic (20.6 %) types of attitude to the disease predominate in the group of subjects. Shown: 1) subjects with anosognosic type have the highest accuracy of a simple sensorimotor reaction (-0.12 ± 0.12), compared with the other two identified types of attitude to the disease ($p < 0.05$); 2) subjects with anosognosic type have the lowest values of the average execution time of a complex sensorimotor reaction (361.51 ± 31.14), compared with subjects with a harmonious (386.19 ± 32.18) and ergopathic (396.50 ± 50.05) type of attitude to the disease; 3) the quality ($R = 0.299$, $R^2 = 0.090$ at $p = 0.020$) and accuracy ($R = 0.293$, $R^2 = 0.086$ at $p = 0.023$) of a simple sensorimotor reaction affect the type of attitude to the disease.

CONCLUSION. In subjects with different types of attitude to the disease, the features of sensorimotor response differ from each other. The most effective sensorimotor reactions are performed by subjects with an anosognosic type of attitude to the disease. The type of attitude to the disease and the parameters of sensorimotor response, such as the quality and accuracy of a simple sensorimotor reaction are related to each other.

KEYWORDS: sensorimotor response, neuronal plasticity, type of attitude to disease, inhibitory control.

For citation: Dobrin A.V., Elnikova O.E., Kolosova I.G. Features of Sensorimotor Response of Students with Different Types of Attitude to the Disease: a Cross-Sectional Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):21-31. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-21-31>

* **For correspondence:** Alexander V. Dobrin, E-mail: doktor-alexander@mail.ru

Received: 02.02.2024

Accepted: 20.05.2024

Published: 17.06.2024

ВВЕДЕНИЕ

Пандемия COVID-19 перевела определенные ценности в ранг наиболее значимых и обсуждаемых. И одной из таких, безусловно, является здоровье [1–4]. Согласно данным аналитического центра НАФИ, «здоровье входит в топ-3 ключевых ценностей россиян», при этом 35 % участвовавшего в опросе населения указывают на ухудшение своего здоровья за последний год, а 14 % имеют инвалидность или серьезные проблемы, требующие постоянного лечения [5, 6]. Приведенные данные не уникальны и не являются единичными: так, Междисциплинарный центр исследований общественного здоровья Сеченовского Университета подготовил национальный мониторинг общественного здоровья, результатом которого стало утверждение о том, что 70 % россиян отмечают у себя те или иные проблемы со здоровьем [7].

Все вышесказанное убедительно доказывает значимость проблемы не только сохранения, но и восстановления здоровья, которое было уже потеряно. Особенно остро данная задача стоит перед специ-

алистами, занимающимися реабилитацией молодого населения России [8], в частности лиц в возрасте от 17 до 21 года, относящихся согласно возрастной периодизации психического развития к юношескому возрасту [9]. Имеются исследования, убедительно доказывающие наличие тенденции «омоложения» большинства болезней [10, 11]. Таким образом, становится очевидным, что с учетом актуальных реалий на текущий момент стоит обратить пристальное внимание на необходимость восстановления (реабилитации) молодых людей, потерявших здоровье по тем или иным причинам. То есть проблема обозначена и очевидна — современная молодежь, как правило, нездорова, и теперь уже не столь важно разбираться в причинах, приведших к такому положению, важно понять, как сохранить тот уровень здоровья, который имеется на текущий момент, или предпринять попытку восстановить потерянное здоровье.

Как известно, восстановление после перенесенного заболевания, снижение риска возникновения заболеваний осуществляется посредством коррекции

онных, оздоровительно-реабилитационных мероприятий [12]. И для того чтобы успешно проводить оздоровительно-реабилитационные мероприятия, необходимо учитывать ряд условий, соблюдение которых требуется для достижения ожидаемого результата. Остановимся лишь на некоторых из них, наиболее часто описываемых в исследованиях, посвященных данной тематике. Это и необходимость поддержания хорошей физической формы, и здоровый образ жизни, и сбалансированное питание, и ряд других. Так, к примеру, большое значение уделяется систематическим физическим упражнениям [13–16], что, безусловно, важно. Тем не менее поддержание и развитие физической формы является не единственным фактором, который необходимо учесть при построении реабилитационных мероприятий. Известно, что исследование влияния психологического состояния на течение болезни и процесс выздоровления имеет свою достаточно длительную историю [17]. Таким образом, мы считаем, что не менее важным является учет психологических и психофизиологических особенностей людей, потерявших здоровье.

Психологические особенности включают отношение человека к ситуации потери здоровья. Достаточно часто с людьми, отражающими у себя симптомы того или иного заболевания, происходят достаточно серьезные изменения именно психологического рода. Данные изменения в поведении, реакциях человека можно проследить и зафиксировать в ходе анализа типов отношения к болезни (ОКБ). Именно своевременная диагностика отношения к наличию у человека заболевания позволит понять, как заболевший относится к ситуации потери здоровья, имеет ли он желание сотрудничать с лечащим врачом и бросить все силы на борьбу с болезнью. А также вычленив таких, кто пытается вытеснить мысли о наличии того или иного заболевания «загруженностью на работе» или мыслями о том, что ощущаемые симптомы незначительны. На наш взгляд, понимание данного аспекта позволит более продуктивно выстроить процесс реабилитации, так как позволит оценить, конструктивной ли является модель поведения в ситуации потери здоровья или нет.

Одной из ключевых психофизиологических особенностей субъекта, потерявшего здоровье, можно считать сенсомоторное реагирование, выражающееся в особенностях сенсомоторных реакций, отражающее особенности нейропластичности [18, 19] и позволяющее понять, насколько человек способен перестроиться, адаптироваться к изменившимся условиям жизни, которые неизбежно накладывает болезнь.

Известно, что пластичность нервной ткани лежит в основе нейрональных механизмов памяти и обучения [20], которые позволяют организму в условиях повреждения, в том числе и центральной нервной системы (ЦНС), адаптироваться к изменяющимся условиям среды [19, 21–24]. При этом механизмы обучения, применяемые в современных нейрореабилитационных технологиях, все шире используют методы, направленные на сенсомоторную тренировку (task-oriented approach) [25, 26], которая в то же время является одним из факторов среды, оказывающих влияние

на физиологические механизмы нейропластичности [22, 23, 27, 28], которые способствуют успешности восстановительных мероприятий [29, 30].

Таким образом, анализ литературных источников позволяет предположить, что специалист, занимающийся восстановлением здоровья людей, имеющих те или иные диагнозы, для достижения желаемого результата реабилитации должен учитывать то, как человек относится к своему изменившемуся (зачастую коренным образом) состоянию, то есть определить тип ОКБ участника реабилитационных мероприятий, а также оценить степень готовности адаптировать свою жизнь к условиям болезни [17]. В свою очередь, литературные данные свидетельствуют о важности понимания того, насколько пластична нервная система человека, потерявшего здоровье, и, в частности, выявления особенностей сенсомоторного реагирования [22, 27].

Таким образом, мы предполагаем, что учет описанных выше психологических и психофизиологических характеристик субъекта позволит выстроить оздоровительно-реабилитационные мероприятия с большей эффективностью.

Гипотеза исследования

Предполагается, что у испытуемых с различным типом ОКБ будут выявлены отличающиеся между собой особенности сенсомоторного реагирования, которые обусловлены активностью дефолтной системы мозга, отражающей адаптацию к сложившейся ситуации, и проявляются в снижении активности тормозного контроля и плохим результатам выполнения сенсомоторной реакции у испытуемых, оценивающих объективно состояние своего здоровья.

ЦЕЛЬ

Изучить особенности простой и сложной сенсомоторной реакции у юношей и девушек с различным типом ОКБ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 160 испытуемых. В качестве респондентов выступили студенты Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина (средний возраст — $21 \pm 2,3$ года) обоих полов. Основным критерием формирования выборки был разный уровень здоровья участников исследования. Исследование имело две «серии». Основной задачей первой, предварительной, «серии» было выявление юношей и девушек, имеющих те или иные проблемы со здоровьем. В рамках данной серии нами было проведено добровольное анкетирование, в ходе которого у участников исследования выяснялся их уровень здоровья. Вопросы были следующего характера: «Относите ли вы себя к категории здоровых или к категории больных и почему?». Респондентов просили обосновать свой ответ. Вторым этапом первой серии был с их письменного согласия анализ медицинских карт участников исследования, проводимый медицинским работником образовательной организации, и результатом которого была анонимная фиксация группы здоровья в материалах исследования. Группы

респондентов для последующего исследования были сформированы в соответствии с группами здоровья, выявленными в ходе диспансеризации и зафиксированными в медицинских картах согласно приказу Минздрава России от 27 апреля 2021 г. за № 404н¹. Для большей достоверности данные медицинских карт соотносились с результатами анкетирования (различий в самооценке уровня здоровья и данными медицинских карт выявлено не было). Отбирались респонденты, имеющие 2-ю и 3-ю группы здоровья. Дальнейшая диагностика проводилась только на участниках исследования, имеющих те или иные отклонения в здоровье. При этом нозология заболевания не учитывалась, так как целью нашего исследования был учет сенсомоторного реагирования у молодых людей с разным типом ОКБ. Мы придерживаемся точки зрения Мясищева В.Н., в рамках которой доказано, что тип ОКБ имеет психологическую природу и не обусловлен нозологией заболевания, одним из ключевых факторов формирования данного психологического конструкта является сам факт перенесения человеком того или иного заболевания, то, что человек имел опыт «погружения в болезнь» [31].

Диагностика типов ОКБ производилась при помощи методики «Тип отношения к болезни» (ТОБОЛ) [31]. Как известно, при помощи данной методики можно диагностировать тип ОКБ, что позволяет выявить испытуемых, имеющих направленность конструктивно относиться к ситуации потери здоровья и желание сотрудничать с лечащим врачом, бросить все силы на борьбу с болезнью. А также вычленив таких, кто пытается вытеснить мысли о наличии того или иного заболевания «загруженностью на работе» или мыслями о том, что ощущаемые симптомы незначительны.

Учет данного психологического конструкта позволит адаптировать потенциальную реабилитацию с учетом отношения человека к ситуации потери здоровья.

Фиксация сенсомоторного реагирования производилась при помощи компьютерной методики РеБОС [32]. Далее приведем описание диагностической процедуры исследования.

Данная методика позволяла оценить результаты выполнения заданий простой (парадигма go/go) и сложной (парадигма go/go и go/no-go) сенсомоторных реакций. Эта методика включала три серии. В серии тренировок испытуемого просили нажать клавишу пробела как можно быстрее, когда на экране компьютера появлялся круг любого цвета. Таких кругов было 8, желтые, красные, зеленые и синие круги и появлялись через равные промежутки времени. Эта серия была необходима экспериментатору, чтобы убедиться, что испытуемый понял инструкцию. В первой серии оценивалась простая сенсомоторная реакция. Круги также были разного цвета, инструкция не менялась по отношению к серии тренировок. Всего было 128 кругов, так что у испытуемого выработалась реак-

ция на каждое предъявление стимула (парадигма go/go). Во второй серии, где также были представлены 128 кругов разного цвета, испытуемый должен был отреагировать на все круги, кроме красных (парадигма go/no-go). В этой серии оценивалась сложная сенсомоторная реакция — особенности тормозного контроля испытуемых.

Вторая и третья серии состояли из двух идентичных частей, о чем испытуемому не сообщалось. Предполагалось, что если вторую часть серии испытуемый выполняет лучше, чем первую, то он интуитивно уловил закономерность потока стимулов, если различий нет, испытуемый не смог уловить эту закономерность.

Статистический анализ полученных результатов проводился при помощи программы IBM SPSS Statistics, версия 22.0.

Для оценки различий между двумя независимыми и несвязанными малыми выборками по уровню исследуемых параметров использовали непараметрический *U*-критерий Манна — Уитни, который не требует наличия нормального распределения сравниваемых совокупностей, а также количественного равенства выборок. *U*-критерий Манна — Уитни может использоваться для выявления различий между выборками с малым числом значений признака: в каждой из выборок должно быть не менее 3 значений. Взаимосвязи между исследуемыми параметрами определяли посредством линейного регрессионного анализа. Линейная регрессия позволила выявить коэффициент детерминации признака (R), а также процент дисперсии зависимой переменной, объясняемый изменением независимой переменной (R^2). Различия и связи считали статистически значимыми при уровне значимости $p \leq 0,05$ [33].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе диагностики показано, что из 12 типов ОКБ наиболее часто у участников исследования встречаются 3 типа: гармоничный — 25 % ($n = 40$), анозогностический — 10,6 % ($n = 17$) и эргопатический — 20,6 % ($n = 33$). Согласно психологической интерпретации, представленной в методике «Тип отношения к болезни», гармоничный тип характеризуется способностью человека соблюдать предписание и выполнять все требования медицинского персонала. Если у испытуемого диагностируется эргопатический тип, то это указывает на следующую модель поведения — человек отвергает мысль о наличии у него заболевания, вытесняя ее утверждениями, что необходимо работать. Такие люди во что бы то ни стало стремятся сохранить свой профессиональный статус, избирательно относятся к необходимости обследования и лечения. Представители с анозогностическим типом чаще всего отбрасывают мысль о том, что те или иные симптомы указывают на наличие у него заболевания [31].

Таким образом, можно сделать вывод, что к конструктивному поведению с большей долей вероятности можно отнести гармоничный тип ОКБ, что подтверждается исследованиями, показывающими связь ОКБ с психологическим благополучием пациента и даже с клиническими характеристиками заболевания [34–36].

¹ Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 27.04.2021 № 404н «Об утверждении Порядка проведения профилактического медицинского осмотра и диспансеризации определенных групп взрослого населения».

В свою очередь, наши данные согласуются с исследованиями, в которых показано, что независимо от заболевания ОКБ является одним из ведущих факторов, определяющих качество жизни и эмоциональное состояние пациентов [37–39]. При этом негативное отношение к заболеванию, в том числе и эмоциональное, свидетельствует о неспособности пациента психологически адекватно переработать ситуацию, сложившуюся в условиях заболевания, что в результате приводит к ухудшению физического самочувствия пациента, тогда как объективное состояние не всегда соответствует такому самоощущению [40].

Далее было проведен анализ простой и сложной сенсомоторной реакции у юношей и девушек с различным типом ОКБ. Были выявлены статистически значимые различия точности простой сенсомоторной реакции у испытуемых с анозогнозическим и гармоничным типами ОКБ (табл. 1).

Точность воспроизведения испытуемым фрактальной размерности следования стимулов (кругов различных цветов) в потоке времени определялась как динамика разности индекса Херста. Если величина данного параметра принимает отрицательное или нулевое значение, то считается, что испытуемый при выполнении процедуры сенсомоторной реакции во время 2-й части серии воспроизвел фрактальную размерность потока стимулов не хуже, чем в первой части [41]. Точность простой сенсомоторной реакции у испытуемых с анозогнозическим типом самая высокая по сравнению с двумя другими выявленными типами ОКБ ($p < 0,05$).

Таким образом, можно сделать вывод, что испытуемые с анозогнозическим типом ОКБ лучше всего справляются с выполнением простой сенсомоторной реакции. Более того, выявлены достоверные различия результатов данных испытуемых и тех, у кого выявлен гармоничный тип ОКБ.

Напротив, точность простой сенсомоторной реакции испытуемых с гармоничным типом ОКБ самая низкая по сравнению с другими выявленными типами ОКБ ($p < 0,05$). Это свидетельствует о том, что эти участники воспроизводят фрактальную размерность второй серии простой сенсомоторной реакции хуже, чем первой.

В свою очередь, выявлено, что у испытуемых с анозогнозическим типом отношения ОКБ точность простой сенсомоторной реакции достоверно лучше, чем точность сложной сенсомоторной реакции ($p < 0,05$), тогда как в группе с анозогнозическим типом ОКБ обратная картина — испытуемые лучше выполняют сложную сенсомоторную реакцию, чем простую.

Полученные данные подтверждаются анализом количества ошибок, допускаемых испытуемыми в процессе выполнения простой и сложной сенсомоторной реакций (табл. 2).

Статистических различий в количестве ошибок сенсомоторной реакции у испытуемых с различным типом ОКБ нами выявлено не было, однако можно обнаружить тенденцию снижения числа ошибок в 1-й и 2-й частях сложной сенсомоторной реакции у испытуемых со всеми тремя выявленными типами ОКБ.

У испытуемых с анозогнозическим типом ОКБ скорость выполнения второй части сложной сенсомоторной реакции выше, чем у испытуемых с гармоничным типом ОКБ ($p < 0,05$) (табл. 3).

Анализ времени выполнения сенсомоторного теста показал, что у испытуемых со всеми тремя выявленными типами ОКБ происходит постепенное снижение скорости выполнения от первой части простой ко второй части сложной сенсомоторной реакции. При этом разница между скоростью выполнения простой сенсомоторной реакции и сложной достигает достоверных различий ($p < 0,05$).

Нами выявлена закономерность, демонстрирующая, что испытуемые с анозогнозическим типом ОКБ

Таблица 1. Особенности точности сенсомоторных реакций у испытуемых с различным типом отношения к болезни (среднее значение \pm стандартное отклонение)

Table 1. Features of the accuracy of sensorimotor reactions in subjects with different types of attitude to the disease (mean value \pm standard deviation)

Параметр сенсомоторной реакции / Sensorimotor response parameter	Тип отношения к болезни / Type of attitude to the disease		
	Гармоничный / Harmonious (n = 40)	Эргопатический / Ergopathic (n = 33)	Анозогнозический / Anosognosic (n = 17)
Точность простой сенсомоторной реакции / The accuracy of a simple sensorimotor reaction	0,18 \pm 0,68	-0,01 \pm 0,17	-0,12 \pm 0,12*
Точность сложной сенсомоторной реакции / Accuracy of complex sensorimotor response	0,01 \pm 0,03**	0,01 \pm 0,02	0,02 \pm 0,02**

Примечание: * — достоверные различия точности простой сенсомоторной реакции у испытуемых с анозогнозическим и гармоничным типом отношения к болезни с уровнем значимости $p < 0,05$ (критерий Манна — Уитни); ** — достоверные различия точности выполнения простой и сложной сенсомоторной реакции с уровнем значимости $p < 0,05$ (критерий Манна — Уитни).

Note: * — significant differences in the accuracy of a simple sensorimotor reaction in subjects with an anosognosic and harmonic type of attitude to the disease with a significance level of $p < 0,05$ (Mann-Whitney criterion); ** — significant differences in the accuracy of performing a simple and complex sensorimotor reaction with a significance level of $p < 0,05$ (Mann-Whitney criterion).

Таблица 2. Количество ошибок сенсомоторной реакции у испытуемых с различным типом отношения к болезни (среднее значение ± стандартное отклонение)

Table 2. The number of sensorimotor reaction errors in subjects with different types of attitude to the disease (mean value ± standard deviation)

Тип отношения к болезни / Type of attitude to the disease	Параметры сенсомоторной реакции / Parameters of sensorimotor reaction			
	Количество ошибок в 1-й части простой сенсомоторной реакции / The number of errors in the 1st part of a simple sensorimotor reaction	Количество ошибок во 2-й части простой сенсомоторной реакции / The number of errors in the 2nd part of a simple sensorimotor reaction	Количество ошибок в 1-й части сложной сенсомоторной реакции / The number of errors in the 1st part of a complex sensorimotor reaction	Количество ошибок во 2-й части сложной сенсомоторной реакции / The number of errors in the 2nd part of a complex sensorimotor reaction
Гармоничный / Harmonious (n = 40)	1,76 ± 3,42	2,30 ± 2,83	2,56 ± 2,67	1,56 ± 2,25
Эргопатический / Ergopathic (n = 33)	1,82 ± 2,34	1,30 ± 1,76	2,95 ± 3,24	1,47 ± 1,97
Анозогнозический / Anosognosic (n = 17)	0,85 ± 1,57	1,71 ± 3,30	2,57 ± 1,81	1,00 ± 1,15

Таблица 3. Среднее время выполнения сенсомоторной реакции у испытуемых с различным типом отношения к болезни (среднее значение ± стандартное отклонение)

Table 3. The average time to perform a sensorimotor reaction in subjects with different types of attitude to the disease (average value ± standard deviation)

Тип отношения к болезни / Type of attitude to the disease	Параметры сенсомоторной реакции / Parameters of sensorimotor reaction			
	Среднее время реакции 1-й части простой сенсомоторной реакции / The average reaction time of the 1st part of a simple sensorimotor reaction	Среднее время реакции 2-й части простой сенсомоторной реакции / The average reaction time of the 2nd part of a simple sensorimotor reaction	Среднее время реакции 1-й части сложной сенсомоторной реакции / The average reaction time of the 1st part of a complex sensorimotor reaction	Среднее время реакции 2-й части сложной сенсомоторной реакции / The average reaction time of the 2nd part of a complex sensorimotor reaction
Гармоничный / Harmonious (n = 40)	318,04 ± 58,76	325,47 ± 64,60	379,11 ± 50,00	396,50 ± 50,05
Эргопатический / Ergopathic (n = 33)	310,61 ± 33,14	316,39 ± 30,84	373,12 ± 35,63	386,19 ± 32,18
Анозогнозический / Anosognosic (n = 17)	297,55 ± 23,12	316,68 ± 24,94	352,55 ± 30,48	361,51 ± 31,14*

Примечание: * — достоверные различия у испытуемых с гармоничным и анозогнозическим типами отношения к болезни при уровне значимости $p < 0,05$ (критерий Манна — Уитни).

Note: * — significant differences in subjects with harmonic and anosognosic types of attitude to the disease at a significance level of $p < 0,05$ (Mann-Whitney criterion).

Таблица 4. Результаты исследования особенностей взаимосвязи сенсомоторных реакций и типа отношения к болезни у испытуемых**Table 4.** Results of the study of the features of the relationship between sensorimotor reactions and the type of attitude to the disease in the subjects

Независимая переменная / Independent variable	Зависимая переменная / Dependent variable	R	R ²	p
Качество простой сенсомоторной реакции / The quality of a simple sensorimotor reaction	Тип ОКБ / The type of attitude to the disease	0,299	0,090	0,020
Точность простой сенсомоторной реакции / The accuracy of a simple sensorimotor reaction	Тип ОКБ / The type of attitude to the disease	0,293	0,086	0,023

Примечание: R — коэффициент детерминации; R² — процент дисперсии зависимой переменной, объясняемый изменением независимой переменной; p — уровень значимости.

Note: R — the coefficient of determination; R² — the percentage of variance of the dependent variable, explained by the change in the independent variable; p — the level of significance.

выполняют как простую, так и сложную сенсомоторную реакции быстрее, чем испытуемые с гармоничным и эргопатическим типами, при этом различия скорости выполнения второй части сложной сенсомоторной реакции у испытуемых с анозогнозическим и гармоничным типом ОКБ достигают достоверных различий ($p < 0,05$).

Следующим этапом было выявление возможных взаимосвязей исследуемых параметров, для чего нами использовался линейный регрессионный анализ, результаты которого представлены в табл. 4.

Анализ результатов регрессионного анализа показал, что независимые переменные — качество ($R = 0,299$, $R^2 = 0,090$ при $p = 0,020$) и точность ($R = 0,293$, $R^2 = 0,086$ при $p = 0,023$) простой сенсомоторной реакции, влияют на зависимую переменную — тип ОКБ. Полученные данные согласуются с результатами других исследований, в которых показано, что исполнительные функции влияют на здоровье и качество жизни [42] и являются важным фактором, способствующим сохранению здоровья [43].

Таким образом, результаты нашего исследования позволяют сделать вывод о том, что у испытуемых с разным типом ОКБ различные особенности сенсомоторного реагирования, при этом тип ОКБ и параметры сенсомоторных реакций связаны друг с другом.

Это можно объяснить тем, что при анозогнозическом типе не происходит напряжения адаптационных механизмов, что проявляется в таких поведенческих реакциях, как стремление жить, как и раньше до болезни, несмотря на то что болезнь уже существует.

Напряжение адаптационных механизмов у испытуемых с гармоничным типом ОКБ приводит к снижению тормозного контроля, который наряду с показателями рабочей памяти составляет исполнительную систему мозга.

Известно, что в регуляции поведения участвуют исполнительная и дефолтная (Default mode system, DMN) системы мозга, при этом данные системы выполняют свои функции реципрочно — активация DMN происходит при снижении активности исполнительных функций [44]. Функционирование дефолтной системы, или сети оперативного покоя [45, 46], связывают с работой воображения [47], а усиление ее активности происходит в ситуации обдумывания собственного

прошлого и будущего, мысленного конструирования социальных взаимоотношений [46].

Таким образом, активность дефолтной системы, а именно «блуждающих мыслей» (mind wandering, MW), которая отражает адаптацию к сложившейся ситуации посредством самоанализа, регуляции настроения, а также планирования позитивного будущего [48], приводит к снижению активности тормозного контроля и плохим результатам выполнения сенсомоторной реакции у испытуемых с гармоничным типом ОКБ, оценивающих объективно состояние своего здоровья и, как следствие, делающих все необходимое для преодоления недуга.

Характеристики сенсомоторного реагирования, являющиеся показателями нейропластичности, демонстрируют физиологические особенности когнитивных функций, эмоционального реагирования, адаптивного поведения [49–52], что в совокупности определяет эффективность социальной адаптации индивида, в том числе и к болезни [22, 23, 53–57]. При этом у испытуемых с гармоничным типом ОКБ происходит снижение эффективности сенсомоторного реагирования, что может свидетельствовать о снижении пластичности нервной системы и является результатом деятельности сети оперативного покоя мозга, которая активируется в ситуации реалистичного, взвешенного долгосрочного планирования своего будущего [46], а также в ситуации саморефлексии своего состояния [58], что и наблюдается при гармоничном типе ОКБ.

Проведенное нами исследование показало, что адаптивное поведение по ОКБ не может рассматриваться лишь как комплекс поведенческих реакций, направленных на реалистичную оценку своего состояния без склонности преувеличивать его тяжесть, но и без недооценки тяжести болезни. Адаптация к болезни должна учитывать возможность наибольшего сохранения привычного образа жизни больного, так как именно это является одним из психологических паттернов поведения, которые реализуются у испытуемых, старающихся отрицать свою болезнь и жить, как и до ее возникновения.

Следует отметить, что снижение тормозного контроля, который наряду с показателями рабочей памяти составляет исполнительную систему мозга, приводит к ухудшению сенсомоторного реагирования, прояв-

ляется в снижении результативности выполнения сенсомоторных реакций и, как следствие, приводит к напряжению адаптационных механизмов у испытуемых с гармоничным типом ОКБ. Это неизбежно будет влиять на характер выздоровления человека, особенности его реабилитации после перенесенного заболевания.

Ограничения исследования и рекомендации для дальнейших исследований

Представленные результаты являются предварительными, поскольку они были получены с использованием небольшой выборки. Продолжение исследования с включением большего числа участников, а также разделение участников исследования по принадлежности к той или иной религиозной конфессии

[59–62] позволит получить больше данных, необходимых для того, чтобы сделать более точные выводы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе исследования результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. У испытуемых с различным типом отношения к болезни особенности сенсомоторного реагирования отличаются между собой.
2. Наиболее эффективно выполняют сенсомоторные реакции испытуемые с анозогнозическим типом отношения к болезни.
3. Тип отношения к болезни и параметры сенсомоторного реагирования, такие как качество и точность простой сенсомоторной реакции, связаны друг с другом.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Добрин Александр Викторович, кандидат психологических наук, доцент, исполняющий обязанности заведующего, кафедра психологии и психофизиологии, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина».

E-mail: doktor-alexander@mail.ru;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6210-0520>

Ельникова Оксана Евгеньевна, кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры психологии и психофизиологии, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7904-3705>

Колосова Ирина Геннадьевна, кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры психологии и психофизиологии, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9548-7998>

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: Добрин А.В. — анализ данных, написание и редактирование текста статьи; Ельникова О.Е. — проведение исследования, написание и редактирование текста статьи; Колосова И.Г. — написание и редактирование текста статьи.

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

Alexander V. Dobrin, Ph.D. (Psychol.), Associate Professor, Acting Head, Department of Psychology and Psychophysiology, Bunin Yelets State University.

E-mail: doktor-alexander@mail.ru;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6210-0520>

Oksana E. Elnikova, Ph.D. (Psychol.), Docent, Associate Professor, Department of Psychology and psychophysiology, Bunin Yelets State University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7904-3705>

Irina G. Kolosova, Ph.D. (Psychol.), Associate Professor, Department of Psychology and psychophysiology, Bunin Yelets State University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9548-7998>

Author Contributions. All authors confirm their authorship in accordance with the international ICMJE criteria (all authors made significant contributions to the concept, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contribution: Dobrin A.V. — data analysis, writing and editing; Elnikova O.E. — investigation, writing and editing; Kolosova I.G. — writing and editing.

Funding. The authors declare no external funding in the conduct of the study.

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

Data Access Statement. The data supporting the conclusions of this study are available upon reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

1. Бояк Т.Н. Здоровье как ценность. Медико-фармацевтический журнал «Пульс». 2016; 18(9): 142–146. [Boyak T.N. Health as a value. Medical & pharmaceutical journal «Pulse». 2016; 18(9): 142–146 (In Russ..)]
2. Петраш М.Д., Муртазина И.Р. Понятие «здоровый образ жизни» в психологических исследованиях. Вестник Санкт-Петербургского университета. Психология. 2018; 8(2): 152–165. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu16.2018.204> [Petraash M.D., Murtazina I. R. The definition of “healthy lifestyle” in psychological research. Vestnik of Saint Petersburg University. Psychology. 2018; 8(2): 152–165. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu16.2018.204> (In Russ..)]
3. Шклярчук В.Я., Васекин Ю.И., Коновалова М.П. Формирование представлений о здоровье и продолжительности жизни человека. Промышленность: экономика, управление, технологии. 2018; 2(71): 200–204. [Shklyaruk V.Ya., Vasekin Yu.I., Konovalova M.P. Promoting awareness of health and life expectancy. Industry: Economics, Management, Technology. 2018; 2(71): 200–204 (In Russ..)]

4. Gayathri R., Manyeswari P., Mahanta P., Bapu K.G.V. Relationship between Health Promoting Behaviors, Self-compassion and Health Value among Medical Students. *International Journal of Indian Psychology*. 2023; 11(3): 628–637. <https://doi.org/10.25215/1103.060>
5. Аналитический центр НАФИ. Как изменились образ жизни и здоровье россиян в 2023 году. Доступно на: <https://naf.ru/analytics/kak-izmenilis-obraz-zhizni-i-zdorove-rossiyan-v-2023-godu/> (Дата обращения: 12.01.2024). [Analiticheskij centr NAFI. Kak izmenilis' obraz zhizni i zdorove' rossiyan v 2023 godu. Available at: <https://naf.ru/analytics/kak-izmenilis-obraz-zhizni-i-zdorove-rossiyan-v-2023-godu/> (Accessed January 12, 2024) (In Russ..)]
6. Покида А.Н., Зыбуновская Н.В. Реализация принципов здорового образа жизни в современных условиях россиянами различных социально-демографических групп. Здоровье населения и среда обитания — ЗНИСО. 2024; 32(1): 15–27. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-1-15-27> [Pokida A.N., Zybunovskaya N.V. Implementation of principles of a healthy lifestyle by contemporary Russians from different socio-demographic groups. *Public Health and Life Environment — PH&LE*. 2024; 32(1): 15–27. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-1-15-27> (In Russ..)]
7. Давитадзе А.П., Александрова Е.А., Купера А.В. и др. Использование российской системы здравоохранения пациентами: результаты национального мониторинга общественного здоровья. Здоровье населения и среда обитания — ЗНИСО. 2023; 31(8): 7–16. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-8-7-16> [Davitadze A.P., Aleksandrova E.A., Kupera A.V. et al. Health care utilization in Russia: Public health survey findings. *Public Health and Life Environment — PH&LE*. 2023; 31(8): 7–16. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-8-7-16> (In Russ..)]
8. Байдакова Н.В. Формирование системы реабилитации и восстановительной медицины в России. Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. 2017; 3: 16–20. [Baidakova N.V. Formation of the system of rehabilitation and restorative medicine in Russia. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Sociology. Economy. Politics*. 2017; 3: 16–20 (In Russ..)]
9. Мещерякова Б.Г., Зинченко В.П. Большой психологический словарь. 4-е изд. СПб.: Прайм-Еврознак, 2009. 811 с. [Meshcheryakova B.G., Zinchenko V.P. *Bol'shoj psihologicheskij slovar'*. 4th izd. SPb.: Prajm-Evroznak, 2009. 811 p. (In Russ..)]
10. Фазлеева Е.В., Шалавина А.С., Васенков Н.В. и др. Состояние здоровья студенческой молодежи: тенденции, проблемы, решения. Мир науки. Педагогика и психология. 2022; 10(5): 01PDMN522. [Fazleeva E.V., Shalavina A.S., Vasenkov N.V., Martyanov O.P., Fazleev A.N. Health status of youth students: trends, problems, solutions. *World of Science. Pedagogy and psychology*. 2022; 10(5): 01PDMN522 (In Russ..)]
11. Журавлева И.В., Лакомова И.В. Здоровье молодежи как объект социальной политики. Социальные аспекты здоровья населения (электронный научный журнал). 2018; 62(4): 4–8. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2018-62-4-8> [Zhuravleva I.V., Lakomova N.V. Health of Youth as a Object of Social Policy. *Social Aspects of Population Health (Scientific E-Journal)*. 2018; 62(4): 4–8. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2018-62-4-8> (In Russ..)]
12. Нечаев В.С., Магомедова З.А. Медицинская реабилитация: история вопроса и дефиниции. Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2017; 25 (4): 221–225. <https://doi.org/10.1016/0869-866X-2017-25-4-221-225> [Nechaev V.S., Magomedova Z.A. The medical rehabilitation: history and definitions. *The Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine*. 2017; 25 (4): 221–225. <https://doi.org/10.1016/0869-866X-2017-25-4-221-225> (In Russ..)]
13. Самыличев А.С. Возможности физической реабилитации и самореабилитации. Научное обозрение. Медицинские науки. 2016; 4: 93–106. [Samylichev A.S. Abilities of psycal rehabilitation and self-rehabilitation. *Scientific Review. Medical Sciences*. 2016; 4: 93–106 (In Russ..)]
14. Цверкунова К.С., Грицина А.П. Роль лечебно-оздоровительной физической культуры в реабилитации инвалидов. Международный студенческий научный вестник. 2017; 6: 141. [Tsverkunova K.S., Gritsina A.P. The role of medical and recreational physical culture in the rehabilitation of disabled people. *European Student Scientific Journal*. 2017; 6: 141 (In Russ..)]
15. Назирова А.А., Давыдова С.С., Егоров Р.С. Физкультурно-оздоровительная реабилитация школьников. Наука-2020. 2021; 4 (49): 213–218. [Nazirova A.A., Davydova S.S., Egorov R.S. Physical culture and health rehabilitation of school children. *Science-2020*. 2021; 4(49): 213–218 (In Russ..)]
16. Плясунова А.А. Роль физической культуры в профилактике и реабилитации различных заболеваний. Актуальные исследования. 2024; 2(184): 79–81. [Plyasunova A.A. The role of physical education in the prevention and rehabilitation of favoiuous diseases. *Current Research*. 2024; 2(184): 79–81 (In Russ..)]
17. Громько Е.В., Соколова Э.А. Исторический аспект внутренней картины болезни (обзор литературы). Проблемы здоровья и экологии. 2012; (1): 37–44. <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2012-9-1-6> [Gromyko E.V., Sokolova E.A. Historical aspects of the inward picture of a disease (literature review). *Health and Ecology Issues*. 2012; (1): 37–44. <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2012-9-1-6> (In Russ..)]
18. Smania N., Picelli A., Gandolfi M., et al. Rehabilitation of sensorimotor integration deficits in balance impairment of patients with stroke hemiparesis: a before/after pilot study. *Neurological Sciences*. 2008; 29: 313–319. <https://doi.org/10.1007/s10072-008-0988-0>
19. Павлов К.И., Мухин В.Н. Физиологические механизмы нейропластичности как основа психических процессов и социально-профессиональной адаптации (Часть 1). Психология. Психофизиология. 2021; 14(3): 119–136. [Pavlov K.I., Mukhin V.N. Physiological Mechanisms of Neuroplasticity as a Basis of Mental Processes and Socio-Professional Adaptation (Part 1). *Psychology. Psychophysiology*. 2021; 14(3): 119–136 (In Russ..)]
20. Вошилова Н.В. Сенсомоторная интеграции как психофизиологическая база развития интеллекта слабослышащих младших школьников. Проблемы современного педагогического образования. 2019; 62(3): 47–50. [Voshilova N.V. Sensomotor integration as a psychophysiological basis for the intellect development of hearing impaired primary school children. *Problems of Modern Pedagogical Education*. 2019; 62(3): 47–50 (In Russ..)]
21. Баранов А.А., Ключкова О.А., Куренков А.Л. и др. Роль пластичности головного мозга в функциональной адаптации организма при детском церебральном параличе с поражением рук. Педиатрическая фармакология. 2012; 9(6): 24–32. <https://doi.org/10.15690/pf.v9i6.515> [Baranov A.A., Klochkova O.A., Kurenkov A.L., et al. The role of brain plasticity in the functional adaptation of body at cerebral infantile paralysis with the affection of hands. *Pediatric pharmacology*. 2012; 9(6): 24–32. <https://doi.org/10.15690/pf.v9i6.515> (In Russ..)]
22. Гомазков О.А. Нейрогенез как адаптивная функция взрослого мозга. Успехи современной биологии. 2013; 133(4): 349–366. [Gomazkov O.A. Neurogenesis as an adaptive function of brain. *Uspekhi sovremennoi biologii*. 2013; 133(4): 349–366 (In Russ..)]
23. Комлева Ю.К., Салмина А.Б., Прокопенко С.В. и др. Изменения структурно-функциональной пластичности головного мозга, индуцированные обогащенной средой. Вестник Российской академии медицинских наук. 2013; 68(6): 39–48. [Komleva Yu.K., Salmina A.B., Prokopenko S.V., et al. Changes in Structural and Functional Plasticity of the Brain Induced by Environmental Enrichment. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2013; 68(6): 39–48 (In Russ..)]
24. Johnston M.V. Plasticity in the developing brain: implications for rehabilitation. *Developmental Disabilities Research Reviews*. 2009; 15(2): 94–101.
25. Черникова Л.А. Пластичность мозга и современные реабилитационные технологии. Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2007; 1(2): 34–39 [Chernikova L.A. Brain plasticity and modern rehabilitation technologies. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2007; 1(2): 34–39 (In Russ..)]
26. Francis J.T., Song W. Neuroplasticity of the sensorimotor cortex during learning. *Neural Plasticity*. 2011; 2011: 310737. <https://doi.org/10.1155/2011/310737>

27. Костенко Е.В. Нейропластичность — основа современной концепции нейрореабилитации. Медицинский алфавит. 2016; 14(2): 5–11. [Kostenko E.V. Neuroplasticity as basis for modern concepts of neurorehabilitation. Medical Alphabet. 2016; 14(2): 5–11. (In Russ.)]
28. Wu H., Yan H., Yang Y., et al. Occupational Neuroplasticity in the Human Brain: A Critical Review and Meta-Analysis of Neuroimaging Studies. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2020; 14: 215. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00215>
29. Дамулин И.В., Екушева Е.В. Клиническое значение феномена нейропластичности при ишемическом инсульте. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2016; 10(1): 57–64. [Damulin I.V., Ekusheva E.V. A clinical value of neuroplasticity in ischemic stroke. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2016; 10(1): 57–64 (In Russ.)]
30. Амамчян А.Э., Гафиятуллина Г.Ш. Нейропластичность как основа двигательной реабилитации. *Медицинский вестник Юга России*. 2023; 14(4): 122–128. <https://doi.org/10.21886/2219-8075-2023-14-4-122-128> [Amamchyan A.E., Gafiyatullina G.Sh. Neuroplasticity as the basis of motor rehabilitation. *Medical Herald of the South of Russia*. 2023; 14(4): 122–128. <https://doi.org/10.21886/2219-8075-2023-14-4-122-128> (In Russ.)]
31. Вассерман Л.И., Иовлев Б.В., Карпова Э.Б. и др. Психологическая диагностика отношения к болезни: пособие для врачей. Санкт-Петербургский научно-исследовательский психоневрологический институт им. В.М. Бехтерева, 2005. 33 с. [Vasserman L.I., Iovlev B.V., Karpova E.B. i dr. *Psikhologicheskaya diagnostika otnosheniya k bolezni: posobie dlya vrachej*. Sankt-Peterburgskij nauchno-issledovatel'skij psihonevrologicheskij institut im. V.M. Bekhtereva, 2005. 33 p. (In Russ.)]
32. Vergunov E.G. Nikolaeva E.I., Balioz N.V., et al. Lateral preferences as the possible phenotypic predictors of the reserves of the cardiovascular system and the features of sensorimotor integration in climbers. *Human physiology*. 2018; 44(3): 320–329. <https://doi.org/10.1134/S0362119718030143>
33. Корнеев А.А., Кричевец А.Н. Условия применимости критериев Стьюдента и Манна–Уитни. *Психологический журнал*. 2011; 32(1): 97–110. [Korneev A., Krichevets A. Conditions for Student T-Test and Mann-Whitney U-Test. *Psikhologicheskii zhurnal*. 2011; 32(1): 97–110 (In Russ.)]
34. Вассерман Л.И., Трифонова Е.А., Щелкова О.Ю. Эмоционально-личностные факторы формирования отношения к болезни у больных сахарным диабетом 1-го типа. *Проблемы Эндокринологии*. 2006; 52(1): 6–10. [Wasserman L.I., Trifonova E.A., Shchelkovo O.Yu. Affective and personal determinants of formation of an attitude towards the disease in patients with type 1 diabetes mellitus. *Problems of Endocrinology*. 2006; 52(1): 6–10 (In Russ.)]
35. Мотовилин О.Г., Шишкова Ю.А., Дивисенко С.И. и др. Психологические эффекты достижения компенсации сахарного диабета 1-го типа у пациентов молодого возраста. *Сахарный диабет*. 2010; 13(1): 66–76. <https://doi.org/10.14341/2072-0351-6019> [Motovilin O.G., Shishkova Yu.A., Divisenko S.I., et al. Psychological aspects of glycemic control in young patients with type 1 diabetes. *Diabetes Mellitus*. 2010; 13(1): 66–76. <https://doi.org/10.14341/2072-0351-6019> (In Russ.)]
36. Zahra R., Baig KB., Sadiq U. Illness acceptance, diabetes specific distress and quality of life in adolescents with type 1 diabetes mellitus. *Pakistan Journal of Physiology*. 2020; 16: 37–40.
37. Awonug M.A., Olapegba P.O., Uye E.E. Social Support, Health Locus of Control and Psychological Acceptance as Predictors of Perceived Quality of Life among Diabetic Patients. *Nigerian Psychological Research*. 2022; 7 (1): 28–39.
38. Kaelberer C., Tanenbaum M. The Promising Role of Self-Compassion in Managing Type 1 Diabetes. *Endocrines*. 2023; 4: 293–311. <https://doi.org/10.3390/endocrines4020024>
39. Voils C.I., Steffens D.C., Flint E.P., Bosworth H.B. Social support and locus of control as predictors of adherence to antidepressant medication in an elderly population. *The American journal of geriatric psychiatry*. 2005; 13(2): 157–165. <https://doi.org/10.1176/appi.ajgp.13.2.157>
40. Мотовилин О.Г., Луныкина О.В., Суркова Е.В. и др. Отношение к болезни пациентов с сахарным диабетом 1-го и 2-го типа. *Сахарный диабет*. 2012; 15(4): 51–58. <https://doi.org/10.14341/2072-0351-5538> [Motovilin O.G., Lunyakina O.V., Surkova E.V., et al. Attitudes in patients with diabetes mellitus type 1 and type 2. *Diabetes mellitus*. 2012; 15(4): 51–58. <https://doi.org/10.14341/2072-0351-5538> (In Russ.)]
41. Вергунов Е.Г., Николаева Е.И. Оценка психофизиологической стоимости креативности в междисциплинарных исследованиях. *Вестник психофизиологии*. 2014; 1: 74–82. [Vergounov E.G., Nikolaeva E.I. The assessment of the creativity's psychophysiological value in interdisciplinary research. *Psychophysiology News*. 2014; 1: 74–82 (In Russ.)]
42. Zysset A.E., Kakebeeke T.N., Messerli-Bürgy N., et al. Predictors of Executive Functions in Preschoolers: Findings from the SPLASHY Study. *Frontiers in Psychology*. 2018; 9: 2060. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02060>
43. Nelson T.D., Nelson J.M., Mason W.A., et al. Executive Control and Adolescent Health: Toward A Conceptual Framework. *Adolescent Research Review*. 2019; 4: 31–43. <https://doi.org/10.1007/s40894-018-0094-3>
44. Разумникова О.М., Николаева Е.И. Тормозные функции мозга и возрастные особенности организации когнитивной деятельности. *Успехи физиологических наук*. 2019; 50(1): 75–89. <https://doi.org/10.1134/S0301179819010090> [Razumnikova O.M., Nikolaeva E.I. Inhibitory Brain Functions and Age-Associated Specificities in Organization of Cognitive Activity. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*. 2019; 50(1): 75–89. <https://doi.org/10.1134/S0301179819010090> (In Russ.)]
45. Shulman G.L., Fiez J.A., Corbetta M., et al. Common blood flow changes across visual tasks: II: decreases in cerebral cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1997; 9: 648–663. <https://doi.org/10.1162/jocn.1997.9.5.648>
46. Andrews-Hanna J.R. The brain's default network and its adaptive role in internal mentation. *The Neuroscientist*. 2012; 18(3): 251–270. <https://doi.org/10.1177/1073858411403316>
47. Beaty R.E., Chen Q., Christensen A.P., et al. Brain networks of the imaginative mind. Dynamic functional connectivity of default and cognitive control networks relates to openness to experience. *Human Brain Mapping*. 2018; 39: 811–821.
48. Bertossi E., Ciarraelli E. Ventromedial prefrontal damage reduces mind-wandering and biases its temporal focus. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2016; 11(11): 1783–1791. <https://doi.org/10.1093/scan/nsw099>
49. Фейгенберг И.М. Быстрота моторной реакции и вероятностное прогнозирование. *Физиология человека*. 2008; 34(5): 51–62. [Feigenberg I.M. Speed of Motor Reaction and Probabilistic Forecasting. *Human Physiology*. 2008; 34(5): 51–62 (In Russ.)]
50. Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., Депутат И.С. Сенсомоторные реакции в психофизиологических исследованиях (обзор). *Журнал медико-биологических исследований*. 2015; 1: 38–48. [Nekhoroshkova A.N., Griбанov A.V., Deputat I.S. Sensorimotor Reactions in Psychophysiological Studies (Review). *Journal of Medical and Biological Research*. 2015; 1: 38–48 (In Russ.)]
51. Nikolaeva E.I., Shirokova I.V., Vergunov E.G. The ratio of working memory and parameters of sensorimotor integration in the go-go paradigm in children 7–8 years old. *International Journal of Psychophysiology*. 2018; 131(S): 561. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.07.182>
52. Гусев Е.И., Боголепова А.Н. Роль процессов нейропластичности в развитии депрессивных расстройств. *Трудный пациент*. 2010; 8(10): 11–16. [Gusev E.I., Bogolepova A.N. The role of neuroplasticity processes in the development of depressive disorders. *Difficult Patient*. 2010; 8(10): 11–16 (In Russ.)]
53. Гуляева Н.В. Молекулярные механизмы нейропластичности: расширяющаяся вселенная. *Биохимия*. 2017; 82(3): 237–242. <https://doi.org/10.1134/S0006297917030014> [Gulyaeva N.V. Molecular mechanisms of neuroplasticity: an expanding universe. *Biochemistry (Moscow)*. 2017; 82(3): 237–242. <https://doi.org/10.1134/S0006297917030014> (In Russ.)]
54. Kempermann G., Kuhn H.G., Gage F.H. More hippocampal neurons in adult mice living in an enriched environment. *Nature*. 1997; 386(6624): 493–495. <https://doi.org/10.1038/386493a0>

55. Rampon C., Jiang C.H., Dong H., et al. Effects of environmental enrichment on gene expression in the brain. *The Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2000; 97(23):12880–12884.
56. Shors T.J., Miesegaes G., Beylin A., et al. Neurogenesis in the adult is involved in the formation of trace memories. *Nature*. 2001; 410(6826): 372–376. <https://doi.org/10.1038/35066584>
57. Jankowsky J.L., Melnikova T., Fadale D.J., et al. Environmental enrichment mitigates cognitive deficits in a mouse model of Alzheimer's disease. *Journal of Neuroscience*. 2005; 25(21): 5217–5224. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5080-04.2005>
58. Qin P., Northoff G. How is our self-related to midline regions and the default-mode network? *NeuroImage*. 2011; 57(3): 1221–1233. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.05.028>
59. Omu O., Reynolds F. Religious faith and self-efficacy among stroke patients in Kuwait: health professionals' views. *Disability and Rehabilitation*, 2014; 36(18): 1529–1535. <https://doi.org/10.3109/09638288.2014.892641>
60. Савельева Ж.В. «Здоровье» и «Болезнь» в интерпретативных моделях ислама и православия. *Социально-гуманитарные знания*. 2010; 5: 274–287. [Savelyeva Z.V. «Health» and «Illness» in the Interpretative Models of Islam and Orthodox Church. *Social and humanitarian knowledge*. 2010; 5: 274–287 (In Russ.)]
61. Alves R., Alves H., Barboza R., et al. The influence of religiosity on health. *Ciência & saúde coletiva*. 2010; 15(4): 2105–2111. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232010000400024>
62. Koenig H.G., Larson D.B., Larson S.S. Religion and coping with serious medical illness. *Annals of Pharmacotherapy*. 2001; 35(3): 352–359. <https://doi.org/10.1345/aph.10215>

Original article / Оригинальная статья

UDC: 616-056.52

DOI: <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-32-39>

Non-Invasive Laser Therapy Effect on Lipid Profile and Renal Function in Metabolic Syndrome: Randomized Control Trial

 Toka S. Abd El-sabour^{1,*},  Nagwa H. Badr¹,  Fatma A. Attia²,  Rana H.M. Elbanna¹

¹ Department of Cardiovascular, Respiratory Disorders, and Geriatrics, Faculty of Physical Therapy, Cairo University, Giza, Egypt

² Faculty of Medicine for Girls, Al-Azhar University, Cairo University, Giza, Egypt

ABSTRACT

INTRODUCTION. Metabolic syndrome (MetS) represents an assortment of interconnected metabolic risk factors, particularly central obesity, dyslipidemia, and hyperglycemia. These variables have a detrimental impact on renal function and contribute to increased mortality. This timeline necessitates a prompt approach that enables the deployment of safe and non-intrusive therapeutic equipment in conjunction with therapy for MetS patients. Accordingly, we aim to investigate whether using a low-level laser (LLL) watch device as a non-invasive instrument enhances multiple metabolic parameters, so it may be a practical therapeutic approach for managing metabolic disorders.

AIM. To investigate the effect of non-invasive laser therapy on parameters of lipid profile and renal function in patients with metabolic syndrome.

MATERIALS AND METHODS. This study enrolled 40 MetS patients of both genders aged 45–65 years. The study group received a 12-week treatment consisting of oral hypoglycemic medication and LLL therapy (LLLT), which involved three weekly sessions performed in the morning, targeting the wrist area using a continual output diode laser (skin contact mode, maximum power: 0.005 W, beam spot area: 0.03 cm², energy density: 288 J/cm³, and radiation time: 1800 s). The control group only received hypoglycemia medications. Laboratory lipid profile and renal function measurements were conducted prior to and following the trial.

RESULTS. Following a 12-week laser watch therapy, the results revealed a significant decline in total cholesterol (TC), triglycerides (TG), and low-density lipoprotein (LDL) levels and an increase in high-density lipoprotein (HDL) levels, which was slightly improved in the control ($p < 0.00$). Moreover, glomerular filtration rate (GFR) and creatinine levels were significantly improved, while the control group did not experience any significant improvement ($p > 0.5$).

DISCUSSION. Combining non-invasive laser therapy with hypoglycemic medications significantly improved the lipid profile in patients with MetS; however, kidney function, like GFR and creatinine levels, was enhanced. Furthermore, lower TC and TG levels might be due to the reduction of glycation and promoted LDL receptors which increased LDL catabolism.

CONCLUSION. Non-invasive laser therapy enhances lipid profile and renal function in MetS patients. Furthermore, the control group had a minimal effect on the lipid profile and no effect on renal function.

REGISTRATION: ClinicalTrials.gov identifier: NCT06193746; registered January 4, 2024.

KEYWORDS: laser watch, mets, dyslipidemia, hyperglycemia, renal function.

For citation: Abd El-sabour T.S., Badr N.H., Attia F.A., Elbanna R.H.M. Non-Invasive Laser Therapy Effect on Lipid Profile and Renal Function in Metabolic Syndrome: Randomized Control Trial. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):32-39. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-32-39>

* **For correspondence:** Toka Salah Abd El-sabour, E-mail: toka.salahh@gmail.com

Received: 27.12.2023

Accepted: 05.03.2024

Published: 17.06.2024

Влияние неинвазивной лазерной терапии на липидный профиль и функцию почек при метаболическом синдроме: рандомизированное контрольное исследование

 Абд Эль-Сабур Т.С.^{1,*},  Бадр Н.Х.¹,  Аattia Ф.А.²,  Эльбанна Р.Х.М.¹

¹ Кафедра сердечно-сосудистых, респираторных заболеваний и гериатрии, факультет физической терапии, Каирский университет, Гиза, Египет

² Медицинский факультет для девочек, Университет Аль-Азхар, Каирский университет, Гиза, Египет

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Метаболический синдром (MetS) представляет собой совокупность взаимосвязанных метаболических факторов риска, в частности, центрального ожирения, дислипидемии и гипергликемии. Эти факторы оказывают пагубное влияние на функцию почек и способствуют повышению смертности, что требует оперативного подхода, позволяющего использование безопасного и неинтрузивного медицинского оборудования в сочетании с терапией для пациентов с MetS. Соответственно, мы поставили перед собой цель изучить, влияет ли использование низкочастотных лазерных терапевтических часов в качестве неинвазивного инструмента на улучшение многочисленных метаболических параметров.

ЦЕЛЬ. Изучить влияние неинвазивной лазерной терапии на показатели липидного профиля и функции почек у пациентов с метаболическим синдромом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В исследовании приняли участие 40 пациентов с метаболическим синдромом обоих полов в возрасте 45–65 лет. Исследуемая группа получала 12-недельный курс лечения, состоящий из пероральных сахароснижающих препаратов и низкочастотной лазерной терапии (НЛТ), который включал три еженедельных утренних сеанса путем воздействия на область запястья с помощью диодного лазера непрерывного действия (режим контакта с кожей, максимальная мощность: 0,005 Вт, площадь пятна луча: 0,03 см², энергия плотность: 288 Дж/см³, время облучения: 1800 с). Контрольная группа получала только препараты для лечения гипогликемии. Лабораторные исследования липидного профиля и функции почек проводились до и после исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ. После 12-недельной терапии с использованием лазерных терапевтических часов результаты показали значительное снижение уровня общего холестерина, триглицеридов и липопротеидов низкой плотности, а также повышение уровня липопротеидов высокой плотности, который был незначительно лучше в группе контроля ($p < 0,00$). Кроме того, уровень гломерулярной фильтрации и уровень креатинина были значительно снижены, в то время как в контрольной группе не наблюдалось какого-либо существенного улучшения ($p > 0,5$).

ОБСУЖДЕНИЕ. Сочетание неинвазивной лазерной терапии с гипогликемическими препаратами значительно улучшило липидный профиль у пациентов с метастазами, однако показатели функции почек, такие как уровень гломерулярной фильтрации и уровень креатинина, были улучшены. Кроме того, снижение уровней холестерина и триглицеридов может быть связано со снижением активности рецепторов липопротеидов низкой плотности, способствующих гликированию, что усиливает катаболизм липопротеидов низкой плотности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Неинвазивная лазерная терапия улучшает липидный профиль и функцию почек у пациентов с MetS. Кроме того, в контрольной группе наблюдалось минимальное влияние на липидный профиль и отсутствие влияния на функцию почек.

РЕГИСТРАЦИЯ: Идентификатор ClinicalTrials.gov: NCT06193746, зарегистрировано 4 января 2024 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: низкоуровневые лазерные часы, MetS, дислипидемия, гипергликемия, функция почек.

Для цитирования: Abd El-sabour T.S., Badr N.H., Attia F.A., Elbanna R.H.M. Non-Invasive Laser Therapy Effect on Lipid Profile and Renal Function in Metabolic Syndrome: Randomized Control Trial. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):32-39. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-32-39>

* **Для корреспонденции:** Toka S. Abd El-sabour, E-mail: toka.salahh@gmail.com

Статья получена: 27.12.2023
Статья принята к печати: 05.03.2024
Статья опубликована: 17.06.2024

INTRODUCTION

Metabolic syndrome (MetS), often known as X syndrome, refers to a grouping of different metabolic risk factors rather than a pathological condition. These risk factors have the potential to significantly elevate the occurrence of dyslipidemia and chronic kidney disease (CKD). The documented occurrence of MetS differs based on the study group's age, gender, ethnic background, and socioeconomic status. Moreover, MetS has been

unequivocally shown in clinical and epidemiological research to originate from central obesity. Due to a substantial worldwide rise in obesity rates throughout the past three decades, MetS prevalence has been considerably increased [1]

Among the Egyptian population, different rates of MetS prevalence in adults have been observed when using different definitions. These rates were as follows: 43.8 % according to the American Heart Association definition,

42.5 % in accordance with the National Cholesterol Education Program (NCEP) Adult Treatment Panel (ATP) III definition, 44.3 % according to the International Diabetes Federation (IDF) definition, 33.8 % according to the IDF definition with Egyptian cutoffs, and 41.5 % according to the Joint Interim Statement (JIS) definition with Egyptian cutoffs. Significantly, there is a lack of uniformity in the precision of distinct definitions used for MetS diagnosis. For instance, the JIS definition, which incorporates an Egyptian cutoff, has been suggested as the most appropriate method for identifying MetS in Egyptians. This recommendation is due to the outdated nature of the IDF definition, dating back to 2005, which employs European cutoffs for MetS characteristics. Consequently, the IDF definition is impractical for use in clinical practice [2]. The global MetS prevalence is 12.5–31.4 % depending on the criterion used. The Americas and the Eastern Mediterranean region had far higher prevalence rates, which rose with national affluence [3]. The ATP III criteria of the NCEP considered MetS as the second major target for cardiovascular disease (CVD) (prevention, as it was discovered that patients with MetS have a higher risk of developing CVD in the next 5–10 years than those without MetS and patients with CVD and MetS had an increased risk of all-cause death. Accordingly, MetS will decline physical health and quality of life, besides negatively impacting psychological health [4].

Biological structures undergo photochemical reactions when exposed to light. Photoreceptors convert light into electrical impulses, which are transmitted to the parts of the brain responsible for processing visual information. Near-infrared light transillumination (NILT) is a form of phototherapy that has demonstrated advantageous effects. Photobiomodulation (PBM), often referred to as low-level laser treatment (LLLT), is proposed as a safe, non-invasive, and devoid-of-adverse effects technique, particularly suitable for vulnerable groups. Additionally, it mitigates inflammation, pain, and edema while facilitating wound, deep tissue, and nerve healing and preventing tissue damage [5]. Monochromaticity, directionality, spatial and temporal coherence, and brightness are the defining features of a laser, an energy-emitting device with a power output of 0.00–0.1 W. Some mammalian cells, such as cytochrome c oxidase, are positively affected by visible light owing to its Near Infrared (NIR) absorption peaks. This light reduces tissue hypoxia, enhances oxygenation, and promotes improved tissue metabolism. The mitochondria are regarded to be a possible location for the fundamental effects of light, resulting in heightened ATP synthesis. Consequently, these effects result in heightened cellular proliferation and migration, mainly exhibited by fibroblasts [6]. Additionally, LLLT has the potential to effectively treat renal fibrosis, lower blood pressure, enhance glomerular filtration rate, and reduce the buildup of collagen fibers in individuals with type 2 diabetes (T2DM), dyslipidemia, and hypertension. The LLLT can enhance sodium-potassium activity, catalysis, and sodium-potassium ATPase activity. Moreover, LLLT can be utilized to facilitate the recovery and restoration of musculoskeletal injuries through diminishing inflammation, enhancing proangiogenic activity, and promoting epithelial cell migration and proliferation [7].

Accordingly, we reinforce this concept in our study by utilizing the laser watch, the latest innovation in laser therapy. This treatment involves the application of laser beams directly on the wrist, which allows for continuous transcutaneous blood irradiation. As a result, it has emerged as a novel therapeutic approach for treating a wide range of disorders.

AIM

To investigate the effect of non-invasive laser therapy on parameters of lipid profile and renal function in patients with metabolic syndrome.

MATERIALS AND METHODS

This double-blinded, randomized-controlled trial was performed from April 2023 to October 2023, with a register number of NCT06193746 on clinicaltrials.gov. Before participation, participants received an explanation of the purpose, potential risks, and expected advantages of the study and signed an informed consent. The Faculty of Physical Therapy Cairo University's Ethical Committee approved this study (No: P.T.REC/012/004441). The study included 40 patients aged 45–65 years who were clinically stable and had been diagnosed with MetS accompanied by dyslipidemia and renal dysfunction and hadn't been receiving statins but they took hypoglycemic medication for over a year and not receiving. Participants were recruited from Berket El Haj Medical Center and had a comprehensive checkup before the research started. Herein, we randomly and equally ($n = 20$) divided the patients into the study group that received LLLT on the wrist for 3 sessions/week/12 weeks in addition to hypoglycemic medications, as well as that the control group only had hypoglycemic medications. To conduct the randomization process, an impartial colleague, who was unaware of the study and had no participation in it, extracted opaque, sealed envelopes from a container and randomly assigned each envelope with a group description.

Participants who do not meet any of the following exclusion criteria were excluded: using specific medications (corticosteroids or diuretics) that could potentially affect the accuracy of the test results or have an impact on blood cholesterol and weight; having CVD (congestive heart failure, unstable angina, severe hypotension or hypertension, myocardial infarction, and arrhythmias), severe autonomic neuropathy, and liver or renal failure, as these conditions could influence the photosensitivity reaction; experiencing an active response to treatment; having an infection in the laser treatment area, such as a wound, burn, allergy, or another external injury; being a smoker or alcoholic; having hypothyroidism; having hemorrhagic diseases, anemia, or a cancer history; being pregnant, breastfeeding, or planning to become pregnant prior to the study completion; having mental disorders including dementia or schizophrenia.

Evaluation of Eligibility

The trial enrolled 45 patients; during the evaluation, 5 individuals were excluded: 3 did not meet the inclusion criteria, and the remaining 2 voluntarily withdrew their participation from the study.

Outcome Measurement

After obtaining initial measures of body weight, height, and waist circumference (WC), we calculated the body mass index (BMI) as follows:

$$\text{BMI} = \text{Weight (kg)} / \text{Height (m}^2\text{)}.$$

Laboratory Measurements

The renal function and lipid profiles of both groups were assessed using the Devia 1800 chemistry system (siemens-healthineers, Germany) before and after the 12-week trial. The assessments were conducted at ROYAL LABS laboratories.

Lipid Profile Blood Test

Participants must undergo a fasting period of 9–12 hours before the test, during which they are only allowed to consume water. After the needle was inserted, a small amount of blood was collected in a sterile vial or syringe. A lipid panel was used to examine four lipid types in a blood sample: high-density lipoprotein (HDL; < 50 mg/dL), low-density lipoprotein (LDL; > 130 mg/dL), triglycerides (TG; > 150 mg/dL), and total cholesterol (TC; > 200 mg/dL).

Kidney Function Test

This test was conducted to assess renal function directly by measuring the glomerular filtration rate (GFR), ideally between 90 mL/min/1.73m². The creatinine levels should also be within the range of 0.60–1.4. Fasting was unnecessary for the test, and blood samples were obtained using a hollow needle implanted into the arm vein. The blood was collected and transferred into a test tube for analysis.

LLLT

The laser watch device utilizes a semiconductor LLL equipment (model: BS-W11, Hubei Boshi Co. Ltd., China), which provides ten separate laser beams utilized to target the radial and ulnar arteries at the wrist site using transcutaneous means (extra-vascular blood irradiation). The LLLT was administered for 30 min every session, 3 times a week, for 12 weeks [8]. This precautionary measure was taken based on previous studies that have shown that laser irradiation can enhance the process of intestinal absorption. Experts in medical devices from Cairo University's National Institute of Laser Enhanced Sciences (Egypt) evaluated and inspected the collimation, coherence, and monochromatic gadget. Table 1 summarizes the specifications and features of the used laser equipment [8].

Statistical Analysis

The statistical analysis was conducted through SPSS version 25 for Windows (IBM SPSS, Chicago, IL, USA). Unpaired t-test and chi-squared test were performed to compare subject characteristics as well as sex distribution between groups, respectively. The data was assessed for normal distribution using the Shapiro-Wilk test while deploying Levene's test to assess variance homogeneity among the groups. A Mixed MANOVA was used for determining the treatment effect on TC, TG, HDL, LDL, GFR, and creatinine levels. Post-hoc tests were conducted to compare multiple groups, using the Bonferroni correction for subsequent multiple comparisons. $p < 0.05$ indicated a significant difference.

Table 1. The application parameters and characteristics of laser watch radiation [8]

Parameters	Value
Site of applications	At wrist of the non-dominant hand to prevent interference with daily activities of the patients
Monochromatic wavelength, nm	650
Maximum power produced by a single laser output, W	0.005
A spot's diameter, cm	0.2
A spot's size, cm ²	0.03
Power density, w/cm ²	0.16
Radiation time, s	1800
Energy density, J/cm ²	288
Energy, J	8.64
Mode for terminal laser output	Continuous
Session Duration	Thirty minutes
Laser beams numbers	Ten
Time	Patients need to fast four hours in the morning prior to the session to prevent rise in blood sugar levels
Total duration of treatment	Three times a week for 12 consecutive weeks
Type of beam	(Red) infrared laser light
Instability of the terminal laser output	± Ten percentage
Mode of display	Liquid crystal display
Safety class	3R-class laser product, internally powered supply Apparatus

RESULTS

Data was obtained from 40 MetS patients with dyslipidemia and renal impairment who had finished the research. Figure 1 illustrates recruitment, exclusion, assessment, and intervention.

Subject Characteristics

The results revealed a non-significant difference between groups in age, BMI, and sex distribution ($p > 0.05$; Table 2).

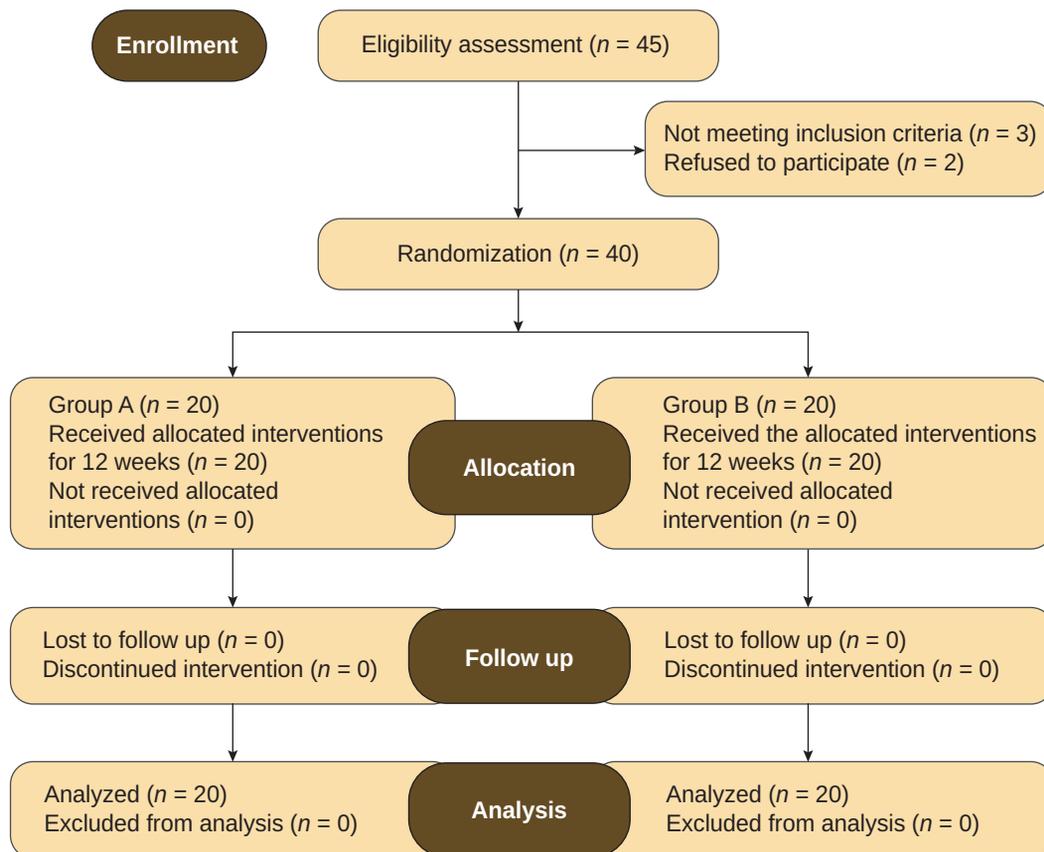


Fig. 1. Flow chart of the study

Table 2. Subject characteristics of both groups

Parameter	Study group Mean ± SD	Control group Mean ± SD	MD	t-value	p-value
Age, years	53.80 ± 4.82	54.55 ± 5.29	-0.75	-0.46	0.64
BMI, kg/m ²	32.95 ± 1.17	32.45 ± 1.21	0.5	1.35	0.18
Sex, n (%)					
Females	18 (90 %)	16 (80 %)		(χ ² = 0.78)	0.37
Males	2 (10 %)	4 (20 %)			

Note: SD — standard deviation; MD — mean difference; p-value — probability value; χ² — Chi squared value.

Effect of Treatment on TC, TG, HDL, LDL, GFR and Creatinine

The results of the Mixed MANOVA indicated a significant interaction between treatment and time ($F = 24.31, p = 0.001$). The treatment had a non-significant main impact ($F = 2.26, p = 0.06$). The finding demonstrated a significant main impact of time ($F = 193.56, p = 0.001$).

Within Group Comparison

Both groups experienced significantly reduced TC, TG, and LDL levels and increased HDL levels post-treatment compared with their pre-treatment levels ($p > 0.001$, Table 3). The study group exhibited significantly lower GFR and creatinine levels post-treatment than pre-treatment ($p > 0.001$). In contrast, the control group showed a non-significant change ($p > 0.05$, Table 4).

Between-Group Comparison

The study group had a significant reduction in TC, TG, and LDL levels, as well as a significant increase in HDL levels, compared to the control group post-treatment ($p < 0.01$). The results revealed no significant disparity in GFR and creatinine levels between the groups post-treatment ($p > 0.05$, Table 3 and Table 4)

DISCUSSION

This study suggests that using non-invasive laser therapy for 36 sessions (3 sessions/week/12 weeks), combined with hypoglycemic medications, significantly affects total cholesterol, TG, and LDL cholesterol by reducing them and increasing HDL in MetS patients. However, kidney function, including GFR and creatinine levels, had an elevation in the study group, while the control group showed a non-

Table 3. Mean TC, TG, HDL, and LDL pre- and post-treatment of study and control groups

Parameter	Pre-treatment Mean ± SD	Post-treatment Mean ± SD	MD	% of change	p-value
TC, mg/dL					
Study group	200.70 ± 24.11	173.15 ± 21.24	27.55	13.73	0.001
Control group	206.60 ± 18.68	192.45 ± 19.58	14.15	6.85	0.001
MD	-5.9	-19.3			
	p = 0.39	p = 0.005			
TG, mg/dL					
Study group	168.50 ± 31.88	134.15 ± 26.44	34.35	20.39	0.001
Control group	172.15 ± 28.16	155.70 ± 24.68	16.45	9.56	0.001
MD	-3.65	-21.55			
	p = 0.70	p = 0.01			
HDL, mg/dL					
Study group	45.25 ± 5.91	50.20 ± 6.87	-4.95	10.94	0.001
Control group	44.25 ± 6.13	45.55 ± 6.41	-1.5	3.41	0.001
MD	1.2	4.65			
	p = 0.53	p = 0.03			
LDL, mg/dL					
Study group	122.65 ± 22.65	101.57 ± 12.08	21.08	17.19	0.001
Control group	124.50 ± 19.81	114.15 ± 16.63	10.35	8.31	0.001
MD	-1.85	-12.58			
	p = 0.78	p = 0.009			

Note: SD — standard deviation; MD — mean difference; p-value — probability value.

Table 4. Mean GFR and creatinine pre- and post-treatment of study and control groups

Parameter	Pre-treatment Mean ± SD	Post-treatment Mean ± SD	MD	% of change	p-value
GFR, mL/min					
Study group	99.45 ± 17.89	95.45 ± 14.27	4	4.02	0.004
Control group	98 ± 21.97	97.60 ± 18.79	0.4	0.41	0.76
MD	1.45	-2.15			
	p = 0.82	p = 0.68			
Creatinine, mg/dL					
Study group	0.69 ± 0.19	0.64 ± 0.21	0.05	7.25	0.001
Control group	0.67 ± 0.21	0.66 ± 0.24	0.01	1.49	0.25
MD	0.02	-0.02			
	p = 0.82	p = 0.74			

Note: SD — standard deviation; MD — mean difference; p-value — probability value.

significant difference. This agreed with Fares H.M et al. [9], who has found that a laser watch and hypoglycemic medications significantly reduce blood glucose levels and lipid profile measurement in T2DM patients, suggesting that it is safe and efficient to treat patients with T2DM and dyslipidemia by using a laser watch as an extra therapy in addition to the usual care. Our results corroborate the findings of Serry Z.M.H. et al. [10] that extra-vascular laser blood irradiation by laser watch reduces blood glucose levels, improving metabolic parameters by improving dyslipidemia.

Additionally, a meta-analysis [11] have indicated that intravenous laser treatment significantly decreases blood glucose levels in T2DM and may be used as an additional therapy, which is supported by our data. Improved blood glucose regulation has been shown to alleviate diabetes-related dyslipidemia partially [12]. Lower levels of TC and TG resulted from decreased glycation and enhanced LDL receptors, which increased LDL catabolism and decreased VLDL levels in diabetes mellitus. This might account for the improved lipid profile of the control group. Our results align with Melekhovets O. et al. [13], who has stated that ILIB lowers TG, TC, and LDL levels in individuals with hypothyroidism or dyslipidemia alone. Nevertheless, unlike in our study, where the laser watch was worn for 12 weeks, ILIB was only used for one month. Laser acupuncture and diet-exercise intervention have a modest positive effect on dyslipidemia in individuals with metabolic disorders [14]. This effect was achieved by reducing TG, LDL-C, and HDL-C levels. Nevertheless, laser acupuncture was more efficient than the diet-exercise intervention in reducing TC levels. Furthermore, Liu T.C.-Y. et al. [15] has observed that individuals with coronary heart disease or cerebral infarction who get intranasal laser treatment had better blood lipid profiles.

The study of Olban M. et al. [16] could explain this enhancement, as the lasers increase superoxide production and encourage lipid peroxidation. The heightened generation of reactive oxygen species (ROS) results in the degradation of lipids within the cellular membrane. Temporary holes made in the cell membrane allow lipids and fatty substances to reach the interstitial space, where they are removed by the lymphatic system. It might be explained by the likelihood that NILT alters the potential of the mitochondrial membrane and the intracellular redox state, which would raise the rate of ADP-ATP exchange. These modifications to the mitochondria may reduce cholesterol synthesis by altering the transcription factors required to express important genes involved in the biosynthesis pathway [17]. The study of Ahrabi B. et al. [7] agrees with our study as it has demonstrated that lasers can be useful in lowering ROS levels, fibrosis factors, and inflammatory reactions. Additionally, it can promote glomerular cell proliferation and anti-inflammatory responses.

The study of Ucero A.C. et al. [18] aligns with our study that lower NILT dosages were explored via dose (1.5 J cm^{-2}

fs, 3 mW each, for 4.25 min, five diode) applied on the skin (5 times per week for 8 weeks) on a CKD rat model which was indicative of the primary human causes of CKD, MetS-related T2DM. In addition to gradual renal failure, the ZSF1 rat strain exhibits obesity, hyperglycemia, dyslipidemia, and hypertension. A higher overall health level might account for the absence of variations in plasma creatinine between groups. The primary source of creatinine is muscle mass, and maintaining muscular mass is linked to higher creatinine levels. Nonetheless, the study of Astuti S.D. et al. [19] has suggested that a significant impact on the quantity and caliber of granulation tissue was observed after the experiment duration. Administering a 650 nm laser with a dosage of 1 J daily performed on the acupuncture of the mice kidney can increase the effectiveness of treating diabetic rats in the early CKD stages. The findings explain the limited change shown in GFR in study group B, with no significant difference observed between the groups. Although the results were positive, the small number of participating patients limited the experiment. Subsequent investigations will require extended periods of observation and increased participant numbers.

The study of Mikhailov V. et al. [20] observed 205 type 2 diabetic patients with dyslipidemia who approved that the Combination of a visible red laser therapy (630 nm; output power at the fibre tip, 2 mW; exposure period, 15–30 min) in conjunction with antioxidant therapy (about 600 mg daily) for nine months have a positive effect on achieving the lipid normalising effect, there was a significant increase in the level of HDL-c and a decrease in LDL-c levels in the post-treatment. Simultaneously a significant decrease in total cholesterol was noted and triglycerides were either normal or within the upper normal limits. The LDL/HDL-c ratio was reduced by two-fold. the combined laser therapy was believed to help in decreasing the intake of hypolipidemic and lipotropic agents and improving MetS symptoms.

Limitation

Our investigation had several limitations. First, the extended follow-up period. Second, the specific inclusion criteria. Last, the small ample size. Therefore, we recommended further investigation utilizing a wide range of inclusion criteria and larger sample size.

CONCLUSION

Non-invasive laser therapy improves lipid profile and renal outcomes, which suggests that MetS with uncontrolled diabetes has improved. Moreover, non-invasive laser therapy can be an alternate treatment approach to be used in conjunction with medications. Additional research with bigger sample sizes must assess the long-term consequences of non-invasive laser therapy and its impact on individuals undergoing renal dialysis.

ADDITIONAL INFORMATION

Toka S. Abd El-sabour, Bachelor's Degree in Physical Therapy, Department of Cardiovascular, Respiratory Disorders, and Geriatrics, Faculty of Physical Therapy, Cairo University.

E-mail: toka.salahh@gmail.com;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2034-7269>

Nagwa H. Badr, Professor of Physical Therapy, Department of Cardiovascular, Respiratory Disorders, and Geriatrics, Faculty of Physical Therapy, Cairo University.

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

Fatma A. Attia, Professor of Internal Medicine, Faculty of Medicine for Girls, Al Azhar University.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9215-7418>

Rana H.M. Elbanna, Lecturer of physical therapy, Department of Cardiovascular Disorders and Geriatrics, Faculty of Physical Therapy, Cairo University.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6116-8320>

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: Abd El-sabour T.S. — Writing, Original Draft; Badr N.H. — Supervision; Attia F.A. — Supervision; Elbanna R.H.M. — Validation Resources 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.

Acknowledgements. Lecturers and professors of the Faculty of Physical Therapy, Cairo University, Cairo, Egypt, for their great comments and editing; lecturer Dr. Sobhy for statistical data analysis; lecturer Dr. Alaa for his support in editing and plagiarism. Finally, Rana H.E., lecturer at the Faculty of Physical Therapy, Cairo University, Cairo, Egypt, for critical comments on the final version of the manuscript.

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 Local Ethics Committee of the Faculty of Physical Therapy Cairo University, Egypt, Protocol No P.T.REC/012/004441 dated February 2, 2023.

Data Access Statement. Data supporting the findings of this study are publicly available. Registration: Clinicaltrials.gov, No NCT06193746. Registered January 4, 2024.

References

- Wang H.H., Lee D.K., Liu M., et al. Novel insights into the pathogenesis and management of the metabolic syndrome. *Pediatric gastroenterology, hepatology & nutrition*. 2020; 23(3): 189–230. <https://doi.org/10.5223/pghn.2020.23.3.189>
- Al-Mendalawi M.D. Association of new obesity indices: visceral adiposity index and body adiposity index, with metabolic syndrome parameters in obese patients with or without type 2 diabetes mellitus. *The Egyptian Journal of Internal Medicine* 2021; 33(1). <https://doi.org/10.1186/s43162-020-00030-z>
- Noubiap J.J., Nansseu J.R., Lontchi-Yimagou E., et al. Geographic distribution of metabolic syndrome and its components in the general adult population: A meta-analysis of global data from 28 million individuals. *Diabetes research and clinical practice*, 2022; 188: 109924. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2022.109924>
- Reaven G.M. Insulin Resistance, Cardiovascular Disease, and the Metabolic Syndrome: How well do the emperor's clothes fit? *Diabetes Care*. 2004; 27(4): 1011–1012. <https://doi.org/10.2337/diacare.27.4.1011>
- Elbanna R.H.M., Mogahed H., Zahran M., Mohamed E. The effect of photobiomodulation versus placebo on functional capacity and fatigability in post COVID-19 elderly. *Advances in Rehabilitation*. 2022; 36(3): 19–25. <https://doi.org/10.5114/areh.2022.119900>
- Farivar S., Malekshahabi T., Shiari R. Biological effects of low level laser therapy. *Journal of lasers in medical sciences*. 2014; 5(2): 58–62.
- Ahrabi B., Bahrami M., Moghadasali R., et al. The Effect of Low-Power Laser Therapy on the TGF/β Signaling Pathway in Chronic Kidney Disease: A Review. *Journal of lasers in medical sciences*. 2020; 11(2): 220–225. <https://doi.org/10.34172/jlms.2020.36>
- Litscher G., Litscher D. A Laser Watch for Simultaneous Laser Blood Irradiation and Laser Acupuncture at the Wrist. *Integrative Medicine International*. 2016; 3(1–2): 75–81. <https://doi.org/10.1159/000448099>
- Fares H.M., Abd El-Monaem H.A.E-M, Abdel A., et al. Effect of Photo-Bio modulation on lipid profile in Patients with type 2 diabetes mellitus: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology*. 2023; 30: 78–87. <https://doi.org/10.47750/jptcp.2023.30.03.010>
- Serry Z.M.H., El-Khashab S.O., Abd El-Monaem H.A.E-M, Elrefaey B.H. Response of glycaemic control to extravascular low level laser therapy in type 2 diabetic patients: a randomized clinical trial. *Physiotherapy Quarterly*. 2021; 29(4): 42–48. <https://doi.org/10.5114/pq.2021.105752>
- Kazemikhoo N., Ansari F., Nilforoush-zadeh. The Hypoglycemic Effect of Intravenous Laser Therapy in Diabetic Mellitus Type 2 Patients; A Systematic Review and Meta-analyses. *Medical & Clinical Reviews*. 2015; 1: 7. <https://doi.org/10.21767/2471-299X.1000007>
- Maahs D.M., Ogden L.G., Dabelea D., et al. Association of glycaemia with lipids in adults with type 1 diabetes: Modification by dyslipidaemia medication. *Diabetologia*. 2010; 53: 2518–2525. <https://doi.org/10.1007/s00125-010-1886-6>
- Melekhovets O., Smiianov Y., Rudenko L., et al. Efficiency of the Intravenous Laser Therapy in Metabolic Disorders Correction. *Acta Balneologica*. 2017; 59.
- El-Mekawy H.S., ElDeeb A.M., Ghareib H.O. Effect of laser acupuncture combined with a diet-exercise intervention on metabolic syndrome in post-menopausal women. *Journal of Advanced Research*. 2015; 6(5): 757–763. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2014.08.002>
- Liu T.C.-Y., Cheng L., Su W.J., et al. Randomized, double-blind, and placebo-controlled clinic report of intranasal low-intensity laser therapy on vascular diseases. *International Journal of Photoenergy*. 2012; 2012: 489713. <https://doi.org/10.1155/2012/489713>
- Olban M., Wachowicz B.X., Koter M., Bryszewska M. The biostimulatory effect of red laser irradiation on pig blood platelet function. *Cell Biology International*. 1998; 22(3): 245–248. <https://doi.org/10.1006/cbir.1998.0251>
- Tarek Ali R. Effect of low-level laser therapy on cholesterol and triglyceride serum levels in ICU patients: a controlled, randomized study. 2010; 95–99.
- Ucero A.C., Sabban B., Benito-Martin A., et al. Laser therapy in metabolic syndrome-related kidney injury. *Photochem Photobiol*. 2013; 89(4): 953–960. <https://doi.org/10.1111/php.12055>
- Astuti SD, Prasaja BI, Prijo TA. An in vivo photodynamic therapy with diode laser to cell activation of kidney dysfunction. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017; 853. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/853/1/012038>
- Mikhailov V. Development and clinical applications of intravenous laser blood irradiation (ILBI). *Laser Therapy*. 2009; 18(2): 69–83. <https://doi.org/10.5978/islm.18.69>

Обзорная статья / Review

УДК: 616-005.93, 616-089-06

DOI: <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-40-51>

Новые немедикаментозные технологии при лимфедеме, связанной с раком груди: обзор литературы

id Апханова Т.В.*, id Кончугова Т.В., id Кульчицкая Д.Б., id Юрова О.В., id Стяжкина Е.М., id Марфина Т.В., id Агасаров Л.Г., id Васильева В.А., id Березкина Е.С.

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

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Лимфедема, связанная с раком груди (ЛСРГ) (Breast Cancer-Related Lymphedema, BCRL), — одно из наиболее частых осложнений после радикального лечения рака молочной железы (РМЖ). Особенностью течения ЛСРГ на поздних стадиях является резистентность к лечению и трудности контроля за отеками. В настоящее время отсутствуют молекулярные терапевтические мишени, фармакологическое воздействие на которые могло бы предотвратить возникновение отеков, в связи с чем необходимо изучить эффективность немедикаментозных технологий.

ЦЕЛЬ. Изучение эффективности немедикаментозных технологий при ЛСРГ для разработки рекомендаций по их практическому применению на основе анализа систематических обзоров и метаанализов рандомизированных контролируемых исследований (РКИ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Поиск проводился в базе данных по доказательной физиотерапии (PEDro) по ключевым словам: «лимфедема», «верхние конечности», «рак груди» с 2002 по 2024 г. Всего на март 2024 г. было отобрано 203 источника, из которых 54 составили систематические обзоры, 2 — Кокрановские обзоры, 1 — Клинические рекомендации (американского общества клинической онкологии), а также 146 РКИ (71,92 %).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В многочисленных исследованиях установлено, что применение ранних послеоперационных физических упражнений с постепенным расширением нагрузки под наблюдением инструктора по лечебной физкультуре (ЛФК) у пациентов с риском развития ЛСРГ — безопасный и эффективный метод реабилитации. Эффективность раннего профилактического применения мануального лимфодренажа (МЛД), по данным 4 РКИ, показана в Кокрановском обзоре, при этом клиническая эффективность раннего профилактического назначения МЛД, влияющая на риск ЛСРГ, все еще остается недостаточно доказанной. Напротив, доказано, что профилактическое использование компрессионных рукавов по сравнению с контрольной группой уменьшило и отсрочило возникновение отеков рук у женщин с высоким риском развития ЛСРГ в течение первого года после операции по поводу РМЖ. Также проведенные исследования подтвердили эффективность применения модели раннего проспективного наблюдения с использованием биоимпедансной спектроскопии для раннего выявления и незамедлительного лечения ЛСРГ. Показано, что для значительного уменьшения объема конечности при ЛСРГ необходимо назначение интенсивной фазы комплексной противоотечной терапии (КПТ) в течение не менее 3 недель. Также доказана эффективность применения стандартного или усовершенствованного устройства переменной пневматической компрессии на этапах реабилитации, в том числе в домашних условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Для снижения риска развития и прогрессирования ЛСРГ до тяжелых клинических стадий лимфатического отека должны применяться современные методики ЛФК для повышения физической активности с целью контроля веса, активно использоваться обучающие методики по самомассажу, самостоятельному наложению компрессионных биндажей. «Золотым стандартом» консервативного лечения ЛСРГ остается КПТ, основой которой является МЛД. Вместе с этим оправдано более широкое применение и разработка новых методик аппаратного лимфодренажа, имитирующих МЛД — высокоресурсный и затратный метод лечения при ЛСРГ. Для подтверждения клинической эффективности усовершенствованной аппаратной пневмокомпрессии требуется проведение дополнительных РКИ с оценкой отдаленных результатов лечения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: лимфедема руки, рак молочной железы, реабилитация, мануальный лимфодренаж, переменная пневмокомпрессия.

Для цитирования / For citation: Апханова Т.В., Кончугова Т.В., Кульчицкая Д.Б., Юрова О.В., Стяжкина Е.М., Марфина Т.В., Агасаров Л.Г., Васильева В.А., Березкина Е.С. 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., Yurova O.V., Styazhkina E.M., Marfina T.V., Agasarov L.G., Vasileva V.A., Berezkina E.S. 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.).]

* Для корреспонденции: Апханова Татьяна Валерьевна, E-mail: apkhanovatv@nmicrk.ru

Статья получена: 11.03.2024
Статья принята к печати: 20.05.2024
Статья опубликована: 17.06.2024

New Non-Drug Technologies for Lymphedema Associated with Breast Cancer: a Review

 Tatiana V. Apkhanova*,  Tatiana V. Konchugova,  Detelina B. Kulchitskaya,  Olga V. Yurova,  Elena M. Styazhkina,  Tatyana V. Marfina,  Lev G. Agasarov,  Valeriia A. Vasileva,  Elena S. Berezkina

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

ABSTRACT

INTRODUCTION. Breast Cancer-Related Lymphedema (BCRL) is the most common complication after radical treatment of breast cancer (BC). Currently, there are no molecular therapeutic targets whose pharmacologic action could prevent edema, making it necessary to study the efficacy of non-pharmacologic techniques.

AIM. To study the effectiveness of non-medication technologies in BCRL to develop recommendations for practical application based on the analysis of systematic reviews and meta-analyses of randomized controlled trials (RCTs).

MATERIALS AND METHODS. The search was conducted in the Physiotherapy Evidence-Based Database (PEDro, 2002–2024) using the keywords: "lymphedema", "upper limbs", "breast cancer". A total of 203 sources were selected as of March 2024.

RESULTS AND DISCUSSION. Numerous studies have found that the use of early postoperative physical exercise with a gradual expansion of the load in patients at risk of developing BCRL is a safe and effective method of rehabilitation. The effectiveness of early preventive use of manual lymphatic drainage (MLD) in 4 RCTs was studied in a Cochrane review. However, the clinical effectiveness of early prophylactic use of MLD to prevent BCRL remains insufficiently proven. In contrast, prophylactic use of compression sleeves has been shown to reduce and delay the onset of arm lymphedema in women at high risk of developing BCRL during the first year after breast cancer surgery. Studies have also confirmed the effectiveness of an early Prospective Surveillance Model using bioimpedance spectroscopy for early detection and immediate treatment of BCRL. It has been proven that in order to reduce the volume of a limb with BCRL, it is necessary to prescribe an intensive phase of complex decongestive therapy (CDT) for at least 3 weeks. Studies have also proven the effectiveness of using a standard or improved intermittent pneumatic compression device in the rehabilitation phases, including at home.

CONCLUSION. To reduce the risk of development and progression of BCRL, modern exercise therapy techniques should be used to increase physical activity in order to control body weight, and educational techniques for self-massage and self-application of compression bandages should be actively used. The "golden" standard for conservative treatment of BCRL remains CDT, which is based on MLD. At the same time, the wider use and development of new methods of hardware lymphatic drainage that imitate MLD, which is a highly resourceful and costly method of treatment for BCRL, is justified. To confirm the clinical effectiveness of improved hardware pneumocompression, additional RCTs assessing long-term treatment results are required.

KEYWORDS: arm lymphedema, breast cancer, rehabilitation, manual lymphatic drainage, intermittent pneumocompression.

For citation: Apkhanova T.V., Konchugova T.V., Kulchitskaya D.B., Yurova O.V., Styazhkina E.M., Marfina T.V., Agasarov L.G., Vasileva V.A., Berezkina E.S. 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.)

* **For correspondence:** Tatiana V. Apkhanova, E-mail: apkhanovatv@nmicrk.ru

Received: 11.03.2024

Accepted: 20.05.2024

Published: 17.06.2024

ВВЕДЕНИЕ

Рак молочной железы (РМЖ) — наиболее распространенная злокачественная опухоль и ведущая причина смертности от рака среди женщин во всем мире: по оценкам, в 2020 г. диагностировано 2,3 млн новых случаев. В Европе у каждой 11-й женщины в течение жизни будет диагностирован РМЖ [1].

Лимфедема, связанная с раком груди (ЛСРГ) (Breast Cancer-Related Lymphedema, BCRL), является одним из наиболее частых осложнений после радикального лечения РМЖ [2]. Частота заболеваемости ЛСРГ достигает 16,6 % (95 %-й доверительный интервал [ДИ] 13,6–20,2) в период от 3 месяцев до 20 лет после постановки диагноза РМЖ [3]. У пациенток, перенесших лимфаденэктомию подмышечных лимфоузлов, заболеваемость увеличивается до 19,9 % (95 % ДИ 13,5–28,2). Этот уровень заболеваемости предполагает, что у 1 из 5 выживших пациентов в течение 2–3 лет после радикаль-

ной операции может развиться ЛСРГ [4]. Последующая послеоперационная лучевая терапия увеличивает риск развития ЛСРГ до 30–50 % [5]. При применении более современного метода хирургического лечения РМЖ с применением биопсии сторожевых лимфатических узлов частота развития ЛСРГ составляет 5,6 % [3, 6].

Развитие ЛСРГ представляет собой пожизненное бремя и пожизненный риск почти для всех пациентов, переживших РМЖ. Особенностью течения ЛСРГ на поздних стадиях является резистентность к проводимому лечению и трудности в контроле за отеками [7]. Развитие клинических симптомов (отеки рук, болевой синдром, ограничение функции пораженной конечности, требующее компенсаторных стратегий движения) [8] значительно влияет на качество жизни, психосоциальное взаимодействие, эмоциональное благополучие пациентов [9, 10], что создает существенное финансовое бремя для системы здравоохранения [11].

Диагноз ЛСРГ выставляется при сохранении послеоперационного лимфатического отека конечности, превышающем 3 месяца после хирургического лечения [12].

Разработка и клиническое применение эффективных долгосрочных стратегий лечения ЛСРГ, включающих современные немедикаментозные технологии, остаются актуальными задачами восстановительной медицины и медицинской реабилитации.

ЦЕЛЬ

Изучение эффективности немедикаментозных технологий при ЛСРГ для разработки рекомендаций по их практическому применению на основе анализа систематических обзоров и метаанализов рандомизированных контролируемых исследований (РКИ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск проводился в базе данных по доказательной физиотерапии (Physiotherapy Evidence Database (PEDro), University of Sydney) по ключевым словам: «лимфедема», «верхние конечности», «рак груди». Всего на март 2024 г. было отобрано 203 источника, из которых 54 (26,6 %) составили систематические обзоры, 2 — Кокрановские обзоры, 1 — Клинические рекомендации (американского общества клинической онкологии), которые не подлежали балльной оценке и имели категорию N/A, а также 146 РКИ (71,92 %).

РКИ ранжируются соответственно шкале PEDro следующим образом: РКИ с общим баллом от 0 до 3 считаются «низкого» качества, 4–5 баллов — «удовлетворительными», 6–8 баллов — «хорошими» и 9–10 — «отличными». Для исследований, оценивающих комплексные вмешательства (например, физические упражнения), оптимальным является общий балл PEDro — 8/10 (рис. 1).

Доброкачественными РКИ по шкале PEDro признаются исследования, имеющие рейтинг свыше 5 баллов,

такими РКИ в настоящем обзоре были признаны 61,64 % (90), 56 РКИ имели балльную оценку от 1 и 4, что составило 38,36 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные по распределению РКИ по применяемому лечебному фактору и рейтингу качества исследования по шкале PEDro представлены в табл. 1.

Настоящий обзор посвящен оценке эффективности наиболее часто применяющихся современных методов реабилитации и немедикаментозного лечения ЛСРГ на различных клинических этапах, выделяемых в руководстве Американской ассоциации физиотерапевтов (2020): раннем послеоперационном/раннем профилактическом, при применении модели проспективного наблюдения для выявления субклинической лимфедемы, при применении физических тренировок с прогрессивным увеличением нагрузки с отягощением в позднем послеоперационном периоде после операции по поводу РМЖ или при субклинической лимфедеме, вмешательства при установленном диагнозе ЛСРГ [13].

Этап 1. Ранний послеоперационный уход / раннее профилактическое вмешательство

Сообщается о безопасности применения ранних послеоперационных физических упражнений с постепенным расширением нагрузки под наблюдением инструктора по лечебной физкультуре (ЛФК) у пациентов с риском развития ЛСРГ после консультации с мультидисциплинарной командой [13].

Bendz I. et al. [14] исследовали ранние (через 1–2 дня после операции) и отсроченные (через 14 дней после операции) упражнения на плечевые суставы у лиц после радикальной мастэктомии или резекции квадранта с диссекцией подмышечных лимфоузлов. Программа упражнений в раннем послеоперационном периоде постепенно расширялась и контролировалась инструк-

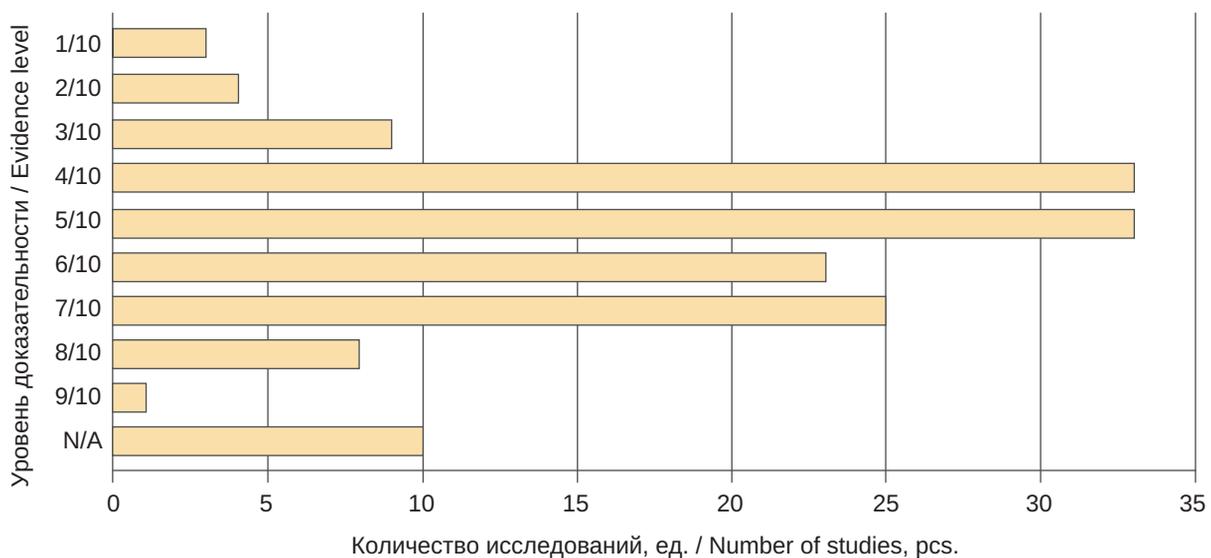


Рис. 1. Распределение доказательности РКИ по медицинской реабилитации при ЛСРГ по баллам шкалы PEDro, количество исследований

Fig. 1. Distribution of evidence of RCTs on medical rehabilitation for BCRL by PEDro score, number of studies

Примечание: N/A — не определен.

Note: N/A — not applicable.

Таблица 1. Распределение РКИ по применяемому лечебному фактору и рейтингу качества исследования по шкале PEDro, ед.¹**Table 1.** Distribution of RCTs by applied treatment factor and PEDro quality rating, pcs.

Вмешательство / Intervention	Высокое качество / High quality (> 8 баллов / points) Количество, ед. / Number, pcs.	Удовлетворитель- ное качество / Satisfactory quality (5–7 баллов / points) Количество, ед. / Number, pcs.	Низкое качество / Low quality (< 4 баллов / points) Количество, ед. / Number, pcs.	Рейтинг N/A (не определен) / Rating N/A Количество, ед. / Number, pcs.
Профилактические меры / Preventive measures	0	4	1	0
Самопомощь, самомассаж / Self-help, self-massage	0	3	1	0
Комплексная противо- отечная терапия / ману- альный лимфодренаж / Complex decongestive therapy / manual lymphatic drainage	2	12	8	1
Компрессионная терапия / Compression therapy	0	9	9	0
Переменная пневмоком- прессия / Intermittent pneumatic compression	0	6	4	0
Методики ЛФК / Exercise therapy techniques	3	10	6	0
Силовые тренировки с отягощением / Strength training with weights	1	12	8	0
Лечебная гимнастика в бассейне / Therapeutic gymnastics in a swimming pool	0	5	0	1
Низкоинтенсивное лазер- ное излучение / Low-intensity laser radiation	1	6	0	0
Кинезиотейпирование / Kinesio taping	0	6	0	1
Аппаратная физиотера- пия (ударно-волновая терапия, магнитотера- пия, электростимуля- ция и др.) / Instrumental physiotherapy (shockwave therapy, magnetotherapy, electrostimulation, etc.)	0	4	3	1
Иглорефлексотерапия / Acupuncture	0	2	0	1
Миофасциальные ме- тоды, йога / Myofascial techniques, yoga	2	2	2	0
Интерактивные вме- шательства / Interactive interventions	0	1	3	1
Другие / Others	0	0	3	1
Итого / Total	9	82	48	7

¹ Physiotherapy Evidence Database. Available at: <https://search.pedro.org.au/search> (Accessed March 5, 2024).

тором ЛФК. Это исследование подтвердило безопасность ранних физических упражнений на плечи с прогрессирующим увеличением нагрузки без значительного увеличения возникновения лимфедемы через 2 года, частота возникновения которой составила 13,8 %, что сопоставимо со средними популяционными данными.

Sagen A. et al. сравнили контролируемые упражнения с низким сопротивлением (0,5 кг), начатые через 2 дня после операции, с обычным уходом с ограничением активности у пациентов с риском ЛСРГ. Количество индивидуальных упражнений с сопротивлением постепенно увеличивалось с целью повышения мышечной силы и выносливости. В обеих группах наблюдалась сопоставимая частота развития ЛСРГ в течение 2-летнего периода наблюдения, без значимых различий между группами (размер эффекта $-0,18$), что свидетельствует о безопасности применения прогрессивно увеличивающихся умеренных физических тренировок в ранние сроки после операции мастэктомии с лимфодиссекцией регионарных лимфатических узлов [15].

В исследовании Todd J. et al. (2008) сообщалось об увеличении лимфатического дренажа, когда физические упражнения были начаты в течение 48 часов после операции [16]. В исследовании Oliveira M.M.F. et al. (2018) также была подтверждена безопасность назначения физических упражнений и процедур мануального лимфодренажа (МЛД) через 48 часов после операции мастэктомии [17]. Согласно имеющимся данным, ранняя активность и физические упражнения, если они выполняются постепенно и медленно под наблюдением специалистов ЛФК, являются безопасными и дают дополнительную выгоду в виде увеличения выносливости, мышечной силы и диапазона движений в плечевом суставе.

В Кокрановском обзоре (2015) была изучена эффективность профилактического применения МЛД по данным 4 РКИ с общим количеством участников 385 человек [18]. Этот обзор продемонстрировал, что эффективность влияния раннего профилактического назначения МЛД на риск лимфедемы все еще остается неопределенной.

В рандомизированном исследовании Devoogdt N. et al. (2011), включавшем 160 пациентов, прооперированных по поводу РМЖ с односторонней подмышечной диссекцией, в течение 6 месяцев группа вмешательства ($n = 79$) выполняла программу лечения, состоящую из ЛФК, МЛД и рекомендаций по профилактике лимфатического отека [19]. Контрольная группа ($n = 81$) выполняла ту же программу без МЛД. Целью исследования явилось определение профилактического эффекта МЛД на развитие лимфатического отека руки, связанного с РМЖ. Было установлено, что через 12 месяцев после операции совокупный уровень заболеваемости лимфедемой руки был сопоставим в группе вмешательства (24 %) и контрольной группе (19 %) (отношение шансов 1,3; 95 % ДИ 0,6–2,9; $p = 0,45$), что свидетельствует о недостаточной эффективности МЛД в снижении частоты лимфедемы руки в краткосрочной перспективе.

В исследовании Zimmermann A. (2012) по изучению эффективности МЛД для профилактики ЛСРГ приняли участие 67 женщин, перенесшие операцию на груди по поводу РМЖ [20]. Со второго дня после операции

пациентки основной группы ($n = 33$) получали процедуры МЛД, пациентки контрольной группы ($n = 34$) не получали процедуры МЛД. Было установлено, что через 6 месяцев после операции по поводу РМЖ у пациенток контрольной группы, которым не проводилась МЛД, наблюдалось значительное увеличение объема руки на стороне операции ($p = 0,0033$) по сравнению с объемом руки до операции. В результате исследования было установлено, что статистически значимого увеличения объема верхней конечности на стороне операции у женщин, перенесших МЛД, не наблюдалось. Это исследование демонстрирует, что, независимо от типа операции и количества удаленных лимфатических узлов, назначение МЛД эффективно предотвращало лимфедему руки на стороне операции. Несмотря на то, что необходимы подтверждающие исследования, эта работа продемонстрировала, что для профилактики лимфедемы руки следует рассмотреть возможность назначения МЛД на ранних стадиях после операции по поводу РМЖ.

В исследовании Castro-Sánchez A.M. (2011) ($n = 48$) оценена эффективность удерживающего эластичного ортеза и МЛД в профилактике вторичной лимфедемы, развившейся после мастэктомии по сравнению с контрольной группой [21]. Исследовали динамику следующих показателей: качество жизни, состав тела, функциональная оценка плеча, боль и объем конечности исходно и после 8-месячного вмешательства. После периода вмешательства в экспериментальной группе были выявлены улучшения по показателям качества жизни, содержания внеклеточной жидкости и функциональной оценки объема конечности на стороне мастэктомии ($p < 0,05$).

Исследование, проведенное Torres Lacomba M. (2010) [22], включало 120 женщин, перенесших операцию на груди с иссечением подмышечных лимфатических узлов, рандомизированных на 2 группы: группа ранней физиотерапии получала программу, включавшую МЛД, массаж рубцовой ткани и упражнения с прогрессирующей нагрузкой с активными движениями на фоне базовой образовательной программы; контрольная группа получала только образовательную программу. Через 1 год наблюдения из 116 закончивших исследование пациентов у 18 развился вторичный лимфатический отек руки (16 %): у 14 в контрольной группе (25 %) и у четырех в группе вмешательства (7 %). Межгрупповая разница была достоверной ($p = 0,01$); отношение рисков 0,28 (95 % ДИ 0,10–0,79). Таким образом, установлено, что данный комплекс может быть эффективным в профилактике вторичной лимфедемы у женщин в течение как минимум одного года после операции по поводу РМЖ.

Предположительно, МЛД стимулирует альтернативные пути дренирования лимфы, поэтому его использование в раннем послеоперационном периоде может уменьшить застой белков в интерстициальном пространстве и риск увеличения объема конечности в результате воспаления, вторичного по отношению к хирургическому повреждению, которое ухудшает лимфодренаж из верхней конечности [23, 24].

В исследовании Paramanandam V.S. (2022), включавшем 307 женщин, перенесших подмышечную лимфодиссекцию по поводу РМЖ, авторы преследовали цель:

определить, предотвращает ли профилактическое использование компрессионных рукавов развитие отеков рук [25]. Пациентки основной группы в дополнение к обычному послеоперационному уходу получали два компрессионных рукава для ношения в послеоперационном периоде в течение 3 месяцев после завершения адьювантного лечения. Частота развития отеков рук в группе компрессии по сравнению с контрольной группой составила 0,61 (95 % ДИ 0,43–0,85; $p = 0,004$) по показателям биоимпедансной спектроскопии и 0,56 (95 % ДИ 0,33–0,96; $p = 0,034$) по показателю увеличения объема руки. Предполагаемая кумулятивная частота отеков рук через 1 год была ниже в группе компрессии, чем в контрольной группе, по показателям биоимпедансной спектроскопии (42 % против 52 %) и увеличения объема руки (14 % против 25 %). Авторы пришли к выводу, что профилактическое использование компрессионных рукавов по сравнению с контрольной группой уменьшило и отсрочило возникновение отеков рук у женщин с высоким риском развития лимфедемы в течение первого года после операции по поводу РМЖ.

В проведенном рандомизированном исследовании Gerasimenko M.Yu. et al. (2020) ($n = 131$) сравнивалась эффективность низкочастотной низкоинтенсивной магнитотерапии и флюктуоризации плечевого пояса и мышц верхних конечностей на стороне хирургического вмешательства в сочетании с ЛФК и балансотерапией, занятиями у медицинского психолога у больных в течение 2–4 дней и через 1,5–2 месяца после радикальной мастэктомии. Было установлено, что раннее начало медицинской реабилитации у пациенток после радикальной мастэктомии (на 2–4-е сутки после оперативного вмешательства) способствовало уменьшению болевого синдрома и послеоперационных отеков, увеличению движений в плечевом суставе, профилактике тяжелого лимфостаза и улучшению качества жизни [26].

В другом исследовании Evstigneeva I.S. et al. (2022) доказана целесообразность включения в курс медицинской реабилитации процедур общей магнитотерапии и воздействия низкочастотным электростатическим полем, что приводит к купированию болевого синдрома, уменьшению послеоперационного отека, более быстрому восстановлению подвижности плечевого сустава [27].

Также отечественными учеными установлена клиническая эффективность комплексного применения аппаратного лимфодренажа (переменной пневмокомпрессии, ППК) в ранние сроки после радикальной мастэктомии, проявляющаяся в уменьшении болевого синдрома и послеоперационного отека, увеличении объема движений в плечевом суставе, предупреждении развития тяжелой степени лимфостаза [28].

Этап 2. Применение модели проспективного наблюдения для выявления субклинической лимфедемы

Установлено, что раннее выявление субклинической лимфедемы руки в группах высокого риска может улучшить результаты лечения и остановить прогрессирование отеков конечности при применении Проспективной модели наблюдения (ПМН) (The Prospective Surveillance Model, PSM), предложенной американскими онкологами в 2012 г. [29].

Применение ПМН предполагает активное наблюдение за пациентами в течение длительного времени, начиная с предоперационного, раннего послеоперационного периода с целью максимально раннего выявления субклинической лимфедемы и незамедлительного вмешательства, включающего компрессионный трикотаж, самомассаж, а также курсы кратковременной комплексной противоотечной терапии (КПТ). В большинстве исследований сообщалось о проведении предоперационных измерений объема конечностей, тестов с использованием биоимпедансной спектроскопии с последующими послеоперационными измерениями каждые 3 месяца в срок до 1 года, а затем 1 раз в два года в течение 5 лет [30–32]. В исследовании эффективности ПМН вмешательства начинались, когда устанавливался диагноз субклинической лимфедемы и пациентам назначалась компрессионная терапия и самомассаж конечности [33]. Авторы установили, что применение ПМН позволяет устанавливать субклиническую форму ЛСРГ у 34 % пациентов, оперированных по поводу РМЖ; у 82 % пациентов применение ПМН оказалось эффективным. Если лимфедема сохранялась более 4 недель или прогрессировала, рекомендовалось дальнейшее вмешательство — 1-я фаза КПТ.

Так, в РКИ по эффективности ПМН ($n = 753$) пациенты были рандомизированы на 2 группы: у 188 пациенток основной группы применялась ПМН (проводилась биоимпедансная спектроскопия до операции и в течение 90 дней после операции), 285 женщин контрольной группы были отнесены к группе «традиционного наблюдения», в которой наблюдение начали через 90 дней после операции. Через год у 39 % пациенток в традиционной группе наблюдения была диагностирована клиническая лимфедема I–III стадии против 14 % в группе раннего наблюдения ($p < 0,001$), а также у 24 % были выявлены более тяжелые стадии (II–III стадия) по сравнению с таковыми в группе раннего наблюдения (4 %). Таким образом, данные исследования подтвердили эффективность применения ПМН с использованием биоимпедансной спектроскопии для раннего выявления и незамедлительного лечения ЛСРГ [34–36].

Этап 3. Применение физических тренировок с прогрессивным увеличением нагрузки с отягощением в позднем послеоперационном периоде после операции по поводу РМЖ или при субклинической лимфедеме

Сообщается, что безопасно назначение физических упражнений с прогрессивно увеличивающейся нагрузкой в более поздний послеоперационный период, начиная с 4–6 недель после операции [37–42]. Было установлено, что физические тренировки с отягощением безопасны для женщин, перенесших радикальное хирургическое лечение РМЖ, и не ухудшают симптомы лимфедемы, связанной с РМЖ [43–45]. Проведенное исследование Ammitzbohl G. (2019) не выявило доказательств профилактического эффекта физических тренировок с отягощением на развитие ЛСРГ [46]. Другое исследование [47] с использованием 8-недельных физических тренировок с отягощением через 4–6 недель после операции не выявило существенных различий между группой вмешательства и контроль-

ной группой сразу после вмешательства или при 6-месячном наблюдении. Полученные данные подтверждают безопасность физических тренировок с отягощением для пациентов, страдающих ЛСРГ. В проведенных РКИ делается вывод, что упражнения с отягощением безопасны и не усугубляют ЛСРГ [48, 49]. В исследовании Musanti R. (2012) сообщалось о значительном уменьшении числа женщин, у которых развивалась ЛСРГ в группе, занимавшейся тяжелой атлетикой, после 1 года тренировок [50]. Однако в двух исследованиях с более короткой продолжительностью упражнений не сообщалось о влиянии упражнений на объем конечности [48, 51], выраженность симптомов или тяжесть ЛСРГ [48]. Сравнение 12-недельных аэробных и силовых упражнений не выявило различий в частоте развития ЛСРГ [52].

Этап 4. Немедикаментозные вмешательства при умеренной и поздней лимфедеме / II и III клинических стадиях

На 4-м этапе при развившейся умеренной и поздней лимфедеме (II и III клинические стадии (International Society of Lymphology [53]) пациентам, перенесшим радикальное лечение по поводу РМЖ, рекомендуются следующие немедикаментозные вмешательства [55–63] (рис. 2).

Стандартом лечения пациентов с ЛСРГ является КПТ [53] — многокомпонентная технология, состоящая из фазы интенсивного лечения и последующей поддерживающей фазы [54].

В двух проведенных исследованиях показано, что для значительного уменьшения объема лимфедемы конечности необходимо проведение как минимум 3-недельной интенсивной фазы КПТ [55].

КПТ включает МЛД, наложение многослойной коротко-эластичной компрессионной повязки/бандажа на 23 часа и/или регулируемые нерастяжимые компрессионные бандажи на липучке, упражнения для улучшения лимфотока [56] и тщательный уход за кожей заинтересованной конечности [57]. МЛД, по-видимому, стимулирует лимфо-лимфатические или лимфовенозные анастомозы [58]. Способность МЛД облегчать транспорт лимфы была продемонстрирована с помощью флуоресцентной лимфографии с индоцианином зеленым [59], что потенциально позволяет персонализировать лечение при ЛСРГ [60]. После завершения интенсивной фазы КПТ пациенты переходят к фазе длительного поддержания, которая включает в себя самостоятельное лечение лимфедемы с использованием дневных и ночных компрессионных изделий, физических упражнений, ухода за кожей, ППК в домашних условиях и самостоятельного МЛД [61].

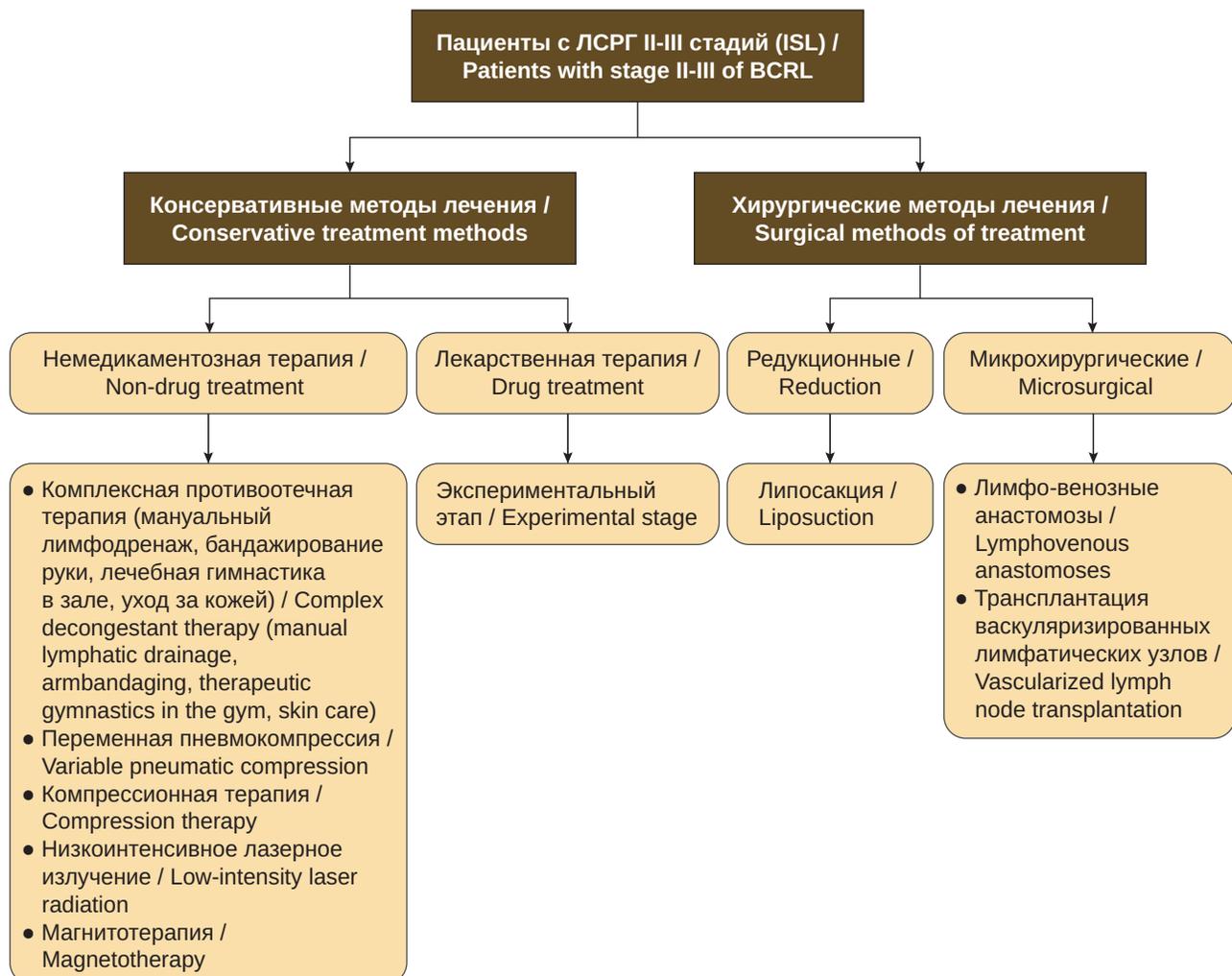


Рис. 2. Схема методов лечения при ЛСРГ
Fig. 2. Scheme of treatment methods for BCRL

Применение в поддерживающей фазе КПТ упражнений с отягощениями оказалось безопасным и продемонстрировало уменьшение объема рук при ЛСРГ [62]. Поскольку контроль за лимфатическими отеками осуществляется пожизненно, соблюдение этого сложного мультимодального режима становится бременем для многих пациентов, переживших РМЖ [63, 64].

Обзор 16 РКИ (2010) не выявил консенсуса относительно эффективности только МЛД [58]. Однако на практике МЛД используется в основном как один из компонентов КПТ. В двух обзорах [65, 66] доказано, что применение МЛД в комплексе с компрессионным лечением может способствовать уменьшению отеков. В недавнем систематическом обзоре и метаанализе 11 РКИ добавление МЛД к контрольному лечению было связано со значительным ($p = 0,02$) улучшением интенсивности боли, а также снижением частоты развития лимфедемы конечности [67].

Ретроспективный анализ 250 пациентов, переживших РМЖ, прошедших в 2007 г. лечение с помощью КПТ (55 %), МЛД (32 %) или домашней программы (13 %), подтвердил, что эти ресурсоемкие методы в совокупности эффективны: среднее уменьшение объема лимфедемы на 47 % за 1 год ($p < 0,0001$) [68].

Rujol-Blaya V. et al. (2019) исследовали эффективность регулируемых бандажных систем CircAid Reduction (Medi, США) как альтернативу самостоятельному бандажированию при КПТ [69]. Так, в группе, получавшей CircAid Reduction, было достигнуто сопоставимое уменьшение объема с многослойным бандажем из бинтов короткой растяжимости ($-133,8 \pm 232,1$ мл против $-106,2 \pm 148,6$ мл).

Tsai H.J. et al. [70] сравнили кинезиотейпирование (КТ) с коротко растяжимыми компрессионными бандажами у пациентов со II и III стадиями ЛСРГ. Обе группы получали стандартное лечение, состоящее из ухода за кожей, 1 часа ППК, 30 минут МЛД и физических упражнений. Хотя в группе с бандажами наблюдалось большее уменьшение объема конечностей, оно существенно не отличалось (бандажирование: 81,4 мл; КТ: 51,3 мл; $p > 0,05$).

Установлено, что применение ППК в качестве дополнения к КПТ приводит к дополнительному уменьшению среднего объема конечности при использовании как на начальном этапе лечения, так и на этапе поддержания [71]. Авторы систематического обзора (2012) пришли к выводу, что ППК может обеспечить приемлемый метод лечения на дому в дополнение к ношению компрессионных рукавов у некоторых пациентов с лимфедемой [72]. В настоящее время разработано новое непневматическое носимое компрессионное устройство, основанное на градиентном сжатии под действием электрического тока материала с памятью формы, которое не требует от пациентов неподвижности во время использования (Dayspring, Koya Medical, USA) [73].

Эффективности проведения ППК в домашних условиях посвящено 5 статей низкого качества [71, 74–77].

Szuba A. et al. [71] исследовали добавление 1 часа процедуры ППК (с рабочим давлением 40–50 мм рт. ст.)

к самостоятельному МЛД и компрессионному трикотажу (II класса), что привело к большему уменьшению объема (МЛД + ППК: на 45,3% ($p < 0,05$) по сравнению с 26,0% в группе без ППК ($p < 0,05$). Fife C.E. et al. [74] сравнили ППК с усовершенствованной аппаратной пневматической компрессией (УАПК) (Flexitouch, USA). В группе УАПК улучшились показатели по сравнению с группой стандартной ППК (-29 % против $+16$ %; $p = 0,18$) с меньшим количеством нежелательных явлений.

Wilburn O. et al. [75] сравнили самомассаж в комплексе с компрессионным трикотажем с УАПК. В группе УАПК объем уменьшился (-208 ± 157 мл; $p = 0,002$), тогда как в группе самостоятельного МЛД увеличился ($+52 \pm 106$ мл; $p > 0,05$).

Ridner S.H. et al. (2010) [76] оценивали использование УАПК для самостоятельного лечения ЛСРГ с отеком туловища, и, хотя значительного изменения объема не было достигнуто ($-2,51 \pm 5,77$ см), произошло улучшение субъективных симптомов ($p = 0,02$). В последующем исследовании Ridner S.H. et al. (2012) [77] оценили использование УАПК для лечения пациентов со II стадией ЛСРГ без отека туловища. Авторы сравнили УАПК с воздействием на туловище, грудь и руку и только на руку. В обеих группах наблюдалось сопоставимое статистически значимое уменьшение объема ($p = 0,02$) без каких-либо побочных эффектов. Авторы пришли к выводу, что лечение отеков туловища с помощью УАПК может оказаться бесполезным при отсутствии отека туловища.

Ограничение исследования

- В настоящем обзоре проведен анализ с использованием только одной доказательной базы данных по физиотерапии — Physiotherapy Evidence Database (PEDro), University of Sydney.
- Проанализированы преимущественно РКИ, систематические обзоры и метаанализы.

Полученные данные могут быть использованы в российской практике онкологов, сосудистых хирургов, физиотерапевтов и специалистов по медицинской реабилитации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для снижения риска развития и прогрессирования ЛСРГ до тяжелых клинических стадий лимфатического отека должны применяться современные методики ЛФК для повышения физической активности с целью контроля за весом тела, активно использоваться обучающие методики по самомассажу, самостоятельному наложению компрессионных бандажей, эффективность которых доказана в многочисленных РКИ и систематических обзорах и метаанализах, проведенных за последние десятилетия.

«Золотым стандартом» консервативного лечения ЛСРГ остается КПТ, основой которой является МЛД. Вместе с этим оправданны более широкое применение и разработка новых методик аппаратного лимфодренажа, имитирующих МЛД — высокоресурсный и затратный метод лечения при ЛСРГ. Для подтверждения клинической эффективности УАПК, имитирующей МЛД, требуется проведение дополнительных РКИ с оценкой отдаленных результатов лечения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Апханова Татьяна Валерьевна, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отдела физиотерапии и рефлексотерапии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

E-mail: apkhanovativ@nmicr.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-2050>

Кончугова Татьяна Венедиктовна, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела физиотерапии и рефлексотерапии, заведующая кафедрой восстановительной медицины, физической терапии и медицинской реабилитации ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0991-8988>

Кульчицкая Детелина Борисовна, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела физиотерапии и рефлексотерапии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7785-9767>

Юрова Ольга Валентиновна, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной работе и образовательной деятельности, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7626-5521>

Стяжкина Елена Михайловна, кандидат медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела ортопедии, биомеханики, кинезиотерапии и мануальной терапии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4612-5119>

Марфина Татьяна Владимировна, научный сотрудник отдела физиотерапии и рефлексотерапии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2553-1946>

Агасаров Лев Георгиевич, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела физиотерапии

и рефлексотерапии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5218-1163>

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

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

Березкина Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела биомедицинских технологий, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7416-3381>

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: Кончугова Т.В., Апханова Т.В., Кульчицкая Д.Б., Агасаров Л.Г. — концепция, дизайн, анализ источников, подготовка текста, редакция; Юрова О.В. — заключение, участие в одобрении окончательной версии статьи; Стяжкина Е.М., Марфина Т.В., Васильева В.А. — поиск источников в базах данных; Березкина Е.С. — проверка и редактирование рукописи.

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

Конфликт интересов. Кончугова Т.В. — председатель редакционного совета журнала «Вестник восстановительной медицины», Юрова О.В. — заместитель главного редактора 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, Dr.Sci. (Med.), Chief Researcher, Department of Physiotherapy and Reflexology, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-2050>

Tatiana V. Konchugova, Dr.Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher, Department of Physiotherapy and Reflexology, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0991-8988>

Detelina B. Kulchitskaya, Dr.Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher, Department of Physiotherapy and Reflexology, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7785-9767>

Olga V. Yurova, Dr.Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Science and Professional Education, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7626-5521>

Elena M. Styazhkina, Ph.D., Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Leading Researcher of the Department of Orthopedics, Biomechanics, Kinesiotherapy and Manual Therapy.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4612-5119>

Tatyana V. Marfina, Researcher, Department of Physiotherapy and Reflexology, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2553-1946>

Lev G. Agasarov, Dr.Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher, Department of Physiotherapy and Reflexology, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5218-1163>

Valeriia A. Vasileva, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, of Somatic Rehabilitation, Active Longevity and Reproductive Health Department, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

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

Elena S. Berezkina, Ph.D. (Biol.), Researcher, Department of Biomedical Technologies, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7416-3381>

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). The largest contribution was distributed as follows: Konchugova T.V., Apkhanova T.V., Kulchitskaya D.B., Agasarov L.G. — concept, design, source analysis, text preparation, revision, Yurova O.V. — conclusion, participation

in approval of the final version of the article; Styazhkina E.M., Marfina T.V., Vasileva V.A. — search for sources in databases; Berezkina E.S. — writing-review & editing.

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

Disclosure. Konchugova T.V. — Chair of the Editorial Council of the Journal “Bulletin of Rehabilitation Medicine”, Yurova O.V. — Deputy Editor-in-Chief of the Journal “Bulletin of Rehabilitation Medicine”. The other authors declare no conflicts 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: a Cancer Journal for Clinicians*. 2021; 71(3): 209–249. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>
- Ahmed R.L., Prizment A., Lazovich D., et al. Lymphedema and quality of life in breast cancer survivors: the Iowa Women’s Health Study. *Journal of Clinical Oncology*. 2008; 26(35): 5689–5696. <https://doi.org/10.1200/JCO.2008.16.4731>
- DiSipio T., Rye S., Newman B., Hayes S. Incidence of unilateral arm lymphoedema after breast cancer: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet. Oncology*. 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)
- Rupp J., Hadamitzky C., Henkenberens C., et al. Frequency and risk factors for arm lymphedema after multimodal breast-conserving treatment of nodal positive breast Cancer — a long-term observation. *Radiation oncology*. 2019; 14(1): 39. <https://doi.org/10.1186/s13014-019-1243-y>
- Morgan P.A., Franks P.J., Moffatt C.J. Health-related quality of life with lymphoedema: a review of the literature. *International Wound Journal*. 2005; 2(1): 47–62. <https://doi.org/10.1111/j.1742-4801.2005.00066.x>
- Gebruers N., Verbelen H., De Vrieze T., et al. Incidence and time path of lymphedema in sentinel node negative breast cancer patients: a systematic review. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2015; 96(6): 1131–1139. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.01.014>
- Ridner S.H., Bonner C.M., Deng J., Sinclair V.G. Voices from the shadows: living with lymphedema. *Cancer nursing*. 2012; 35(1): E18–E26. <https://doi.org/10.1097/NCC.0b013e31821404c0>
- Fu M.R., Axelrod D., Cleland C.M., et al. Symptom report in detecting breast cancer-related lymphedema. *Breast Cancer (Dove Med Press)*. 2015; 7: 345–352. <https://doi.org/10.2147/BCTT.S87854>
- Cornelissen A.J.M., Kool M., Keuter X.H.A., et al. Quality of Life Questionnaires in Breast Cancer-Related Lymphedema Patients: Review of the Literature. *Lymphat Res Biol*. 2018; 16(2): 134–139. <https://doi.org/10.1089/lrb.2017.0046>
- Fu M.R., Kang Y. Psychosocial impact of living with cancer-related lymphedema. *Seminars in Oncology Nursing*. 2013; 29(1): 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.soncn.2012.11.007>
- De Vrieze T., Nevelsteen I., Thomis S., et al. What are the economic burden and costs associated with the treatment of breast cancer-related lymphoedema? A systematic review. *Supportive Care in Cancer*. 2020; 28(2): 439–449. <https://doi.org/10.1007/s00520-019-05101-8>
- Levenhagen K., Davies C., Perdomo M., et al. Diagnosis of Upper Quadrant Lymphedema Secondary to Cancer: Clinical Practice Guideline from the Oncology Section of the American Physical Therapy Association. *Physical Therapy*. 2017; 97(7): 729–745. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzx050>
- Davies C., Levenhagen K., Ryans K., et al. Interventions for Breast Cancer-Related Lymphedema: Clinical Practice Guideline From the Academy of Oncologic Physical Therapy of APTA. *Physical therapy*. 2020; 100(7): 1163–1179. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzaa087>
- Bendz I., Fagevik Olsén M. Evaluation of immediate versus delayed shoulder exercises after breast cancer surgery including lymph node dissection—a randomised controlled trial. *Breast*. 2002; 11(3): 241–248. <https://doi.org/10.1054/brst.2001.0412>
- Sagen A., Kåresen R., Risberg M.A. Physical activity for the affected limb and arm lymphedema after breast cancer surgery. A prospective, randomized controlled trial with two years follow-up. *Acta Oncologica*. 2009; 48(8): 1102–1110. <https://doi.org/10.3109/02841860903061683>
- Todd J., Scally A., Dodwell D., et al. A randomised controlled trial of two programmes of shoulder exercise following axillary node dissection for invasive breast cancer. *Physiotherapy*. 2008; 94(4): 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2008.09.005>
- Oliveira M.M.F., Gurgel M.S.C., Amorim B.J., et al. Long term effects of manual lymphatic drainage and active exercises on physical morbidities, lymphoscintigraphy parameters and lymphedema formation in patients operated due to breast cancer: A clinical trial. *PlosOne*. 2018; 13(1): e0189176. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189176>
- Stuiver M.M., ten Tusscher M.R., Agasi-Idenburg C.S., et al. Conservative interventions for preventing clinically detectable upper-limb lymphoedema in patients who are at risk of developing lymphoedema after breast cancer therapy. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2015; 2: CD009765. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009765.pub2>
- Devoogdt N., Christiaens M.R., Geraerts I., et al. Effect of manual lymph drainage in addition to guidelines and exercise therapy on arm lymphoedema related to breast cancer: randomised controlled trial. *BMJ*. 2011; 343: d5326. <https://doi.org/10.1136/bmj.d5326>
- Zimmermann A., Wozniowski M., Szklarska A., et al. Efficacy of manual lymphatic drainage in preventing secondary lymphedema after breast cancer surgery. *Lymphology*. 2012; 45(3): 103–112.
- Castro-Sánchez A.M., Moreno-Lorenzo C., Matarán-Peñarrocha G.A., et al. Prevención del linfedema tras cirugía de cáncer de mama mediante ortesis elástica de contención y drenaje linfático manual: ensayo clínico aleatorizado [Preventing lymphoedema after breast cancer surgery by elastic restraint orthotic and manual lymphatic drainage: a randomized clinical trial]. *Medicina Clínica*. 2011; 137(5): 204–207. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.09.020>
- Torres Lacomba M., Yuste Sánchez M.J., Zapico Goñi A., et al. Effectiveness of early physiotherapy to prevent lymphoedema after surgery for breast cancer: randomised, single blinded, clinical trial. *BMJ*. 2010; 340: b5396. <https://doi.org/10.1136/bmj.b5396>
- Devoogdt N., Geraerts I., Van Kampen M., et al. Manual lymph drainage may not have a preventive effect on the development of breast cancer-related lymphoedema in the long term: a randomised trial. *Journal of physiotherapy*. 2018; 64(4): 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2018.08.007>

24. Ochalek K., Gradalski T., Partsch H. Preventing Early Postoperative Arm Swelling and Lymphedema Manifestation by Compression Sleeves after Axillary Lymph Node Interventions in Breast Cancer Patients: A Randomized Controlled Trial. *Journal of pain and symptom management*. 2017; 54(3): 346–354. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2017.04.014>
25. Paramanandam V.S., Dylke E., Clark G.M., et al. Prophylactic Use of Compression Sleeves Reduces the Incidence of Arm Swelling in Women at High Risk of Breast Cancer-Related Lymphedema: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Clinical Oncology*. 2022; 40(18): 2004–2012. <https://doi.org/10.1200/JCO.21.02567>
26. Gerasimenko M.Y., Evstigneyeva I.S., Zaitseva T.N. Magnetotherapy in patient rehabilitation after radical mastectomy. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2020; 97(2): 36–44. <https://doi.org/10.17116/kurort20209702136>
27. Evstigneeva I.S., Gerasimenko M.Y. General magnet therapy and low-frequency electrostatic field in the postoperative period in patients with breast cancer. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2022; 99(4): 43–50. <https://doi.org/10.17116/kurort20229904143>
28. Евстигнеева И.С., Герасименко М.Ю., Перфильева О.М. Магнитотерапия и прерывистая пневмокомпрессия как метод реабилитации пациенток с раком молочной железы в разные сроки после хирургического лечения. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2019; 18(2): 68–75. <https://doi.org/10.17816/1681-3456-2019-18-2-68-75> [Evstigneeva I.S., Gerasimenko M.Y., Perfileva O.M. Magnetotherapy and intermittent pneumocompression as a method of rehabilitation of patient with breast cancer in different periods after radical mastectomy. *Russian Journal of Physiotherapy, Balneology and Rehabilitation*. 2019; 18(2): 68–75. <https://doi.org/10.17816/1681-3456-2019-18-2-68-75> (In Russ.)]
29. Stout N.L., Binkley J.M., Schmitz K.H., et al. A prospective surveillance model for rehabilitation for women with breast cancer. *Cancer*. 2012; 118(58): 2191–2200. <https://doi.org/10.1002/cncr.27476>
30. Soran A., Ozmen T., McGuire K.P., et al. The importance of detection of subclinical lymphedema for the prevention of breast cancer-related clinical lymphedema after axillary lymph node dissection; a prospective observational study. *Lymphatic Research and Biology*. 2014; 12(4): 289–294. <https://doi.org/10.1089/lrb.2014.0035>
31. Yang E.J., Ahn S., Kim E.K., et al. Use of a prospective surveillance model to prevent breast cancer treatment-related lymphedema: a single-center experience. *Breast Cancer Research and Treatment*. 2016; 160(2): 269–276. <https://doi.org/10.1007/s10549-016-3993-7>
32. Whitworth P.W., Cooper A. Reducing chronic breast cancer-related lymphedema utilizing a program of prospective surveillance with bioimpedance spectroscopy. *The Breast Journal*. 2018; 24(1): 62–65. <https://doi.org/10.1111/tbj.12939>
33. Kilgore L.J., Korentager S.S., Hangge A.N., et al. Breast Cancer-Related Lymphedema (BCRL) Through Prospective Surveillance Monitoring Using Bioimpedance Spectroscopy (BIS) and Patient Directed Self-Interventions. *Annals of surgical oncology*. 2018; 25(10): 2948–2952. <https://doi.org/10.1245/s10434-018-6601-8>
34. Koelmeyer L.A., Borotkanics R.J., Alcorso J., et al. Early surveillance is associated with less incidence and severity of breast cancer-related lymphedema compared with a traditional referral model of care. *Cancer*. 2019; 125(6): 854–862. <https://doi.org/10.1002/cncr.31873>
35. McLaughlin S.A., Stout N.L., Schaverien M.V. Avoiding the Swell: Advances in Lymphedema Prevention, Detection, and Management. *American Society of Clinical Oncology educational book. American Society of Clinical Oncology. Annual Meeting*. 2020; 40: 1–10. https://doi.org/10.1200/EDBK_280471
36. Koelmeyer L.A., Moloney E., Boyages J., et al. Prospective surveillance model in the home for breast cancer-related lymphoedema: a feasibility study. *Breast cancer research and treatment*. 2021; 185(2): 401–412. <https://doi.org/10.1007/s10549-020-05953-3>
37. Kilbreath S., Refshauge K., Beith J., Lee M. Resistance and stretching shoulder exercises early following axillary surgery for breast cancer. *Rehabilitation Oncology*. 2006; 24: 9–14. <https://doi.org/10.1097/01893697-200624020-00003>
38. Hayes S.C., Rye S., Disipio T., et al. Exercise for health: a randomized, controlled trial evaluating the impact of a pragmatic, translational exercise intervention on the quality of life, function and treatment-related side effects following breast cancer. *Breast Cancer Research and Treatment*. 2013; 137(1): 175–186. <https://doi.org/10.1007/s10549-012-2331-y>
39. Schmitz K.H., Ahmed R.L., Troxel A.B., et al. Weight lifting for women at risk for breast cancer-related lymphedema: a randomized trial. *JAMA*. 2010; 304(24): 2699–2705. <https://doi.org/10.1001/jama.2010.1837>
40. Park Y.J., Na S.J., Kim M.K. Effect of progressive resistance exercise using Thera-band on edema volume, upper limb function, and quality of life in patients with breast cancer-related lymphedema. *J Exerc Rehabil*. 2023; 19(2): 105–113. <https://doi.org/10.12965/jer.2346046.023>
41. Courneya K.S., Segal R.J., Mackey J.R., et al. Effects of aerobic and resistance exercise in breast cancer patients receiving adjuvant chemotherapy: a multicenter randomized controlled trial. *Journal of Clinical Oncology*. 2007; 25(28): 4396–4404. <https://doi.org/10.1200/JCO.2006.08.2024>
42. Campbell K.L., Winters-Stone K., Wiskermann J., et al. Exercise Guidelines for Cancer Survivors: Consensus Statement from International Multidisciplinary Roundtable. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2019; 51(11): 2375–2390. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002116>
43. Courneya K.S., McKenzie D.C., Mackey J.R., et al. Subgroup effects in a randomised trial of different types and doses of exercise during breast cancer chemotherapy. *British Journal of Cancer*. 2014; 111(9): 1718–1725. <https://doi.org/10.1038/bjc.2014.466>
44. Cheema B.S., Kilbreath S.L., Fahey P.P., et al. Safety and efficacy of progressive resistance training in breast cancer: a systematic review and meta-analysis. *Breast cancer research and treatment*. 2014; 148(2): 249–268. <https://doi.org/10.1007/s10549-014-3162-9>
45. Gerland L., Baumann F.T., Niels T. Resistance Exercise for Breast Cancer Patients? Evidence from the Last Decade. *Breast Care*. 2021; 16(6): 657–663. <https://doi.org/10.1159/000513129>
46. Ammitzball G., Johansen C., Lanng C., et al. Progressive resistance training to prevent arm lymphedema in the first year after breast cancer surgery: results of a randomized controlled trial. *Cancer*. 2019; 125(10): 1683–1692. <https://doi.org/10.1002/cncr.31962>
47. Kilbreath S.L., Refshauge K.M., Beith J.M., et al. Upper limb progressive resistance training and stretching exercises following surgery for early breast cancer: a randomized controlled trial. *Breast Cancer Research and Treatment*. 2012; 133(2): 667–676. <https://doi.org/10.1007/s10549-012-1964-1>
48. Cormie P., Pampa K., Galvão D.A., et al. Is it safe and efficacious for women with lymphedema secondary to breast cancer to lift heavy weights during exercise: a randomized controlled trial. *Journal of Cancer Survivorship*. 2013; 7(3): 413–424. <https://doi.org/10.1007/s11764-013-0284-8>
49. Wiskermann J., Clauss D., Tjaden C., et al. Progressive Resistance Training to Impact Physical Fitness and Body Weight in Pancreatic Cancer Patients: A Randomized Controlled Trial. *Pancreas*. 2019; 48(2): 257–266. <https://doi.org/10.1097/MPA.0000000000001221>
50. Musanti R. A study of exercise modality and physical self-esteem in breast cancer survivors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2012; 44(2): 352–361. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31822cb5f2>
51. Jeffs E., Wiseman T. Randomised controlled trial to determine the benefit of daily home-based exercise in addition to self-care in the management of breast cancer-related lymphoedema: a feasibility study. *Supportive Care in Cancer*. 2013; 21(4): 1013–1023. <https://doi.org/10.1007/s00520-012-1621-6>
52. Buchan J., Janda M., Box R., et al. A randomized trial of the effect of exercise mode on breast-cancer related lymphedema. *Medicine and science in sports and exercise*. 2016; 48(10): 1866–1874. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000988>
53. Executive Committee of the International Society of Lymphology. The diagnosis and treatment of peripheral lymphedema: 2020 Consensus Document of the International Society of Lymphology. *Lymphology*. 2020; 53(1): 3–19.

54. Wampler M., Campione E., Bolch C.A. Practice patterns of physical therapists and physical therapist assistants treating patients with breast cancer related lymphedema. *Support Care Cancer*. 2023; 31(2): 134. <https://doi.org/10.1007/s00520-023-07589-7>
55. Sezgin Ozcan D., Dalyan M., Unsal Delialioglu S., et al. Complex Decongestive Therapy Enhances Upper Limb Functions in Patients with Breast Cancer-Related Lymphedema. *Lymphatic Research and Biology*. 2018; 16(5): 446–452. <https://doi.org/10.1089/lrb.2017.0061>
56. Lane K., Worsley D., McKenzie D. Exercise and the lymphatic system: implications for breast-cancer survivors. *Sports Medicine*. 2005; 35(6): 461–471. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00001>
57. Lasinski B.B., McKillip Thrift K., Squire D., et al. A systematic review of the evidence for complete decongestive therapy in the treatment of lymphedema from 2004 to 2011. *PM&R*. 2012; 4(8): 580–601. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2012.05.003>
58. Devoogdt N., Van Kampen M., Geraerts I., et al. Different physical treatment modalities for lymphoedema developing after axillary lymph node dissection for breast cancer: a review. *European Journal of Obstetrics, Gynecology, and Reproductive Biology*. 2010; 149(1): 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2009.11.016>
59. Suami H., Heydon-White A., Mackie H., et al. A new indocyanine green fluorescence lymphography protocol for identification of the lymphatic drainage pathway for patients with breast cancer-related lymphoedema. *BMC Cancer*. 2019; 19(1): 985. <https://doi.org/10.1186/s12885-019-6192-1>
60. Koelmeyer L.A., Thompson B.M., Mackie H., et al. Personalizing Conservative Lymphedema Management Using Indocyanine Green-Guided Manual Lymphatic Drainage. *Lymphatic Research and Biology*. 2021; 19(1): 56–65. <https://doi.org/10.1089/lrb.2020.0090>
61. Perdomo M., Davies C., Levenhagen K., et al. Patient education for breast cancer-related lymphedema: a systematic review. *Journal of Cancer Survivorship*. 2023; 17(2): 384–398. <https://doi.org/10.1007/s11764-022-01262-4>
62. Hasenoehrl T., Palma S., Ramazanov D., et al. Resistance exercise and breast cancer-related lymphedema—a systematic review update and meta-analysis. *Supportive Care in Cancer*. 2020; 28(8): 3593–3603. <https://doi.org/10.1007/s00520-020-05521-x>
63. Vignes S., Porcher R., Arrault M., Dupuy A. Long-term management of breast cancer-related lymphedema after intensive decongestive physiotherapy. *Breast Cancer Research and Treatment*. 2007; 101(3): 285–290. <https://doi.org/10.1007/s10549-006-9297-6>
64. Paskett E.D., Le-Rademacher J., Oliveri J.M., et al. A randomized study to prevent lymphedema in women treated for breast cancer: CALGB 70305 (Alliance). *Cancer*. 2021; 127(2): 291–299. <https://doi.org/10.1002/cncr.33183>
65. Ezzo J., Manheimer E., McNeely M.L., et al. Manual lymphatic drainage for lymphedema following breast cancer treatment. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2015; 5: CD003475. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003475.pub2>
66. Thompson B., Gaitatzis K., Janse de Jonge X., et al. Manual lymphatic drainage treatment for lymphedema: a systematic review of the literature. *Journal of Cancer Survivorship*. 2021; 15(2): 244–258. <https://doi.org/10.1007/s11764-020-00928-1>
67. Lin Y., Yang Y., Zhang X., et al. Manual Lymphatic Drainage for Breast Cancer-related Lymphedema: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Clinical Breast Cancer*. 2022; 22(5): e664–e673. <https://doi.org/10.1016/j.clbc.2022.01.013>
68. Koul R., Dufan T., Russell C., et al. Efficacy of complete decongestive therapy and manual lymphatic drainage on treatment-related lymphedema in breast cancer. *International journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*. 2007; 67(3): 841–846. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2006.09.024>
69. Pujol-Blaya V., Salinas-Huertas S., Catasús M.L., et al. Effectiveness of a precast adjustable compression system compared to multilayered compression bandages in the treatment of breast cancer-related lymphoedema: a randomized, single-blind clinical trial. *Clinical Rehabilitation*. 2019; 33(4): 631–641. <https://doi.org/10.1177/0269215518821785>
70. Tsai H.J., Hung H.C., Yang J.L., et al. Could Kinesio tape replace the bandage in decongestive lymphatic therapy for breast-cancer-related lymphedema? A pilot study. *Supportive Care in Cancer*, 2009; 17(11): 1353–1360. <https://doi.org/10.1007/s00520-009-0592-8>
71. 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>
72. Feldman J.L., Stout N.L., Wanchai A., et al. Intermittent pneumatic compression therapy: a systematic review. *Lymphology*. 2012; 45(1): 13–25.
73. Rockson S.G., Whitworth P.W., Cooper A., et al. Safety and effectiveness of a novel nonpneumatic active compression device for treating breast cancer-related lymphedema: A multicenter randomized, crossover trial (NILE). *Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders*. 2022; 10(6): 1359–1366.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2022.06.016>
74. 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. *Supportive Care in Cancer*. 2012; 20(12): 3279–3286. <https://doi.org/10.1007/s00520-012-1455-2>
75. 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: 8. <https://doi.org/10.1186/1471-2407-6-84>
76. Ridner S.H., Murphy B., Deng J., et al. Advanced pneumatic therapy in self-care of chronic lymphedema of the trunk. *Lymphatic Research and Biology*. 2010; 8(4): 209–215. <https://doi.org/10.1089/lrb.2010.0010>
77. 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 Research and Treatment*. 2012; 131(1): 147–158. <https://doi.org/10.1007/s10549-011-1795-5>

Обзорная статья / Review

УДК: 615.825.1

DOI: <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-52-60>

Эффективность совершенствования координационных способностей в коррекции расстройств биомеханики дыхания после кардиохирургической операции: обзор литературы

 Архипова Н.В.^{1,*},  Помешкина С.А.¹, Быков Е.В.²

¹ ФГБНУ «НИИ Комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» Минобрнауки России, Кемерово, Россия

² ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры», Челябинск, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Бронхолегочные осложнения остаются ведущей причиной послеоперационной заболеваемости после открытой операции на сердце и удлиняют пребывание пациента в стационаре, повышая стоимость лечения.

ЦЕЛЬ. Изучить эффективность использования координационных тренировок механики дыхательных движений в кардиореабилитационных программах при занятиях дыхательной гимнастикой.

СТРАТЕГИЯ ПОИСКА. Посредством поиска литературы в поисковых системах PubMed (Medline) и РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) с января 2019 г. по декабрь 2023 г. были отобраны систематические обзоры, метаанализы и рандомизированные контролируемые исследования факторов, влияющих на развитие послеоперационных легочных осложнений после открытых операций на сердце с искусственным кровообращением, а также методов поведенческой регуляции и обучения самоуправлению дыханием в сердечно-легочной реабилитации для оценки эффективности снижения количества легочных осложнений и их выраженности по сравнению с обычными методами респираторной кардиореабилитации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА. После кардиохирургических операций у пациентов наблюдается снижение координационных взаимодействий в работе инспираторных мышц грудной клетки, что требует улучшения координационных способностей. Проиллюстрированы особенности компенсаторных изменений системы внешнего дыхания после коррекции координационных взаимодействий дыхательных мышц в процессе респираторно-кардиологической реабилитации, а именно в увеличении альвеолярной вентиляции, вследствие совершенствования оптимальных соотношений грудного и брюшного типов дыхания, оптимальных синхронных и кратных соотношений числа дыхательных и двигательных циклов, его частоты и глубины, более высокий коэффициент полезного действия дыхательных мышц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. После прохождения курса координационных тренировок, в ходе которых развивались навыки управления своим дыханием, у пациентов, перенесших открытые операции на сердце с искусственным кровообращением, наблюдалась меньшая выраженность и частота встречаемости послеоперационных бронхолегочных осложнений, улучшение насыщения крови кислородом и повышение толерантности к физическим нагрузкам по сравнению с традиционными методами лечебной физкультуры, при этом наиболее выраженные изменения наблюдаются при воздействии методов поведенческой регуляции дыхания. Полученные результаты изменения функции внешнего дыхания позволяют оценить воздействие координационной подготовки по управлению своим дыханием как благоприятное для профилактики и реабилитации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коронарное шунтирование, искусственное кровообращение, ишемическая болезнь сердца, кардиореабилитация, дыхательная гимнастика, регуляция дыхания.

Для цитирования / For citation: Архипова Н.В., Помешкина С.А., Быков Е.В. Эффективность совершенствования координационных способностей в коррекции расстройств биомеханики дыхания после кардиохирургической операции: обзор литературы. Вестник восстановительной медицины. 2024; 23(3):52-60. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-52-60> [Arkhipova N.V., Pomeshkina S.A., Bykov E.V. Effectiveness of Improving Coordination Abilities after Cardiac Surgery: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):52-60. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-52-60> (In Russ.)]

* **Для корреспонденции:** Архипова Наталья Викторовна, E-mail: arkhipova.natali@list.ru, reception@kemcardio.ru

Статья получена: 14.02.2024
Статья принята к печати: 20.05.2024
Статья опубликована: 17.06.2024

© 2024, Архипова Н.В., Помешкина С.А., Быков Е.В.

Natalya V. Arkhipova, Svetlana A. Pomeshkina, Evgeniy V. Bykov

Эта статья открытого доступа по лицензии CC BY 4.0. Издательство: ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

This is an open article under the CC BY 4.0 license. Published by the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

Effectiveness of Improving Coordination Abilities after Cardiac Surgery: a Review

 Natalya V. Arkhipova^{1,*},  Svetlana A. Pomeschkina¹, Evgeniy V. Bykov²

¹ Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russia

² Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Bronchopulmonary complications remain the leading cause of postoperative morbidity and prolong the patient's hospital stay, increasing the cost of treatment.

AIM. To study the effectiveness of using coordination training of the mechanics of respiratory movements in cardiac rehabilitation programs during breathing exercises.

SEARCH STRATEGY. Through a literature search in the PubMed (Medline) and RISC search engines from January 2019 to December 2023, systematic reviews, meta-analyses and randomized controlled studies were selected of factors influencing the development of postoperative pulmonary complications after open heart surgery with cardiopulmonary bypass, as well as methods behavioral regulation and self-breathing training in cardiopulmonary rehabilitation to assess the effectiveness of reducing the number of pulmonary complications and their severity compared to conventional methods of respiratory cardiac rehabilitation.

MAIN CONTENT. Based on an analysis of the literature, it has been suggested that after cardiac surgery, patients experience a decrease in coordination interactions in the work of the inspiratory muscles of the chest, which requires improvement in coordination abilities. The features of compensatory changes in the external respiration system after correction of the coordination interactions of the respiratory muscles in the process of respiratory-cardiac rehabilitation are illustrated, namely in increasing alveolar ventilation due to the improvement of the optimal ratios of thoracic and abdominal types of breathing, optimal synchronous and multiple ratios of the number of respiratory and motor cycles, its frequency and depth, higher efficiency of the respiratory muscles.

CONCLUSION. The research results indicate that after completing a course of coordination training, where they developed the skills and abilities to control their breathing, patients who underwent open heart surgery with artificial circulation had a lower severity and incidence of postoperative bronchopulmonary complications, improved blood oxygen saturation and increased tolerance to physical activity compared to traditional methods of physical therapy, while the most pronounced changes are observed under the influence of methods of behavioral regulation of breathing. The obtained results of changes in the function of external respiration make it possible to evaluate the impact of coordination training to control one's breathing as beneficial for prevention and rehabilitation.

KEYWORDS: coronary bypass surgery, artificial circulation, coronary heart disease, cardiac rehabilitation, breathing exercises, breathing regulation.

For citation: Arkhipova N.V., Pomeschkina S.A., Bykov E.V. Effectiveness of Improving Coordination Abilities after Cardiac Surgery: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):52-60. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-52-60>

* **For correspondence:** Natalya V. Arkhipova, E-mail: arkhipova.natali@list.ru, eception@kemcardio.ru

Received: 14.02.2024

Accepted: 20.05.2024

Published: 17.06.2024

ВВЕДЕНИЕ

По данным Всемирной организации здравоохранения, по-прежнему наибольшее количество среди ведущих причин смертности занимают сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ). Первую позицию удерживает ишемическая болезнь сердца (ИБС) при острой форме (инфаркт миокарда, нестабильная стенокардия) и ее осложнения [1, 2]. Распространенным методом снижения смертности при гемодинамически значимом поражении коронарного русла является хирургическая операция реваскуляризации миокарда — коронарное шунтирование (КШ), что обуславливает развитие мер дальнейшей профилактики и реабилитации пациентов с ССЗ [3, 4].

Как известно, компоненты физической реабилитации (ходьба, велотренировки, гимнастические упражнения) широко применяются в кардиореабилитации [4]. После КШ использование физической реабилитации ориентировано на восстановление сердечно-сосудистой системы — улучшение коронарного и миокардиального резерва, позитивное воздействие на корриги-

руемые факторы риска прогрессирования ССЗ (гиподинамию, артериальную гипертензию, дислипидемию, гипергликемию, ожирение). Однако нерешенными остаются отдельные вопросы, связанные с послеоперационными бронхолегочными осложнениями [5].

По данным литературы, у пациентов, подвергшихся КШ в условиях искусственного кровообращения (ИК), формируются гиповентиляционные нарушения рестриктивного типа как внутрилегочной (пневмония, ателектаз), так и внелегочной (ограничение экскурсий грудной клетки при плевральных выпотах, дисфункция диафрагмы) формы, приводящие к расстройству биомеханики дыхания за счет уменьшения способности легких растягиваться во время инспирации, сопровождающегося вентиляционными нарушениями [6, 7]. Бронхолегочные осложнения — последствия анестезии и хирургической травмы, усугубляются при наличии у пациента таких факторов риска, как, например, хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), пожилой возраст, курение [8].

Использование реабилитационных мероприятий значительно снижает количество данных осложнений и уменьшает их выраженность [9]. Однако, несмотря на имеющиеся методики дыхательной гимнастики, эффективность их недостаточна [5]. В поисках повышения результативности имеющихся программ реабилитации активно используются различные персонифицированные подходы к пациенту с учетом его особенностей. В последние годы широко применяется методика развития различных навыков координации движений, в том числе в регуляции дыхания [10]. Эффективность методики управления дыханием у пациентов после открытых операций на сердце мало изучена.

Принято считать, что реакция компенсаторных ответов дыхательной системы на уменьшение способности легких растягиваться обеспечивается рецепторным влиянием от механорецепторов легких, рецепторов грудной клетки и плевры, проприорецепторами дыхательных межреберных мышц и диафрагмы, которые через центральный регулятор оказывают влияние на внешнее дыхание [11, 12]. Кроме того, в адаптивные реакции функции дыхания значительный вклад вносят и кортикальные влияния, о чем свидетельствуют психофизиологические исследования [13]. Особенно наглядно роль коры головного мозга проявляется в произвольном управлении дыханием [14, 15].

Таким образом, обоснование разработки новых методик респираторной реабилитации, повышающих реабилитационный потенциал у пациентов в ранние сроки после открытых операций на сердце, весьма актуально для решения практических вопросов кардиореабилитации.

СТРАТЕГИЯ ПОИСКА

Анализ результатов ранее опубликованных метаанализов, систематических обзоров и рандомизированных контролируемых исследований (РКИ), отражающих эффективность реабилитационных мероприятий в послеоперационном периоде в кардиохирургии, применяемых для снижения количества легочных осложнений и уменьшению их выраженности.

В поисковой системе по биомедицинским исследованиям PubMed (MEDLINE) и в РИНЦ был произведен поиск статей, опубликованных в период с 2019 по 2023 г. Этот период был выбран вследствие возросшего интереса в мире к вопросам респираторной реабилитации из-за распространения коронавируса SARS-CoV-2 и нерешенных проблем кардиореабилитации, связанных с послеоперационными легочными осложнениями [5, 16, 17]. Для поиска по медицинским предметным рубрикам (MeSH) использовались следующие термины: «коронарное шунтирование в условиях искусственного кровообращения», «коронарное шунтирование/бронхолегочные осложнения», «коронарное шунтирование/когнитивные нарушения», «когнитивные расстройства/методы сердечно-легочной реабилитации».

Результаты были ограничены опубликованными рандомизированными клиническими исследованиями, в которых сравнивались два различных вида вмешательства в лечении послеоперационных легочных осложнений после открытой операции на сердце, а также анализировалось влияние респираторных методов реабилитации на когнитивные функции.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА

1. Причины возникновения бронхолегочных осложнений при операциях на сердце

В настоящее время накоплен значительный научный материал, свидетельствующий о проблеме легочных осложнений у пациентов, перенесших операцию КШ, таких как нозокомиальная вентилятор-ассоциированная пневмония (связанная с нахождением на искусственной вентиляции легких [ИВЛ]), пневмоторакс, трахеобронхит, гидроторакс, диафрагмальная дисфункция, которые становятся причиной неблагоприятного исхода хирургического лечения при усугублении дыхательной недостаточности [18, 19]. Распространенность осложнений, приводящих к увеличению расходов и сроков лечения в стационаре, варьирует от 7,6 до 20 % в различных кардиохирургических центрах [20, 21]. Причины послеоперационных дыхательных расстройств взаимосвязаны с недостатками метода реваскуляризации миокарда на остановленном сердце в условиях ИК, со стернотомией, с проведением общей анестезии, ИВЛ [22–24], предоперационными (возраст, предоперационная легочная гипертензия, интраоперационное повреждение диафрагмального нерва) и интраоперационными факторами риска [25–28].

Так, в исследованиях Ярошецкого А.И. и др. (2020) показано, что крупное оперативное вмешательство на сердце с ИК не исключает появления синдрома системного воспалительного ответа (systemic inflammatory response syndrome, SIRS) и его неблагоприятных физиологических эффектов в работе органов и систем. Основные участники запуска SIRS — нейтрофилы, макрофаги, фактор некроза опухоли, интерлейкины-1, -2, -6, -8. Катализаторами SIRS являются хирургическая травма, контакт крови с небиологическими материалами в узлах аппарата ИК. Предполагается, что система дыхания одна из первых вовлекается в SIRS в виде постперфузионного синдрома (post-pump syndrome, PPS) [23].

Был описан рост частоты повреждения диафрагмального нерва после кардиохирургической операции [25]. Проведенные исследования показали, что это осложнение связано с холодовым повреждением во время защиты миокарда при кардиохирургических операциях или при артериотомии молочной железы. По данным авторов, это может вызвать дисфункцию диафрагмы и респираторные осложнения (ателектаз и/или консолидацию легкого).

Согласно данным литературы, причиной патофизиологии внешнего дыхания может выступать стернотомия [26, 27]. Увеличение жесткости грудной стенки, отек клетчатки средостения, а также ригидность ребер и межреберных мышц в сочетании с ожирением приводят к сдавлению альвеол извне (отрицательному транспульмональному давлению на выдохе) и нарушению альвеолярной вентиляции [28].

Не исключается возникновение легочных осложнений при использовании ИВЛ в раннем послеоперационном периоде в реанимационном отделении. Так, в исследовании Овсянникова Р.Ю. и др. (2022) сравнивались альтернативные методы, снижающие побочные эффекты вентиляционно-перфузионного сопряжения, и современные подходы к ИВЛ [29]. Нарушение гемодинамики легких, повреждение легких давлением,

пневмония, диафрагмальная дисфункция по-прежнему зависят от воздействия ИВЛ на организм [30]. Установлено, что в условиях неэффективных сокращений диафрагмы соответствующая норме вентиляция легких невозможна без реципрокных взаимодействий в работе инспираторных мышц грудной клетки [31]. По данным научных исследований, нарушение координированных взаимоотношений между группами дыхательных мышц приводит к изменению биомеханики дыхания, вызывает парадоксальные движения грудной клетки и живота, значительно снижает эффективность работы дыхательной мускулатуры [32].

2. Роль регуляции дыхания в раннем послеоперационном периоде в развитии респираторных осложнений

Реакция компенсаторных ответов дыхательной системы на уменьшение способности легких растягиваться обеспечивается рецепторным влиянием от механорецепторов легких, рецепторов грудной клетки и плевры, проприорецепторами дыхательных межреберных мышц и диафрагмы, которые через центральный регулятор оказывают влияние на внешнее дыхание [32, 33]. Расстройство взаимосвязи вентиляционно-перфузионных сопряжений со стороны легких, грудной клетки, дыхательной мускулатуры и регуляторных механизмов под влиянием различных сочетаний интраоперационных и постоперационных факторов влечет за собой напряжение адаптационных механизмов. В исследовании O'Donnell D.E. et al. (2020) показано, что возникновение потоков афферентной импульсации болевой, психогенной, хеморецепторной, проприорецепторной хаотической афферентации приводит к дезинтеграции автоматической и произвольной регуляции дыхания и нарушению биомеханики дыхания [33], ограничению дыхательных движений, снижению должной амплитуды, ритма, мощности и согласованности работы мышечных групп, дискоординации отдельных элементов, вследствие чего, помимо временной поддержки ИВЛ, требует применения комплексной программы реабилитации [34].

3. Проблемы применения легочной реабилитации после операций на сердце

В проведенных исследованиях показано снижение частоты послеоперационных бронхолегочных осложнений (ателектаз, гидроторакс, пневмония) при включении в реабилитационные мероприятия дыхательного тренинга [35, 36]. Основными задачами респираторной реабилитации являются нормализация системы внешнего дыхания, развитие силы и выносливости дыхательных мышц, увеличение легочных объемов, коррекция патологических сдвигов (улучшение отхождения мокроты, ликвидация дисателектазов, нормализация вентиляционно-перфузионных соотношений) [16–18].

Публикации, посвященные влиянию респираторной реабилитации после кардиохирургической операции, свидетельствуют об увеличении силы и выносливости дыхательных мышц после дыхательного тренинга [9, 35]. После дыхательных тренировок установлено увеличение толерантности к физической нагрузке (ТФН), снижение частоты развития заболеваний легких и сокращение сроков пребывания в стационаре [36, 37].

Однако, независимо от того, что большинство работ, посвященных респираторной реабилитации больных ИБС через год после операции КШ, свидетельствуют о повышении физической активности по сравнению с дооперационным уровнем, представлен ряд проблем, связанных с достижением максимального эффекта в профилактике бронхолегочных осложнений [5, 38].

В настоящее время во вторичной профилактике разрабатываются программы респираторной кардиореабилитации развивается во многих направлениях, с применением разных подходов. Так, к методам респираторной кардиореабилитации относят тренировку полного глубокого дыхания, тренировку локального дыхания для повышения вентиляционной способности отдельных участков легких (грудное, диафрагмальное дыхание), «звуковую» гимнастику, способствующую тренировке удлиненного выдоха путем произнесения шипящих звуков, тренировку откашливания [39]. Имеются данные об инструментальных методах направленного воздействия на дыхательную функцию при помощи дыхательных тренажеров (Threshold; Portex (Smiths Medical) Coach 2 Incentive Spirometer) [37].

Вместе с тем недостаточно проанализированы возможности коррекции легочных осложнений методом поведенческой регуляции, а также механизмы обучения.

Так, к числу центральных проблем кардиореабилитации, имеющих большое практическое значение, относится коррекция послеоперационной когнитивной дисфункции. Установлено, что пациенты после КШ в условиях ИК в раннем послеоперационном периоде медленнее осваивают сложные движения, так как многие частные проявления координационных способностей опираются на сохранность интеллекта, продуктивность психических процессов (ощущений, восприятия, памяти, мышления, способность регулировать эмоциональное состояние) [40–42], расстройство которых развивается в 2–3 раза чаще при использовании стандартного метода КШ с ИК.

Биологической основой координационных способностей являются свойства нервной системы (сила процесса возбуждения и торможения, уравновешенность нервной системы, подвижность нервных процессов), сенсорные системы (зрительная, слуховая) и их сохранность, соматосенсорные реакции (прикосновение, боль, проприорецепция) и вестибулярный отклик, продуктивность психических процессов (внимание, память, мышление), а также психологические особенности (темперамент, характер, способности) [38, 43]. Таким образом, координационные способности определяются теми патофизиологическими и психическими функциями, которые у пациентов, подвергшихся КШ в условиях ИК, имеют различные отклонения в состоянии и поведении (в дисфункции памяти, внимания, нейродинамики), что затрудняет освоение сложно координированных двигательных действий [44].

Точные механизмы послеоперационной когнитивной дисфункции остаются неясными. В ряде научных исследований было показано, что ИК вызывает значительные изменения микрососудистой реактивности, часто влекущие за собой воспаление, церебральную гипоперфузию и церебральную микроэмболию [45–48].

4. Эффективность поведенческой регуляции самоуправления дыханием в сердечно-легочной реабилитации

Проанализированы результаты двух систематических обзоров и 5 РКИ [10, 14, 15, 49–53], посвященные изучению влияния программ ранней мобилизации на параметры дыхания и когнитивные осложнения у пациентов после операции КШ. Выявлено значительное преимущество от применения технических устройств и дыхательных тренажеров, воздействующих через сенсорные системы (визуально, акустически, проприоцептивно). Когда после некоторого числа повторов испытуемый наблюдает результат выполнения упражнений, у него формируется возможность произвольно регулировать мышечные напряжения и дыхание.

Так, Okamoto J. et al. (2021) представили сравнительный анализ действия стандартной программы легочной реабилитации, включающей интервальное гипоксическое кондиционирование, тренировку дыхательных мышц, тренировку на выносливость и методику выполнения вокальных дыхательных упражнений с использованием клавишной губной гармошки. Установлено, что пациенты с ХОБЛ при использовании музыкального инструмента могли легче регулировать время и объем дыхания, добиться контроля объема выдоха и, таким образом, улучшить дыхательные объемы (ОФВ1/ФЖЕЛ), чем пациенты контрольной группы [10].

С другой стороны, большое количество наблюдений свидетельствует о том, что в адаптивную реакцию функции дыхания значительный вклад вносит поведенческое вмешательство [14, 15, 49]. Yu S., Fan H. (2023) приводят данные исследования «поведенческого вмешательства в сочетании с тренировкой дыхания» на восстановление функции легких у пациентов с респираторной патологией. По данным результатов исследования, доказано, что индивидуальные методы саморегуляции в сочетании с тренировкой дыхания корректировали когнитивную дисфункцию (внимание, мышление, способность регулировать эмоциональное состояние), респираторные симптомы (кашель, отхаркивание, одышка, стеснение в груди) и ТФН ($p < 0,05$) по сравнению с обычным уходом, лечением и рекомендациями по здоровью [15].

Однако, по данным Bentley T.G.K. et al. (2023), эффективность вмешательств снижается при длительных перерывах и тренировках без контроля инструктора по лечебной физкультуре (ЛФК) [14]. Так, исследования, проведенные Herkert C. et al. (2021), показали, что при кардиопульмональной телереабилитации на дому для пациентов с тяжелыми сочетанными сердечно-легочными заболеваниями наблюдалось снижение приверженности вследствие технологических затруднений, что указывает, по мнению авторов, «на важность интеграции техник изменения поведения с использованием адаптивных методов обучения» [53].

Существуют данные, что при полиэтиологических состояниях (неврологических, психологических расстройств) для достижения наиболее эффективного результата реабилитационных мероприятий должны применяться методические приемы, стимулирующие

более высокие проявления координационных способностей, оказывающие влияние на реагирующую и кинестетическую способность (время простой и сложной зрительно-моторной реакции, тактильно-кинестетическая точность воспроизведения заданий), которые во многом определяют эффективность управления процессом координации движений [54]. Такие методические приемы содержат дифференцирование усилий, времени, пространства и ритма движений, совершенствующих способность оценивать и отмеривать параметры движений в процессе обучения двигательному действию.

5. Методы респираторного тренинга в кардиореабилитации

Среди методов респираторной кардиореабилитации в настоящее время наиболее изучены, во-первых, упражнения на расслабление при выполнении медленного глубокого дыхания [13, 50].

Во-вторых, дыхательные тренировки [9, 37, 50, 55, 56], направленные на развитие силы и выносливости дыхательной мускулатуры для преодоления силы эластического сопротивления легких, сопротивления эластического потока в трахеобронхиальном дереве и сопротивления неэластичных тканей (например, ребра) с целью увеличения жизненной емкости легких, в том числе с помощью специального оборудования и дыхательных тренажеров. К таким тренировкам относятся тренировки с введением в контур дыхания дополнительного резистивного сопротивления посредством дыхательных тренажеров (Threshold, США) [37].

Так, Cordeiro A.L.L. et al. (2022) изучали влияние дыхательных тренировок у пациентов с высоким риском послеоперационных легочных осложнений: курящих, с ХОБЛ средней и тяжелой степени тяжести, индексом массы тела более 27 кг/м^2 . Обнаружено, что в группе с тренировками дыхательных мышц статистически снижалась частота развития ателектаза и пневмонии, что повлияло на продолжительность пребывания в стационаре (9 ± 3 дня против 12 ± 4 дня, $p = 0,04$) [51].

Dsouza F.V. et al. (2021) с помощью метаанализа при сравнении средних показателей приводят доказательства улучшения легочной функции, силы дыхательных мышц и функциональной способности у пациентов, перенесших операцию на сердце после тренировок мышц вдоха [9].

Однако данных литературы, посвященных координационной тренировке в кардиореабилитации, недостаточно. При этом влияние коррекции координационных взаимодействий дыхательной мускулатуры в развитии бронхолегочных послеоперационных осложнений наименее изучено в практике хирургической кардиореабилитации [48, 57, 58].

Так, Xiang Y. et al. (2023), проанализировавшие результаты нескольких РКИ, показали, что тренировки дыхательной мускулатуры были связаны со значительно более низким риском послеоперационной пневмонии ($p < 0,0001$) и ателектаза ($p = 0,0002$), но не оказывали влияния на снижение послеоперационного гидроторакса ($p = 0,76$) [57], что свидетельствует об ограничении экскурсий грудной клетки и поверхностном типе дыхания.

Ранее (2021) авторами обзора была разработана персоналифицированная программа респираторной кардиореабилитации, включающая методику развития навыков координации движений в регуляции дыхания [58]. Простое рандомизированное исследование включало 73 пациента (58 мужчин и 15 женщин) со стабильной ИБС, II–III функционального класса, перенесших операцию реваскуляризации коронарных артерий (КШ) с ИК. В комплексной ранней медицинской реабилитации (с 9–10-го дня по 22–25-й день) сравнивалась эффективность обучения управления своим дыханием при типовом методе групповой ЛФК и методике совершенствования координационных способностей произвольно регулировать свое дыхание при индивидуальных занятиях дыхательной гимнастикой. Обучение двигательным действиям было сопряжено с координационной подготовкой, включающей формирование умений целесообразно строить свое движение, управлять им и при необходимости быстро перестраивать его при дыхании [58].

Результаты РКИ показали, что использование методики совершенствования координационных способностей самоуправления дыханием после открытой операции на сердце повышает эффективность дыхательных упражнений предположительно вследствие совершенствования биомеханики дыхания. Испытуемые продемонстрировали более высокие показатели ТФН ($p = 0,005$) и сатурации кислорода (SpO_2 , %) при выполнении теста с физической нагрузкой ($p = 0,04$). В обеих группах снизилось количество пациентов с признаками гидроторакса, однако в экспериментальной группе по сравнению с контрольной пациентов с осложнениями было значительно меньше ($p = 0,001$) [58]. Результаты исследования

свидетельствуют, что методика обучения координации дыхания, применяемая у пациентов в ранней реабилитации после открытой операции на сердце, обеспечивает регресс послеоперационных нарушений паттерна дыхания и инспираторных усилий в компенсаторных ответах респираторной системы на послеоперационные изменения в регуляции внешнего дыхания, которые влияют на развитие бронхолегочных осложнений [58].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ результатов опубликованных исследований свидетельствует, что респираторные тренировки улучшают координационные взаимоотношения между группами дыхательных мышц в виде положительной динамики вентиляционных показателей при исследовании функции внешнего дыхания у пациентов после КШ. Однако эффективность таких тренировок может значительно варьировать в зависимости от индивидуальных особенностей пациента за счет снижения его общих координационных способностей, что требует методических подходов их совершенствования и тренировки.

Одним из важнейших путей совершенствования координационных способностей управлять своим дыханием после открытой операции на сердце является систематическое обучение двигательным умениям. Обладая большим запасом двигательных навыков, пациенты легче и быстрее справляются с послеоперационными затруднениями в управлении своим дыханием, что сопровождается более быстрым восстановлением продуктивной двигательной деятельности, позволяет уменьшить количество осложнений со стороны бронхолегочной системы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Архипова Наталья Викторовна, инструктор-методист по лечебной физкультуре кабинета реабилитации, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» Минобрнауки России.

E-mail: arkhipova.natali@list.ru, reception@kemcardio.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1163-2172>

Помешкина Светлана Александровна, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории реабилитации, ФГБНУ «НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» Минобрнауки России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3333-216X>

Быков Евгений Витальевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой спортивной медицины и физической реабилитации, ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры».

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: Архипова Н.В. — анализ данных, написание и редактирование текста статьи; Помешкина С.А. — проверка и редактирование рукописи; Быков Е.В. — 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.

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

ADDITIONAL INFORMATION

Natalya V. Arkhipova, Instructor-methodologist for Physical Therapy of Rehabilitation Room, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases.

E-mail: arkhipova.natali@list.ru, reception@kemcardio.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1163-2172>

Svetlana A. Pomeshkina, Dr.Sci. (Med.), Researcher, Rehabilitation Laboratory, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3333-216X>

Evgeniy V. Bykov, Dr.Sci. (Med.), Professor, Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture.

Author Contributions. All authors confirm their authorship in accordance with the international ICMJE criteria (all authors made significant contributions to the concept, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Arkhipova N.V. — data analysis, writing and editing the text of the article; Pomeshkina S.A. — reviewing and editing the manuscript; Bykov E.V. — project management.

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

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

Data Access Statement. The data supporting the conclusions of this study are available upon reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

- World Health Organization. Cardiovascular diseases (CVDs) Available at: https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab_1 (Accessed December 19, 2021)
- Шарапова О.В., Кича Д.И., Герасимова Л.И., Рукодайный О.В. и др. Картографический анализ показателей заболеваемости и смертности от болезней системы кровообращения населения Российской Федерации (2010–2019 гг.). Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2022; 11(1): 56–68. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2022-11-1-56-68> [Sharapova O.V., Kicha D.I., Gerasimova L.I., et al. Map analysis of morbidity and mortality from blood circulatory system diseases of the population of the Russian federation (2010-2019). Complex Issues of Cardiovascular Diseases. 2022; 11(1): 56–68. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2022-11-1-56-68> (In Russ.)]
- Семенов В.Ю., Самородская И.В. Динамика числа реваскуляризации миокарда в России и мире в 2000–2018 годах. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2021; 10(4): 68–78. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2021-10-4-68-78> [Semenov V.Yu., Samorodskaya I.V. Dynamics of the number of myocardial revascularization operations in some countries in comparison with the Russian Federation in 2000–2018. Complex Issues of Cardiovascular Diseases. 2021; 10(4): 68–78. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2021-10-4-68-78> (In Russ.)]
- Бокерия Л.А., Аронов Д.М. и др. Российские клинические рекомендации. Коронарное шунтирование больных ишемической болезнью сердца: реабилитация и вторичная профилактика. КардиоСоматика. 2016; 7 (3–4): 5–71. [Bokeria L. A., Aronov D. M. Russian clinical guidelines Coronary artery bypass grafting in patients with coronary heart disease: rehabilitation and secondary prevention. *Cardiosomatics*. 2016; 7 (3–4): 5–71 (In Russ.)]
- Архипова Н.В., Аргунова Ю.А., Помешкина Е.Е. Нерешенные вопросы в профилактике бронхолегочных осложнений у кардиохирургического пациента с позиции реабилитолога. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2021; 98(2): 65–69. <https://doi.org/10.17116/kurort20219802165> [Arkhipova N.V., Argunova Yu.A., Pomeshkina E.E. Unresolved issues in the prevention of bronchopulmonary complications in a cardiac surgery patient from the standpoint of a rehabilitation therapist. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2021; 98(2): 65–69. <https://doi.org/10.17116/kurort20219802165> (In Russ.)]
- Заболотских И.Б., Грицан А.И., Киров М.Ю. и др. Периоперационное ведение пациентов с дыхательной недостаточностью: методические рекомендации Общероссийской общественной организации «Федерация анестезиологов и реаниматологов». Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова. 2022; (4): 7–23. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2022-4-7-23> [Zabolotskikh I.B., Gritsan A.I., Kirov M.Yu., et al. Perioperative management of patients with respiratory failure: methodological recommendations of the All-Russian public organization “Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists”. *Annals of Critical Care*. 2022; 4: 7–23. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2022-4-7-23> (In Russ.)]
- Зозуля М.В., Ленкин А.И., Сотников А.В. и др. Показатели респираторной функции в раннем послеоперационном периоде у пациентов, оперированных по поводу ишемической болезни сердца в условиях искусственного кровообращения и на работающем сердце. Анестезиология и реаниматология. 2020; 4: 54–60. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202004154> [Zozulya M.V., Lenkin A.I., Sotnikov A.V., et al. Intraoperative and early postoperative respiratory function in patients with coronary artery disease undergoing on-pump or off-pump coronary artery bypass surgery. *Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology*. 2020; 4: 54–60. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202004154> (In Russ.)]
- Аргунова Ю.А., Помешкина С.А., Барбараш О.Л. Кардиореабилитация при синдроме старческой астении. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2020; 9(4): 71–79. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2020-9-4-71-79> [Argunova Yu.A., Pomeshkina S.A., Barbarash O.L. Cardiac rehabilitation and frailty (a literature review). *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2020; 9(4): 71–79. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2020-9-4-71-79> (In Russ.)]
- Dsouza F.V., Amaravadi S.K., Samuel S.R., et al. Effectiveness of Inspiratory Muscle Training on Respiratory Muscle Strength in Patients Undergoing Cardiac Surgeries: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2021; 45(4): 264–273. <https://doi.org/10.5535/arm.21027>
- Okamoto J., Furukawa Y., Kobinata N., et al. Combined effect of pulmonary rehabilitation and music therapy in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Journal of Physical Therapy Science*. 2021; 33(10): 779–783. <https://doi.org/10.1589/jpts.33.779>
- Александрова Н.П. Цитокины и резистивное дыхание. Физиология человека. 2012; 38(2): 119–129. [Aleksandrova N.P. Cytokines and resistive breathing. *Human Physiology* 2012; 38(2): 119–129 (In Russ.)]
- Глебовский В.Д. Рефлексы с рецепторов легких и дыхательных мышц и их значение в регуляции дыхания. Руководство по физиологии. Физиология дыхания. Ленинградское отделение: Наука. 1973; 115. 150 с. [Glebovskij V.D. Refleksy s receptorov legkih i dyhatel'nyh myshc i ih znachenie v regulyacii dyhaniya. *Rukovodstvo po fiziologii. Fiziologiya dyhaniya*. Leningradskoe otdelenie: Nauka. 1973; 115. 150 p. (In Russ.)]
- Kral T.R.A., Weng H.Y., Mitra V., et al. Slower respiration rate is associated with higher self-reported well-being after wellness training. *Scientific Reports*. 2023; 13(1): 15953. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43176-w>
- Bentley T.G.K., D'Andrea-Penna G., Rakic M., et al. Breathing Practices for Stress and Anxiety Reduction: Conceptual Framework of Implementation Guidelines Based on a Systematic Review of the Published Literature. *Brain Sciences*. 2023; 13(12): 1612. <https://doi.org/10.3390/brainsci13121612>
- Yu S., Fan H. Analysis of the Effect of Mindfulness Behavior Intervention Combined with Progressive Breathing Training on Pulmonary Function Rehabilitation in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Emergency Medicine International*. 2022; 2022: 1698918 <https://doi.org/10.1155/2022/1698918>
- Jimeno-Almazán A., Buendía-Romero Á., Martínez-Cava A., et al. Effects of a concurrent training, respiratory muscle exercise, and self-management recommendations on recovery from post-COVID-19 conditions: the RECOVE trial. *Journal of Applied Physiology*. 2023; 134(1): 95–104. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00489.2022>
- Azambuja A.C.M., de Oliveira L.Z., Sbruzzi G. Inspiratory Muscle Training in Patients with Heart Failure: What is New? Systematic Review and Meta-Analysis. *Physical Therapy*. 2020; 100(12): 2099–2109. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzaa171>

18. Mali S., Haghanejad H. Pulmonary complications following cardiac surgery. *Archives of Medical Science — Atherosclerotic Diseases*. 2019; 4: e280–e285. <https://doi.org/10.5114/amsad.2019.91432>
19. Takemura H. [Perioperative Management for Cardiovascular Surgery on the Patients with Pulmonary Dysfunction]. *Kyobu Geka. The Japanese Journal of Thoracic Surgery*. 2020; 73(10): 764–769. [Article in Japanese]
20. Yousefshahi F., Samadi E., Paknejad O., et al. Prevalence and Risk Factors of Hypoxemia after Coronary Artery Bypass Grafting: The Time to Change Our Conceptions. *The Journal of Tehran Heart Center*. 2019; 14(2): 74–80.
21. Hadaya J., Verma A., Marzban M., et al. Impact of Pulmonary Complications on Outcomes and Resource Use After Elective Cardiac Surgery. *Annals of Surgery*. 2023; 278(3): e661–e666. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000005750>
22. Hu J., Lv B., West R., et al. Comparison between dexmedetomidine and propofol on outcomes after coronary artery bypass graft surgery: a retrospective study. *BMC Anesthesiology*. 2022; 22(1): 51. <https://doi.org/10.1186/s12871-022-01589-6>
23. Ярошецкий А.И., Грицан А.И., Авдеев С.Н. и др. Диагностика и интенсивная терапия острого респираторного дистресс-синдрома. Клинические рекомендации Общероссийской общественной организации «Федерация анестезиологов и реаниматологов». *Анестезиология и реаниматология*. 2020; 2: 5–39. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology20200215> [Yaroshetskiy A.I., Gritsan A.I., Avdeev S.N., et al. Diagnostics and intensive therapy of Acute Respiratory Distress Syndrome. Clinical guidelines of the Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists of Russia. *Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology*. 2020; 2: 5–39. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology20200215> (In Russ.)]
24. Squicciarino E., Stasi A., Lorusso R., Paparella D. Narrative review of the systemic inflammatory reaction to cardiac surgery and cardiopulmonary bypass. *Artificial organs*. 2022; 46(4): 568–577. <https://doi.org/10.1111/aor.14171>
25. Benjamin J.J., Cascade P.N., Rubenfire M., et al. Left lower lobe atelectasis and consolidation following cardiac surgery: the effect of topical cooling on the phrenic nerve. *Radiology*, 1982; 142(1): 11–14. <https://doi.org/10.1148/radiology.142.1.6975951>
26. Locke T.J., Griffiths T.L., Mould H., Gibson G.J. Rib cage mechanics after median sternotomy. *Thorax*. 1990; 45(6): 465–468. <https://doi.org/10.1136/thx.45.6.465>
27. Ragnarsdottir M., Kristjansdottir A., Ingvarsdottir I., et al. Short-term changes in lung function and respiratory movements after heart surgery with median sternotomy. *Scandinavian Cardiovascular Journal*. 2004; 38(1): 46–52. <https://doi.org/10.1080/14017430310016658>
28. Васильев А.С., Шмырев В.И., Васильева В.В. и др. Ведущие функциональные компоненты и клиническое значение торакалгических синдромов и безболевого торакального дисфункции. *Кремлевская Медицина. Клинический вестник*. 2018; 3: 71–79. [Vasiliev A.S., Shmyrev V.I., Vasilieva V.V., et al. Leading functional components and clinical relevance of thoracalgic pain syndromes and painless thoracic dysfunction. *Kremlin medicine. Clinical bulletin*. 2018; 3: 71–79 (In Russ.)]
29. Овсянников Р.Ю., Громова Т.А., Молошнева В.А. и др. Физика и физиология вентиляционно-перфузионного сопряжения: обоснование и начальный опыт выбора конечно-эспираторного давления при механической вентиляции легких. *Журнал технической физики*. 2022; 92(7): 1004–1017. <http://doi.org/10.21883/JTF.2022.07.52658.27-22> [Ovsianikov R. I., Gromova T.A., Moloshneva V.A., et al. Physics and Physiology of Ventilation-Perfusion Coupling: Substantiation and Initial Experience of End-Expiratory Pressure Choice During Mechanical Ventilation. *Technical Physics*. 2022; 92(7): 1004–1017. <http://doi.org/10.21883/JTF.2022.07.52658.27-22> (In Russ.)]
30. Бабаев М.А., Быков Д.Б., Бирг Т.М. и др. ИВЛ-индуцированная дисфункция диафрагмы (обзор). *Общая реаниматология*. 2018; 14(3): 82–103. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2018-3-82-103> [Babaev M.A., Bykov D.B., Birg T.M., et al. Ventilator-Induced Diaphragm Dysfunction (Review). *General Reanimatology*. 2018; 14(3): 82–103. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2018-3-82-103> (In Russ.)]
31. Santana P.V., Cardenas L.Z., Albuquerque A.L.P., et al. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. 2020; 46(6): e20200064. <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20200064>
32. Миняева А.В., Миняев В.И. Зависимость соотношения и степени использования торакального и абдоминального дыхательных резервов от положения тела. *Физиологический журнал*. 1998; 24(5): 11–15. [Minyaeva A.V., Minyaev V.I. Dependence of the ratio and degree of utilisation of thoracic and abdominal respiratory reserves on body position. *Fiziologicheskij zhurnal*. 1998; 24(5): 11–15 (In Russ.)]
33. O'Donnell D.E., Milne K.M., James M.D., et al. Dyspnea in COPD: New Mechanistic Insights and Management Implications. *Advances in therapy*. 2020; 37(1): 41–60. <https://doi.org/10.1007/s12325-019-01128-9>
34. Белкин А.А., Алашеев А.М., Белкин В.А. и др. Реабилитация в отделении реанимации и интенсивной терапии (РеабИТ). Методические рекомендации Союза реабилитологов России и Федерации анестезиологов и реаниматологов. *Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова*. 2022; 2: 7–40. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2022-2-7-40> [Belkin A.A., Alasheev A.M., Belkin V.A., et al. Rehabilitation in the intensive care unit (RehabICU). Clinical practice recommendations of the national Union of Physical and Rehabilitation Medicine Specialists of Russia and of the national Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists. *Russian Federation of anesthesiologists and reanimatologists guidelines. Annals of Critical Care*. 2022; 2: 7–40. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2022-2-7-40> (In Russ.)]
35. Su H., Zhang J., Liu Y., et al. Pre and postoperative nurse-guided incentive spirometry versus physiotherapist-guided pre and postoperative breathing exercises in patients undergoing cardiac surgery: An evaluation of postoperative complications and length of hospital stay. *Medicine*. 2022; 101(52): e32443. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000032443>
36. Chen X., Hou L., Zhang Y., et al. The effects of five days of intensive preoperative inspiratory muscle training on postoperative complications and outcome in patients having cardiac surgery: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*. 2019; 33(5): 913–922. <https://doi.org/10.1177/0269215519828212>
37. Dos Santos T.D., Pereira S.N., Portela L.O.C., et al. Moderate-to-high intensity inspiratory muscle training improves the effects of combined training on exercise capacity in patients after coronary artery bypass graft surgery: A randomized clinical trial. *International Journal of Cardiology*. 2019; 279: 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.12.013>
38. Малева О.В., Трубникова О.А., Сырова И.Д. и др. Частота развития послеоперационной когнитивной дисфункции после симультанной операции на коронарных и внутренних сонных артериях при асимптомном течении церебрального атеросклероза. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски*. 2020; 120(3–2): 5–12. <https://doi.org/10.17116/jnevro20201200325> [Maleva O.V., Trubnikova O.A., Syrova I.D., et al. Incidence of postoperative cognitive dysfunction after simultaneous carotid surgery and coronary artery bypass grafting in patients with asymptomatic cerebral atherosclerosis. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2020; 120(3–2): 5–12. <https://doi.org/10.17116/jnevro20201200325> (In Russ.)]
39. Драпкина О.М., Новикова Н.К., Джиоева О.Н. Методические рекомендации: «Современные возможности и перспективы комплексной физической активности больных с сердечно-сосудистой патологией». *Профилактическая медицина*. 2020; 23(3–2): 61–119. <https://doi.org/10.17116/profmed20202303261> [Drapkina O.M., Novikova N.K., Dzhioyeva O.N. Methodological recommendations: “Current opportunities and prospects of complex physical activity of patients with cardiovascular pathology”. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2020; 23(3–2): 61–119. <https://doi.org/10.17116/profmed20202303261> (In Russ.)]
40. Yuan S.M., Lin H. Postoperative Cognitive Dysfunction after Coronary Artery Bypass Grafting. *Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery*. 2019; 34(1): 76–84. <https://doi.org/10.21470/1678-9741-2018-0165>

41. Somnuk P, Srisheewachart P, Jiraphorncharas C., et al. Early postoperative neurocognitive complications in elderly patients: comparing those with and without preexisting mild cognitive impairment- a prospective study. *BMC Geriatrics*. 2024; 24(1): 84. <https://doi.org/10.1186/s12877-024-04663-5>
42. Бернштейн Н.А. О построении движений. М.: Медгиз, 1947. 255 с. [Bernshtejn N.A. O postroenii dvizhenij. Moscow: Medgiz, 1947. 255 p. (In Russ.)]
43. Солодухин А.В., Трубникова О.А., Барбараш О.Л. Динамика показателей психологического статуса у пациентов со стабильной ишемической болезнью сердца и коронарным шунтированием. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2020; 28(2): 164–170. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2020282164-170> [Solodukhin A.V., Trubnikova O.A., Barbarash O.L. Dynamics of parameters of psychological status of patients with stable ischemic heart disease and coronary artery bypass surgery. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2020; 28(2): 164–170. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2020282164-170> (In Russ.)]
44. Trubnikova O.A., Tarasova I.V., Moskin E.G., et al. Beneficial Effects of a Short Course of Physical Prehabilitation on Neurophysiological Functioning and Neurovascular Biomarkers in Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Grafting. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2021; 13: 699259. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.699259>
45. Boovarahan S.R., Kale S.B., Prem P.N., et al. CABG Patients Develop Global DNA Hypermethylation, That Negatively Affect the Mitochondrial Function and Promote Post-Surgical Cognitive Decline: A Proof of Concept in Small Cohort. *Journal of Clinical Medicine*. 2023; 12(12): 4146. <https://doi.org/10.3390/jcm12124146>
46. Kant S., Banerjee D., Sabe S.A., et al. Microvascular dysfunction following cardiopulmonary bypass plays a central role in postoperative organ dysfunction. *Frontiers in Medicine*. 2023; 10: 1110532. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1110532>
47. Vu T., Smith J.A. An Update on Postoperative Cognitive Dysfunction Following Cardiac Surgery. *Frontiers in Psychiatry*. 2022; 13: 884907. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.884907>
48. Aquino T.N., Prado J.P., Crisafulli E., et al. Efficacy of Respiratory Muscle Training in the Immediate Postoperative Period of Cardiac Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery*. 2024; 39(1): e20220165. <https://doi.org/10.21470/1678-9741-2022-0165>
49. Allahbakhshian A., Khalili A.F., Gholizadeh L., Esmealy L. Comparison of early mobilization protocols on postoperative cognitive dysfunction, pain, and length of hospital stay in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery: A randomized controlled trial. *Applied nursing research*. 2023; 73: 151731. <https://doi.org/10.1016/j.apnr.2023.151731>
50. Zerang F, Amouzesi A., Barkhordari-Sharifabad M. Comparison of the effect of incentive spirometry and deep breathing exercises on hemodynamic parameters of patients undergoing coronary artery bypass graft surgery: A Clinical Trial. *Society for Peripheral Vascular Nursing*. 2022; 40(3): 134–139. <https://doi.org/10.1016/j.jvn.2022.08.002>
51. Cordeiro A.L.L., Carvalho B.S.C., Silva E.G.D., et al. Inspiratory muscle training and functional capacity following coronary artery bypass grafting in high-risk patients: A pilot randomized and controlled trial. *Journal of Clinical and Translational Research*. 2022; 8(4): 266–271.
52. Pengelly J., Pengelly M., Lin K.Y., et al. Exercise Parameters and Outcome Measures Used in Cardiac Rehabilitation Programs Following Median Sternotomy in the Elderly: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Heart Lung Circ*. 2019; 28(10): 1560–1570. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2019.05.098>
53. Herkert C., Graat-Verboom L., Gilsing-Fernhout J., et al. Home-Based Exercise Program for Patients with Combined Advanced Chronic Cardiac and Pulmonary Diseases: Exploratory Study. *JMIR Form Res*. 2021; 5(11): e28634. <https://doi.org/10.2196/28634>
54. Евсеева О.Э., Двейрина О.А., Аксенов А.В. Анализ программ по дисциплине «физическая культура» в части данных о требованиях к уровню физической подготовленности обучающихся специальных (коррекционных) образовательных организаций восьми видов для детей с ограниченными возможностями здоровья. *Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта*. 2016; 133(3): 80–94. [Evseeva O.E., Dveyrina O.A., Aksenov A.V. The Analysis of Programs for Discipline “Physical Culture” Regarding the Data on Requirements to the Level of Physical Fitness of the Trained of Special (Correctional) Educational Organizations of Eight Types for Children with Limited Opportunities of Health. *Uchenye Zapiski Universiteta Imeni P.F. Lesgafta*. 2016; 133(3): 80–94 (In Russ.)]
55. Eibel B., Marques J.R., Dipp T., et al. Ventilatory Muscle Training for Early Cardiac Rehabilitation Improved Functional Capacity and Modulated Vascular Function of Individuals Undergoing Coronary Artery Bypass Grafting: Pilot Randomized Clinical Trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19(15): 9340. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159340>
56. Amin R., Alaparathi G.K., Samuel S.R., et al. Effects of three pulmonary ventilation regimes in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery: a randomized clinical trial. *Sci Rep*. 2021; 11(1): 6730. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86281-4>
57. Xiang Y., Zhao Q., Luo T., Zeng L. Inspiratory muscle training to reduce risk of pulmonary complications after coronary artery bypass grafting: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2023; 10: 1223619. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1223619>
58. Помешкина С.А., Архипова Н.В., Лебедева Н.Б. и др. Эффективность применения оригинальной методики дыхательных упражнений, включающих техники мобилизации диафрагмального дыхания в комплексной ранней медицинской реабилитации пациентов, перенесших коронарное шунтирование. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2023; 12(4S): 34–43. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2023-12-4S-34-43> [Pomeshkina S.A., Arhipova N.V., Lebedeva N.B., et al. The effectiveness of using an original method of breathing exercises, including techniques for mobilizing diaphragmatic breathing in complex early medical rehabilitation of patients who have undergone coronary artery bypass surgery. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2023; 12(4S): 34–43. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2023-12-4S-34-43> (In Russ.)]

Медицинская реабилитация после травм нижних конечностей у пациентов с сахарным диабетом: обзор литературы

 Васильева В.А.*  Марченкова Л.А.,  Ответчикова Д.И.,  Рожкова Е.А.,  Фесюн А.Д.

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

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Сахарный диабет (СД) у пациентов с травмами нижних конечностей является глобальной проблемой здравоохранения. Сочетание этих патологий у одного пациента требует проведения реабилитационных мероприятий для восстановления максимальной функциональной активности и поддержания исходного качества жизни пациентов. СД как самостоятельная патология оказывает негативное влияние на здоровье пациента, а также отягощает течение восстановительного периода после травматического повреждения костей, увеличивая риск неблагоприятных исходов в раннем и позднем послеоперационном периодах.

ЦЕЛЬ. Проанализировать научные данные за 2013–2023 гг. о применении методов медицинской реабилитации у пациентов с травмами нижних конечностей и сахарным диабетом.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Поиск проводился в источниках Web of Science, PubMed и Scopus в соответствии с принципами PRISMA и выявил первоначально 181 запись. Из них 45 статей были включены в исследование с публикацией 2013–2023 гг. Были использованы ключевые слова: «lower limb injuries», «diabetes mellitus», «rehabilitation», «mechanotherapy», «physical therapy», «physiotherapy». В обзоре литературы проводится анализ публикаций, на основании которого сделан вывод о том, что при травмах нижних конечностей у пациентов с СД необходимо участие специалистов мультидисциплинарной команды для составления оптимальной реабилитационной программы, нацеленной на предотвращение возникновения осложнений и их прогрессирования, на достижение скорейшего и полного восстановления утраченных функций. Персонализированный подход, индивидуально подобранные методы терапии и применение современных технологий помогут достичь наилучших результатов в восстановлении пациентов с СД и травмами нижних конечностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В обзоре сформулирован вывод об основных задачах реабилитации, которые включают: контроль уровня глюкозы и метаболических нарушений; осмотр и уход за поврежденными тканями с целью профилактики развития язв и инфицирования травмированных кожных покровов; постепенное увеличение физической нагрузки; цели должны учитывать индивидуальные особенности пациента; использование методов физиотерапии для улучшения микроциркуляции и активации регенерации тканей (чрескожная электронейростимуляция (ЧЭНС), электрофорез, магнитные поля, ультратонотерапия, криотерапия, лазеротерапия, дарсонвализация, импульсные электрические поля, ультразвуковая терапия, озокеритотерапия и пелоидотерапия); применение механотерапии с биологической обратной связью и роботизированных систем для повышения общей выносливости, силовых показателей, улучшения функции баланса и формирования правильного стереотипа ходьбы (реабилитационная дорожка с визуальной обратной связью о ходьбе C-Mill).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сахарный диабет, реабилитация, травмы нижних конечностей, роботизированная механотерапия, физическая терапия, физиотерапия.

Для цитирования / For citation: Васильева В.А., Марченкова Л.А., Ответчикова Д.И., Рожкова Е.А., Фесюн А.Д. 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., Rozhkova E.A., Fesyun A.D. 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.)]

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

Статья получена: 24.04.2024
Статья принята к печати: 14.06.2024
Статья опубликована: 17.06.2024

Medical Rehabilitation after Lower Limb Injuries in Patients with Diabetes Mellitus: a Review

 Valeriia A. Vasileva*,  Larisa A. Marchenkova,  Daria I. Otvetchikova,  Elena A. Rozhkova,  Anatoliy D. Fesyun

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

ABSTRACT

INTRODUCTION. Diabetes mellitus (DM) in patients with lower extremity injuries is a global health problem. The combination of these pathologies in one patient requires rehabilitation measures to restore maximum functional activity and maintain the patients' initial quality of life. Diabetes as an independent pathology has a negative impact on the patient's health and also aggravates the recovery period after traumatic bone injury, increasing the risk of adverse outcomes in the early and late postoperative periods.

AIM. To analyze the scientific data of the last ten years on the use of medical rehabilitation methods in patients with lower extremity injuries and diabetes mellitus.

MAIN CONTENT. The search was conducted in Web of Science, PubMed, and Scopus according to PRISMA guidelines and initially identified 181 records. Of these, 45 articles were included in the study with publication periods 2013–2023. Key words used: lower limb injuries, diabetes mellitus, rehabilitation, mechanotherapy, physical therapy, physiotherapy. The literature review analyzes publications on the basis of which a description is made that in case of injuries of the lower extremities in patients with diabetes, the participation of specialists from a multidisciplinary team is necessary to draw up an optimal rehabilitation program aimed at preventing the occurrence of complications and their progression, achieving a speedy and complete recovery of lost functions. A personalized approach, individually selected therapy methods and the use of modern technologies will help achieve the best results in the recovery of patients with diabetes and lower extremity injuries.

CONCLUSION. The review formulated a conclusion about the main objectives of rehabilitation: which include: control of glucose levels and metabolic disorders; examination and care of damaged tissues in order to prevent the development of ulcers and infection of injured skin; gradual increase in physical activity; goals should take into account the individual characteristics of the patient; the use of physiotherapy methods to improve microcirculation and activate tissue regeneration (transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS), electrophoresis, magnetic fields, ultrasonotherapy, cryotherapy, laser therapy, darsonvalization, pulsed electric fields, ultrasound therapy, ozokerite therapy and peloid therapy); the use of mechanotherapy with biofeedback and robotic systems to increase overall endurance, strength, improve balance function and form the correct walking stereotype (rehabilitation track with visual feedback about walking C-Mill).

KEYWORDS: diabetes mellitus, rehabilitation, lower limb injuries, robotic mechanotherapy, physical therapy, physiotherapy.

For citation: Vasileva V.A., Marchenkova L.A., Otvetchikova D.I., Rozhkova E.A., Fesyun A.D. 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>

* **For correspondence:** Valeriia A. Vasileva, E-mail: vasilevava@nmcirk.ru

Received: 24.04.2024

Accepted: 14.06.2024

Published: 17.06.2024

ВВЕДЕНИЕ

С изменением образа жизни за последние десятилетия, снижением физической активности населения и развитием культуры «быстрого» питания сахарный диабет 2-го типа (СД2) стал распространенным заболеванием во всем мире. С 2000 г. глобальная заболеваемость СД2 увеличилась втрое [1]. Общая численность пациентов с СД в Российской Федерации, состоящих на диспансерном учете на 01.01.2021, по данным ФГБУ «Эндокринологический научный центр» Минздрава России, составляет 4 799 552 человека (3,23 % населения Российской Федерации), из них с сахарным диабетом 1-го типа (СД1) — 5,5 % (265,4 тыс.), с СД2 — 92,5 % (4,43 млн) [2, 3]. С совершенствованием подходов к гипогликемической терапии СД значительно увеличилась и продолжительность жизни этих пациентов. Таким образом, образовывается большая популяция лиц с СД, которые имеют функциональные ограничения вследствие ос-

ложнений диабета, возрастных изменений или травм, следовательно, они нуждаются в реабилитации. Установлено, что СД представляет основную глобальную причину сокращения срока жизни без инвалидности и увеличения лет жизни, прожитых с инвалидностью (years lived with a disability, YLD). При этом у каждого четвертого пациента с СД2 заболевание и его осложнения остаются недиагностированными, даже в развитых странах [4].

Диабетическая нейропатия (ДН) служит основной причиной формирования функциональных ограничений у лиц с СД [5]. Характерными жалобами пациентов с ДН являются: боль (тупая и симметричная, в дистальных частях нижних конечностей и стопах); парестезии (покалывание, зябкость, ползание мурашек); жжение или онемение в нижних конечностях; судороги в мышцах голени и стоп; слабость; вегетативно-трофические нарушения, вплоть до формирования трофических язв и деформирующей остеоартропатии (ДОАП).

Таким образом, на фоне СД могут развиваться следующие функциональные нарушения [5, 6]:

- ограничения в мобильности;
- ухудшение координации и стабильности при ходьбе;
- снижение силы и гибкости;
- проблемы с мелкой моторикой;
- сенсорный дефицит;
- ограничение самообслуживания.

Развитие у пациента осложнений СД, особенно ДН, требует комплексного подхода, который включает не только медикаментозное лечение, но и медицинскую реабилитацию. Основными свойствами универсального воздействия и требованиями, предъявляемыми к физиотерапевтическим методам для лечения ДН, являются неинвазивность, эффективность и безопасность. Не существует единого подхода к реабилитации пациентов с СД, однако имеется значительная научная база, демонстрирующая эффективность и безопасность применения физиотерапии, рефлексотерапии и методы лечебной физкультуры (ЛФК) [6].

ЦЕЛЬ

Проанализировать научные данные за 2013–2023 гг. о применении методов медицинской реабилитации у пациентов с травмами нижних конечностей и сахарным диабетом.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА

Методы реабилитации при сахарном диабете

Согласно клиническим рекомендациям Минздрава России, пациенту с СД2 в отсутствие значимой метаболической декомпенсации и без выраженных стадий осложнений для улучшения общего состояния здоровья может быть рекомендовано санаторно-курортное лечение — бальнеологические курорты с питьевыми минеральными водами и водами минеральными природными для наружного бальнеотерапевтического применения. Целесообразно использование таких факторов, как диетическая терапия, ЛФК [7].

У пациентов с ДН рекомендуется достижение и поддержание индивидуальных целевых показателей углеводного обмена и уход за ногами для предотвращения прогрессирования осложнения и минимизации риска развития трофических язв. У пациентов с ДААП рекомендуется проводить регулярные консультации врача-травматолога-ортопеда для подбора индивидуального ортопедического пособия (обуви, ортезов и т. д.) [7].

Реабилитация пациентов с сочетанной сердечно-сосудистой патологией включает в себя поддержание индивидуальных целевых показателей и липидного обмена и артериального давления, а также работу с другими факторами риска. При сопутствующих заболеваниях артерий нижних конечностей рекомендуется активное динамическое наблюдение сердечно-сосудистого хирурга с регулярным контролем ультразвукового дуплексного сканирования артерий нижних конечностей и применение дезагрегантной терапии при необходимости [7].

Целью физиотерапии при реабилитации пациентов с ДН является обеспечение обезболивающего и противовоспалительного эффекта, улучшение микроциркуляции и метаболизма в нижних конечностях, а также по возможности восстановление утраченных сенсор-

ных функций. Бальнеотерапевтические процедуры воздействуют на организм через рефлекторные и гуморальные механизмы. Минеральные воды, обладая определенной температурой, химическим составом и гидростатическими свойствами, оказывают воздействие в первую очередь на рецепторы кожи и слизистых оболочек [7].

ЛФК применяется у пациентов с СД и осложнениями с целью усиления терапевтического эффекта физиотерапевтических методов и восстановления базовых двигательных функций. Кроме того, физическая нагрузка может обеспечить лучшую регуляцию гликемии, предотвращение прогрессирования осложнений, обеспечить поддержку нормальной массы тела, улучшение функционального состояния нервной системы, расширение диапазона адаптационных возможностей к физическим нагрузкам, а также улучшение психоэмоционального состояния и обеспечение высокого качества жизни [6, 7].

Таким образом, к методам реабилитации при СД можно отнести следующие [6–9]:

- 1) ЧЭНС;
- 2) локальная флюктуоризация;
- 3) лекарственный электрофорез с введением противовоспалительных препаратов;
- 4) магнитные поля;
- 5) ультратонотерапия;
- 6) локальная криотерапия;
- 7) лазеротерапия;
- 8) местная дарсонвализация;
- 9) импульсные электрические поля;
- 10) ультразвуковая терапия;
- 11) озокеритотерапия и пелоидотерапия;
- 12) минеральные ванны;
- 13) массаж (классический, пневмомассаж, тайский);
- 14) иглорефлексотерапия и акупунктура;
- 15) лечебная гимнастика и гидрокинезотерапия;
- 16) дозированная ходьба;
- 17) механотерапия.

Глобальное бремя травмы нижних конечностей

Проблема травматизма распространена по всему миру и до сих пор является серьезным вызовом для общественного здравоохранения, имеет медицинское, социальное и экономическое значение. Годовой прирост травм составляет от 1,5 до 10 %. Таким образом, травма представляет собой пандемию, которая, по прогнозам, станет второй наиболее распространенной причиной потери лет жизни с поправкой на инвалидность в течение следующих 13 лет [10]. Среди причин травм дорожно-транспортные происшествия занимают от 1,5 до 16 %, причин инвалидности — от 28,4 до 30 %, смертности — от 11 до 33,2 %. Число пациентов, умерших от травматических повреждений и получивших лечение в связи с непреднамеренными падениями, резко возросло за последнее десятилетие, причем более половины этого прироста приходится на пациентов старше 65 лет [11].

По данным Gubin M. et al. (2022), в России первое место в структуре травм у взрослых трудоспособного возраста занимают травмы области голеностопного сустава и стопы. За последние 3 года их количество значи-

тельно увеличилось, аналогично числу травм запястья и кисти, занимающих второе место. Травмы колена и голени находятся на третьем месте по распространенности. При этом пациенты с переломами костей нижних конечностей составляют от 8,5 до 25 % общего количества пострадавших с переломами костей опорно-двигательного аппарата [12].

Поскольку травмы нижних конечностей приводят к значительному ограничению двигательных функций, данные состояния требуют своевременной и грамотной программы реабилитации. Для них характерен длительный период восстановления и/или сращения в случае перелома, контрактуры, нарушение конгруэнтности суставных поверхностей и нарушение двигательных функций и стереотипа походки. Длительная консолидация перелома, стойкие контрактуры суставов приводят к изменениям биомеханики опорно-двигательного аппарата в целом и потере социальной активности. Глобальное бремя травм нижней конечности формируется также за счет значительного снижения качества жизни пациентов, продолжительного и часто дорогостоящего лечения, утраты трудоспособности, высокой инвалидизации и утраты способности к самообслуживанию [13, 14].

Реабилитация при травме нижних конечностей

Полноценная реабилитация при травмах нижних конечностей позволяет устранить асимметрию конечностей, купировать боль и восстановить двигательную активность. Поскольку длительная иммобилизация способствует прогрессированию двигательных нарушений, для их предотвращения и сокращения срока восстановления рекомендовано раннее начало проведения реабилитационных мероприятий. Реабилитационное лечение существенно сокращает сроки восстановления, минимизирует риск возникновения осложнений со стороны опорно-двигательного аппарата, при этом отсутствие реабилитации может провоцировать развитие остеоартрита, нарушений координации, формирование патологической походки и хронического болевого синдрома [13].

Программа реабилитации составляется с учетом общего состояния пациента, его нервно-психического статуса, способа иммобилизации, характеристик перелома и других факторов. В травматологической практике выделяют три периода: период иммобилизации, постиммобилизации и восстановительный. Цель периода иммобилизации — обеспечить условия для максимально возможной моторной активности пациента [10].

Реабилитационные мероприятия начинают с назначения ЛФК сразу после поступления в лечебное учреждение. В рекомендациях Национального института здравоохранения и совершенствования медицинской помощи Великобритании (NICE) указано, что следует начинать реабилитацию как можно скорее и избегать задержек. К восстановлению двигательной функции приступают уже в иммобилизационном периоде. Начинать реабилитацию рекомендуется с упражнений с нагрузкой собственным весом [15].

На 2–3-й день после травмы рекомендуется приступать к массажу выше или ниже гипсовой повязки. В зоне перелома разрешены поглаживание, поколачивание,

легкая вибрация. В раннем периоде возможно использовать методы пассивной гимнастики. Для уменьшения болей и отека на фоне воспалительной реакции применяют методы физиотерапии. Физиотерапевтические методы также включают низкочастотную магнитотерапию, ультравысокочастотную терапию, электрофорез анальгетиков и другие процедуры. В постиммобилизационный период применяют аналогичные методы с постепенным увеличением нагрузки. В некоторых центрах реабилитации применяется кинезиотейпирование, которое может оказывать положительное воздействие на мышечную систему [11].

В постиммобилизационном периоде показаны дренажный массаж и электростимуляция мышц для восстановления сенсорной функции, улучшения микроциркуляции крови и оттока лимфы. В функциональном и тренировочном периодах реабилитационный комплекс расширяется и усложняется. Силовые тренировки с постепенно увеличивающейся нагрузкой и аэробные упражнения позволяют поддерживать мышечную массу, повысить выносливость и обеспечить как сохранение, так и восстановление двигательных функций [12].

Противопоказания к ЛФК включают в себя: общее тяжелое состояние пациента; признаки интоксикации; стойкий болевой синдром; увеличенный риск кровотечения. Основные методы ЛФК включают в себя: лечение положением; идеомоторные упражнения, общеразвивающие упражнения для здоровых конечностей, динамические упражнения для свободных от иммобилизации суставов поврежденной конечности; ходьбу при травмах верхних конечностей; ходьбу на костылях при повреждении нижних конечностей; изометрические упражнения для неповрежденной и травмированной конечности (в случае сопоставления отломков), а также дыхательную гимнастику. При выполнении упражнений важно избегать усиления боли. Первые сеансы проводятся под контролем инструктора ЛФК, затем пациент выполняет упражнения самостоятельно 2–3 раза в день [14].

Особое внимание стоит уделить нарушениям походки у лиц после травм нижних конечностей. Во избежание формирования патологического стереотипа ходьбы важно своевременно оценить функцию походки в пациента и назначить соответствующие реабилитационные методики [15].

Реабилитация после травм нижних конечностей может проводиться как в стационарных, так и в домашних условиях с подключением дистанционного телемедицинского контроля, ставшего популярным на фоне недавней пандемии COVID-19. Срок восстановления зависит от функционального состояния конечности. В рекомендациях NICE также советуют оценить, есть ли у человека когнитивные, слуховые, зрительные, коммуникативные нарушения или эмоциональные проблемы, которые могут повлиять на эффективность реабилитации и качество жизни. Важной составляющей частью реабилитации является психологическая поддержка и психотерапия, что помогает пациенту справиться с эмоциональными, когнитивными и психосоматическими последствиями травмы. При необходимости в программу реабилитации включают трудотерапию, арт-терапию, работу с логопедом [10–15].

Особенности восстановления после травмы нижних конечностей у пациентов с СД

Учитывая высокую распространенность таких состояний, как СД и травмы, а также потребность этих пациентов в реабилитационных мероприятиях, медицинским работникам стоит уделить внимание специфике восстановительного периода и выбору лучших реабилитационных подходов в данной группе лиц. Тем не менее существует дефицит исследований, касающихся последствий травм у пациентов с СД, и в зарубежной, и в отечественной научной литературе [7].

Основываясь на данных о патофизиологических процессах при хронической гипергликемии, можно предположить, что на фоне СД и ДН период восстановления после травмы нижних конечностей будет более длительным, а риск развития осложнений — более высоким по сравнению с пациентами без коморбидной патологии. Таким образом, данные пациенты требуют особого подхода и пристального внимания со стороны врачей-реабилитологов [16].

Известно, что наличие СД служит независимым фактором худшего прогноза, отягощает исходы травмы и ассоциировано с высокой госпитальной смертностью у пациентов травматологических отделений [17–20].

В исследовании Daly S.L. et al. (2022) изучались связи между наличием СД2 и клиническими исходами у пациентов старше 45 лет с тяжелыми травмами в условиях системы здравоохранения США [17]. Период наблюдения составил 24 месяца. Из 11 490 участников, доживших до выписки из больницы, 8493 оставались живы через 2 года после травмы. Из них 953 человека (11 %) страдали СД2, 7540 человек (89 %) не имели нарушений углеводного обмена. У участников исследования с СД2 наблюдался более высокий уровень внутрибольничной смертности по сравнению с пациентами без СД2 (19 % против 16 % соответственно; $p < 0,001$). В группе пациентов с СД2 по сравнению с группой пациентов без СД2 через 24 месяца после травмы наблюдались худшие показатели физического функционирования по расширенной шкале исходов Глазго (отношение шансов [ОШ] 0,58, 95 %-й доверительный интервал [ДИ] 0,48–0,69) и более низкий шанс возвращения к работе или учебе (ОШ 0,51, 95 % ДИ 0,37–0,71). Пациенты с СД2 имели более высокий риск возникновения проблем с мобильностью (ОШ 1,92, 95 % ДИ 1,60–2,30), самообслуживанием (ОШ 1,94, 95 % ДИ 1,64–2,29), повседневной деятельностью (ОШ 1,50, 95 % ДИ 1,26–1,79), возникновения боли и дискомфорта (ОШ 1,75, 95 % ДИ 1,49–2,07), развития тревоги и депрессии (ОШ 1,45, 95 % ДИ 1,24–1,70) или инвалидности (ОШ 1,51, 95 % ДИ 1,28–1,79). Авторы заключили, что у пациентов с тяжелой травмой и СД2 прогноз хуже, чем у пациентов без СД2, как во время госпитализации, так и через 24 месяца после травмы [17].

Beaulieu R.A. et al. (2014) в своем наблюдательном исследовании в условиях реальной клинической практики также установили, что пациенты с диагнозом СД из травматологических клиник чаще выписывались не домой, а в другие больницы, хосписы и дома престарелых [18].

Tebby J. et al. (2014) ретроспективно оценили влияние СД на исходы у пациентов с множественными повреждениями [19]. Было проанализировано 5489 исто-

рий болезни пациентов с политравмой, у 222 из них был СД, у 2558 пациентов не было сопутствующих заболеваний, еще у 2709 лиц имелась коморбидная патология, но не было СД. Более высокий уровень смертности был обнаружен в группе пациентов с СД по сравнению с лицами без хронических заболеваний (32,4 % против 12,9 %, $p < 0,05$). Исследователи установили, что частота осложнений, включая почечную недостаточность, инфаркт миокарда, острый респираторный дистресс-синдром, тромбоэмболию легочной артерии и тромбоз глубоких вен, выше в группе пациентов с СД [19].

Более тяжелое течение травмы объясняется низкими функциональными и регенеративными резервами организма на фоне хронической гипергликемии, сниженным иммунным ответом, нарушениями микроциркуляции и поражением нервной ткани. Кроме того, наличие СД может исказить клиническую картину самой травмы и ее осложнений по причине нарушений чувствительности на фоне ДН, что создает определенные трудности в диагностике. Среди осложнений травм нижней конечностей артрофиброз является одним из типичных состояний, риск которого повышается при наличии у пациента СД и при длительной иммобилизации. Кроме того, у пациентов с СД и ДН минимальные повреждения на ногах могут приводить к формированию трофических язв, которые требуют назначения дополнительного лечения, повышают риск сепсиса и нетравматических ампутаций. Перелом на фоне диабета может длительно срастаться и осложняться остеомиелитом [20].

Таким образом, любая травма и повреждение нижних конечностей у лиц с СД требует внимательного подхода, качественного оказания медицинской помощи и применения наиболее эффективных и современных методов реабилитации.

Подходы к реабилитации пациентов с травмой нижних конечностей и СД

На фоне СД травма нижних конечностей протекает тяжелее, чем у лиц без коморбидной патологии. Чтобы улучшить исходы пациентов, не допустить развития и прогрессирования осложнений, добиться максимально возможного восстановления трудоспособности, физического и социального функционирования, реабилитационные мероприятия у данной категории лиц должны быть тщательно подобраны. Допустимо использовать все методы, применяемые при СД и при травмах нижних конечностей по отдельности [6, 7].

Не стоит забывать о первостепенном значении коррекции гипергликемии и сопутствующих метаболических нарушений. Все реабилитационные мероприятия должны проводиться на фоне грамотно подобранной сахароснижающей терапии, при целевых значениях глюкозы крови, пульса и артериального давления, адекватной гидратации, вне состояния ацидоза [21].

У лиц с СД необходимо особое внимание уделять осмотру поврежденных тканей и послеоперационной раны, если таковая имеется. Регулярная смена повязки и качественная санация, своевременное выявление признаков присоединения гнойной инфекции позволит избежать осложнений и формирования трофических язв [22].

Старт реабилитации должен быть максимально щадящим, поскольку физические резервы у пациентов с СД, как правило, снижены, особенно у пожилых, длительно страдающих СД на фоне неудовлетворительной компенсации, и при значительной массе тела [14].

Следует ставить реалистичные цели реабилитации, стараться действовать поэтапно и постепенно, с пониманием контекста и бытовых условий самого пациента, учетом его предпочтений и ожиданий, что повысит мотивацию, приверженность и обеспечит лучший результат [15].

Реабилитационная программа обязательно должна включать методы физиотерапии, так как именно они имеют максимальный метаболический эффект и оказывают интенсивное местное действие, позволяя добиться улучшения микроциркуляции и кровообращения в зоне травмы, тем самым ускоряя процессы регенерации. ЧЭНС и другие методы стимуляции нервов обоснованы у лиц с выраженной ДН [23].

Регулярная адекватная физическая нагрузка позволит повысить адаптационные резервы организма, выносливость, силу и гибкость. Кроме того, известно, что физическая нагрузка способствует нормализации уровня глюкозы в крови. Предпочтительным выглядит применение методов механотерапии с биологической обратной связью (БОС). Данные методы включают в себя тренировки с применением специальных высокотехнологичных тренажеров, разработанных с учетом особенностей биомеханики опорно-двигательного аппарата и обеспечивающих мониторинг витальных функций пациента в реальном времени, что позволяет получать информацию о состоянии организма, недоступную при обычных условиях [24]. Подобные тренажеры доказательно более эффективны и обеспечивают лучший комплаенс, нетравматичны и позволяют подобрать оптимальную дозированную нагрузку. Для пациента это позволяет персонализировать физическую терапию, делая ее более специфической.

Нарушения двигательных функций и патологическая походка, характерные для травм нижних конечностей, также требуют диагностики и коррекции у пациентов с СД. Формирование правильного стереотипа ходьбы возможно также при использовании специальных тренажеров в виде беговых дорожек с БОС [25]. Данный метод способствует скорейшему восстановлению утраченных функций и навыков, так как основан на принципах нейропластичности — способности нервной системы изменять свою структуру и функцию под воздействием опыта и обучения. Примером такого подхода может стать реабилитационная дорожка с визуальной обратной связью о ходьбе C-Mill, которая широко используется в медицинской практике и существенно улучшает показатели динамики ходьбы и устойчивости у пациентов различных медицинских групп. Роботизированные сис-

темы применяются как для выполнения простых и повторяющихся движений, так и для осуществления более сложной, контролируемой мультисенсорной стимуляции пациентов. Это способствует увеличению уровня активности и участия пациентов, что в дальнейшем благоприятно сказывается на их состоянии. Данный метод физической терапии, основанный на принципах моторного обучения, отличается эффективностью и безопасностью, позволяет провести объективную оценку результатов реабилитационного курса [26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. СД и травмы нижних конечностей являются глобальной проблемой здравоохранения. Эти состояния требуют проведения реабилитационных мероприятий для восстановления максимальной функциональности и качества жизни пациентов. Наличие СД отягощает течение восстановительного периода после травм, а также служит независимым фактором неблагоприятных исходов, смерти, развития ранних и поздних осложнений.

2. При травмах нижних конечностей у пациентов с СД необходимо особое внимание, комплексный подход и участие мультидисциплинарной команды для составления оптимальной реабилитационной программы, нацеленной на предотвращение прогрессирования и развития осложнений, достижение скорейшего и полного восстановления функций. Персонализированный подход, индивидуально подобранные методы терапии и применение современных технологий помогут достичь наилучших результатов в реабилитации пациентов с СД и травмами нижних конечностей.

3. Основные стратегии реабилитации включают: динамическое наблюдение, контроль уровня глюкозы, предотвращение метаболических нарушений; обработка поврежденных кожных покровов, предупреждение развития язв и их инфицирования; повышение адаптационных возможностей организма; цели реабилитации должны быть реалистичны, учитывать индивидуальные особенности пациента.

4. Методы восстановительного лечения при данных патологиях основаны на использовании физиотерапии для улучшения микроциркуляции и активации регенерации тканей (ЧЭНС, электрофорез, магнитные поля, ультратонотерапия, криотерапия, лазеротерапия, дарсонвализация, импульсные электрические поля, ультразвукотерапия, озокеритотерапия и пелоидотерапия); применении механотерапии с биологической обратной связью и роботизированных систем для повышения общей выносливости, силовых показателей, улучшения функции баланса и формирования правильного стереотипа ходьбы (реабилитационная дорожка с визуальной обратной связью о ходьбе C-Mill).

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Васильева Валерия Александровна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.
E-mail: vasilevava@nmicrk.ru;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6526-4512>

Марченкова Лариса Александровна, доктор медицинских наук, руководитель научно-исследовательского управления, заведующая отделом соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия, главный научный сотрудник, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1886-124X>

Ответчикова Дарья Игоревна, научный сотрудник отдела соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6939-3664>

Рожкова Елена Анатольевна, доктор биологических наук, профессор кафедры восстановительной медицины, физической терапии и медицинской реабилитации ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2440-9244>

Фесюн Анатолий Дмитриевич, доктор медицинских наук, профессор кафедры организации здравоохранения и санаторно-курортного дела, и.о. директора ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3097-8889>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям

ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующими образом: Васильева В.А. — набор материала, обработка и анализ данных, написание статьи, формулирование выводов; Марченкова Л.А. — концепция протокола исследования, формулирование выводов, корректировка текста статьи; Ответчикова Д.И. — набор материала; Рожкова Е.А. — корректировка текста статьи; Фесюн А.Д. — концепция протокола исследования, формулирование выводов.

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

Конфликт интересов. Фесюн А.Д. — главный редактор журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов.

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

ADDITIONAL INFORMATION

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

E-mail: vasilevava@nmicr.ru;

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

Larisa A. Marchenkova, Dr.Sci. (Med.), Head of the Research and Development Department, Leading Researcher, Head of Somatic Rehabilitation, Active Longevity and Reproductive Health Department, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

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

Daria I. Otvetchikova, Traumatologist, Researcher, Somatic Rehabilitation, Active Longevity and Reproductive Health Department, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6939-3664>

Elena A. Rozhkova, Dr.Sci. (Biol.), Professor at the Department of Rehabilitation Medicine, Physical Therapy and Medical Rehabilitation, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2440-9244>

Anatoliy D. Fesyun, Dr.Sci. (Med.), Professor, Department of Healthcare Organization and Health Resorts, Acting Director,

National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3097-8889>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Vasileva V.A. — set of research material, processing and analysis of data, writing an article, formulating conclusions; Marchenkova L.A. — concept of the research of the study, correction of the text of the article; concept of the research protocol, formulation of conclusions; Otvetchikova D.I. — set of research material; Rozhkova E.A. — correction of the text of the article; Fesyun A.D. — concept of the research of the study, formulation of conclusions.

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

Disclosure. Fesyun A.D. — Editor-in-Chief of the Journal "Bulletin of Rehabilitation Medicine". Other authors declare of no potential conflict of interests.

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

Список литературы / References

1. National Diabetes Statistics Report 2020: Estimates of Diabetes and Its Burden in the US. Centers for Disease Control and Prevention. 2020; Available at: <https://diabetesresearch.org/wp-content/uploads/2022/05/national-diabetes-statistics-report-2020.pdf>. Accessed September 4, 2023
2. 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. 2023; 26(2): 104–123. <https://doi.org/10.14341/DM13035> (In Russ.)]
3. Куркин Д.В., Макарова Е.В., Крысанов И.С. и др. Характеристики закупок сахароснижающих лекарственных средств в коммерческом секторе в динамике за 2016–2020 гг. Проблемы Эндокринологии. 2023; 69(4): 50–60. <https://doi.org/10.14341/probl13200> [Kurkin D.V., Makarova E.V., Krysanov I.S., et al. Characteristics of purchases of hypoglycemic drugs in the commercial sector in dynamics for 2016–2020. Problems of Endocrinology. 2023; 69 (4): 50–60. <https://doi.org/10.14341/probl13200> (In Russ.)]

4. Gyasi R.M., Odei J., Hambali M.G., et. al. Diabetes mellitus and functional limitations among older adults: Evidence from a large, representative Ghanaian aging study. *Journal of Psychosomatic Research*. 2023; 174: 111481. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2023.111481>
5. Feldman E.L., Callaghan B.C., Pop-Busui R., et. al. Diabetic neuropathy. *Nature Reviews Disease Primers*. 2019; 5(1): 41. <https://doi.org/10.1038/s41572-019-0092-1>
6. Васильева В.А., Марченкова Л.А. Современные методы лечения диабетической нейропатии (обзор литературы). Арбатские чтения: Сборник научных трудов. 2020; 2: 8–18. <https://doi.org/10.38006/907345-21-8.2020.8.18> [Vasilyeva V.A., Marchenkova L.A. Modern methods of treating diabetic neuropathy (literature review). *Arbat readings: Collection of scientific works*. 2020; 2: 8–18. <https://doi.org/10.38006/907345-21-8.2020.8.18> (In Russ.)]
7. Федеральные клинические рекомендации. Сахарный диабет 2-го типа у взрослых. 2022. 251 с. [Federal'nye klinicheskie rekomendacii. Saharnyj diabet 2 tipa u vzroslyh. 2022. 251 p. (In Russ.)]
8. Марченкова Л.А., Чесникова Е.И., Васильева В.А. и др. Способ реабилитации пациентов с сенсоромоторной формой диабетической нейропатии нижних конечностей. Патент RU 2784306 C1, 23.11.2022. [Marchenkova L.A., Chesnikova E.I., Vasilyeva V.A., et al. Method for rehabilitation of patients with sensorimotor form of diabetic neuropathy of the lower extremities. Patent RU 2784306 C1, 23.11.2022 (In Russ.)]
9. O'Hagan C., De Vito G., Boreham C.A. Exercise prescription in the treatment of type 2 diabetes mellitus: current practices, existing guidelines and future directions. *Sports Medicine*. 2013; 43(1): 39–49. <https://doi.org/10.1007/s40279-012-0004-y>
10. Дементьев А.С., Журавлева Н.И., Кочетков С.Ю., Чепанова Е.Ю. Травматология и ортопедия. Стандарты медицинской помощи: справочное издание. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 752 с. [Dementyev A.S., Zhuravleva N.I., Kochetkov S.Yu., Chepanova E.Yu. *Travmatologiya i ortopediya. Standarty medicinskoj pomoshchi: spravochnoe izdanie*. M.: GEOTAR-Media, 2018. 752 p. (In Russ.)]
11. Бодрова Р.А., Петрова Р.В., Делян А.М. и др. Современный подход к реабилитации пациентов с переломами костей нижних конечностей. Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2023; 5(1): 40–51. <https://doi.org/10.36425/rehab233510> [Bodrova R.A., Petrova R.V., Delyan A.M., et. al. Modern approach to the rehabilitation of patients with fractures of the lower extremities. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2023; 5(1): 40–51. <https://doi.org/10.36425/rehab233510> (In Russ.)]
12. Gubin M., Olkhovsky V., Grygorian E. Forensic medical determination of severity of chest injuries with thorax trauma. 2022; 1(9): 45–49.
13. Чушинская М.М. Общие принципы реабилитации переломов конечностей. *Scientist*. 2020; 4(14): 20. [Chushinskaya M.M. General principles of rehabilitation of limb fractures. *Scientist*. 2020; 4(14): 20 (In Russ.)]
14. Hoyt B.W., Pavey G.J., Pasquina P.F., et al. Rehabilitation of Lower Extremity Trauma: a Review of Principles and Military Perspective on Future Directions. *Current Trauma Reports*. 2015; 1: 50–60. <https://doi.org/10.1007/s40719-014-0004-5>
15. National Institute for Health and Care Excellence. Rehabilitation after traumatic injury. 2022. Available at: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng211> (Accessed January 12, 2024).
16. He K., Hemmila M.R., Cain-Nielsen A.H., et. al. Complications and resource utilization in trauma patients with diabetes. *Plos One*. 2019; 14(8): e0221414. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221414>
17. Daly S.L., Gabbe B.J., Climie R.E., Ekegren C.L. Association between type 2 diabetes and long-term outcomes in middle-aged and older trauma patients. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2022; 92(1): 185–192. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000003317>
18. Beaulieu R.A., McCarthy M.C., Markert R.J., et. al. Predictive factors and models for trauma patient disposition. *Journal of Surgical Research*. 2014; 190(1): 264–269. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.02.032>
19. Tebby J., Lecky F., Edwards A., et al. Outcomes of polytrauma patients with diabetes mellitus. *BMC Med*. 2014; 12: 111. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-12-111>
20. Ahmad R., Cherry R.A., Lendel I., et. al. Increased hospital morbidity among trauma patients with diabetes mellitus compared with age-and injury severity score-matched control subjects. *Archives of Surgery*. 2007; 142(7): 613–618. <https://doi.org/10.1001/archsurg.142.7.613>
21. Bassi-Dibai D., Santos-de-Araújo A.D., Dibai-Filho A.V., et al. Rehabilitation of Individuals with Diabetes Mellitus: Focus on Diabetic Myopathy. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2022; 13: 869921. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.869921>
22. Turan Y., Ertugrul B.M., Lipsky B.A., Bayraktar K. Does physical therapy and rehabilitation improve outcomes for diabetic foot ulcers? *World Journal of Experimental Medicine*. 2015; 5(2): 130–139. <https://doi.org/10.5493/wjem.v5.i2.130>
23. Васильева В.А., Марченкова Л.А. Современные методы реабилитации пациента с сахарным диабетом 2-го типа. *Кардиологический вестник*. 2020; 3–2(2): 87. [Vasilyeva V.A., Marchenkova L.A. *Sovremennye metody rehabilitacii pacienta s saharnym diabetom 2 tipa*. *Kardiologicheskij vestnik*. 2020; 3–2(2): 87 (In Russ.)]
24. Васильева В.А., Марченкова Л.А., Еремушкин М.А., Колышенков В.А. Влияние комплексной программы реабилитации с включением интерактивной балансотерапии с биологической обратной связью и кинезогидротерапии на функцию равновесия у пациентов с ожирением. *Врач*. 2022; 33(8): 71–74. <https://doi.org/10.29296/25877305-2022-08-15> [Vasilyeva V.A., Marchenkova L.A., Eremushkin M.A., Kolyshenikov V.A. The influence of a comprehensive rehabilitation program including interactive balance therapy with biofeedback and kinesiohydrotherapy on balance function in obese patients. *Vrach (The Doctor)*. 2022; 33(8): 71–74. <https://doi.org/10.29296/25877305-2022-08-15> (In Russ.)]
25. Литвина Л.Д., Конева Е.С., Жуманова Е.Н. и др. Опыт включения аппаратных тренировок постурального контроля в комплексные программы реабилитации пациентов пожилого возраста. *Курортная медицина*. 2023; 2: 69–79. https://doi.org/10.51871/2304-0343_2023_2_69 [Litvina L.D., Koneva E.S., Zhumanova E.N., et. al. Experience of including hardware training of postural control into comprehensive rehabilitation programs for elderly patients. *Resort medicine*. 2023; 2: 69–79. https://doi.org/10.51871/2304-0343_2023_2_69 (In Russ.)]
26. Марченкова Л.А., Юрова О.В., Фесюн А.Д. Метод реабилитации с использованием технологии виртуальной реальности и роботизированной механотерапии у пациентов с коксартрозом после операции эндопротезирования тазобедренного сустава. *Врач*. 2023; 2(34): 57–59. <https://doi.org/10.29296/25877305-2023-02-12> [Marchenkova L.A., Yurova O.V., Fesyun A.D. Method of rehabilitation using virtual reality technology and robotic mechanotherapy in patients with coxarthrosis after hip replacement surgery. *Vrach (The Doctor)*. 2023; 2(34): 57–59. <https://doi.org/10.29296/25877305-2023-02-12> (In Russ.)]

Обоснование использования магниточувствительных биоматериалов в клинической практике для стимуляции регенерации костных тканей: обзор литературы

 Марков П.А.* ,  Костромина Е.Ю.,  Фесюн А.Д.,  Еремин П.С.

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

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. В настоящее время интенсивно ведутся разработки новых биоматериалов для повышения эффективности восстановления повреждений твердых и мягких тканей. Предложены новые подходы и методы функционализации биоматериалов, позволяющие повысить регенеративный потенциал биомиметических конструкций, в том числе используемых для восстановления поврежденной или утраченной костной ткани. Одним из таких методов является использование магнитных наночастиц (МНЧ). Данный подход является новым и пока еще мало изученным, тем не менее ежегодное увеличение количества публикаций по данной теме свидетельствует об интересе и перспективности изучения медико-биологических свойств МНЧ.

ЦЕЛЬ. Провести литературный обзор научно-исследовательских работ, посвященных изучению действия магниточувствительных биоматериалов на функциональную активность клеток, участвующих в восстановлении поврежденной костной ткани.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Литературный обзор проводился по базам данных PubMed и Scopus. Ключевые слова, используемые для проведения поиска: «magnetic nanoparticles» (магнитные наночастицы), «биоматериалы» (biomaterials), «остеоиндукция» (osteoinduction), «регенерация кости» (bone regeneration). Даты запросов — февраль-март 2024 г., глубина запроса — 2000–2024 гг.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Предложены новые подходы и методы функционализации биоматериалов. Одним из таких подходов является использование МНЧ. Традиционно в медицине МНЧ применяются в качестве контрастного агента для улучшения визуализации раковых опухолей, кроме того, МНЧ могут выступать в качестве матрицы в системах адресной доставки лекарственных средств и в гипертермической терапии раковых опухолей. Новые экспериментальные данные показывают, что использование МНЧ в качестве магниточувствительного компонента в биоматериалах — перспективный способ стимуляции восстановления костных дефектов и переломов. Показано, что модифицированные наночастицами биоматериалы стимулируют остеогенную дифференцировку стволовых клеток, повышают пролиферативную активность и секрецию белков межклеточного матрикса костными клетками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Интеграция МНЧ с органическими и синтетическими полимерами и другими биомиметическими конструкциями — перспективное направление для создания биоматериалов медицинского назначения, направленных на повышение эффективности регенерации костных дефектов. Использование магниточувствительных биоматериалов позволяет создавать «умные» тканеинженерные конструкции, управляемые внешними электромагнитными стимулами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электромагнитное поле, магнитные наночастицы, биоматериалы, остеоиндукция, регенерация кости.

Для цитирования / For citation: Марков П.А., Костромина Е.Ю., Фесюн А.Д., Еремин П.С. Обоснование использования магниточувствительных биоматериалов в клинической практике для стимуляции регенерации костных тканей: обзор литературы. Вестник восстановительной медицины. 2024; 23(3):69-76. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-69-76> [Markov P.A., Kostromina E.Yu., Fesyun A.D., Eremin P.S. Rationale of Using Magnetically Sensitive Biomaterials in Bone Tissue Therapy: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):69-76. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-69-76> (In Russ.)]

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

Статья получена: 19.03.2024
Статья принята к печати: 03.05.2024
Статья опубликована: 17.06.2024

Rationale of Using Magnetically Sensitive Biomaterials in Bone Tissue Therapy: a Review

 Pavel A. Markov*,  Elena Yu. Kostromina,  Anatoliy D. Fesyun,  Petr S. Eremin

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

ABSTRACT

INTRODUCTION. Currently, new biomaterials are being intensively developed to improve the efficiency of repair of damage to hard and soft tissues. New approaches and methods for functionalizing biomaterials have been proposed. One such method is the use of magnetic nanoparticles. This approach is new and still little studied, however, the annual increase in the number of publications on this topic indicates the promise of studying the osteogenic effect of magnetic nanoparticles.

AIM. To summarize the results of current research devoted to studying the effect of magnetically sensitive biomaterials on the functional activity of cells involved in the reparation of bone tissue damage.

MATERIALS AND METHODS. A literature review was conducted using the databases PubMed and Scopus. Keywords used to conduct the search: electromagnetic field, magnetic nanoparticles, biomaterials, osteoinduction, bone regeneration. Request dates: February–March 2024, publication period 2000–2024 years.

MAIN CONTENT. New approaches and methods for functionalizing biomaterials have been proposed. One such approach is the use of magnetic nanoparticles (MNPs). Traditionally, in medicine, MNPs are used as a contrast agent to improve the visualization of cancer tumors; in addition, MNPs can act as a matrix in targeted drug delivery systems and in hyperthermic therapy of cancer tumors. New experimental data show that the use of MNPs as a magnetically sensitive component in biomaterials is a promising way to stimulate the repair of bone defects and fractures. It has been shown that biomaterials modified by nanoparticles stimulate osteogenic differentiation of stem cells, increase proliferative activity and secretion of extracellular matrix proteins by bone cells.

CONCLUSION. Integration of MNPs with organic and synthetic polymers, and other biomimetic constructs is a promising direction for creating osteogenic biomaterials for medical use, including those aimed at increasing the efficiency of regeneration of bone defects. The use of magnetically sensitive biomaterials makes it possible to create “smart” tissue-engineered structures controlled by external electromagnetic stimulus.

KEYWORDS: magnetic nanoparticles, biomaterials, osteoinduction, bone regeneration.

For citation: Markov P.A., Kostromina E.Yu., Fesyun A.D., Eremin P.S. Rationale of Using Magnetically Sensitive Biomaterials in Bone Tissue Therapy: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):69-76. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-69-76>

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

Received: 19.03.2024

Accepted: 03.05.2024

Published: 17.06.2024

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности восстановления сложных костных травм является клинической проблемой, решение которой имеет как социальное, так и экономическое значение. «Золотым стандартом» в таких случаях служит использование костных ауто трансплантатов. Однако ограниченное количество костной ткани, болезненность процедуры, а также зачастую тяжелое состояние пациентов препятствуют широкому применению ауто трансплантации. Использование биоматериалов на основе аллотрансплантатов или деминерализованного костного матрикса также имеет свои ограничения, связанные с неконтролируемым остеоиндуктивным действием, высокой иммуногенностью, риском инфицирования и др. [1, 2].

Кроме ауто трансплантатов и аллотрансплантатов для восстановления костной ткани могут быть использованы биоматериалы, чаще всего для этого используются гидрогели из коллагена, альгината, хитозана, производных молочной и гликолевой кислот и их композиций [3, 4]. Несмотря на то что к настоящему времени разработаны технологии создания биомиметических конструкций на основе природных и синтетических полимеров, их эффективное и масштабное применение в клинической практике ограничено. В случае использования природных полимеров ограничивающим фак-

тором является стандартизация химического состава и макромолекулярной структуры полимеров, архитектуры и топографии поверхности, механических свойств биоматериалов, изготовленных на их основе [5]. Как известно, именно перечисленные свойства определяют клеточный и тканевой ответ на имплантируемые биоматериалы [6]. Биоматериалы из синтетических полимеров проще поддаются стандартизации по физико-химическим и структурно-механическим свойствам, однако их применение в качестве имплантируемых биоматериалов осложняется их низкой биосовместимостью с клетками и тканями человека [7, 8].

В настоящее время интенсивно ведутся разработки новых биоматериалов для повышения эффективности восстановления повреждений твердых и мягких тканей. Предложены новые подходы и методы функционализации биоматериалов. Один из таких подходов — использование магнитных наночастиц (МНЧ). Включение наночастиц с магнитными свойствами в биоматериалы позволяет придать заданные функциональные свойства биоматериалам, изготовленным как из синтетических, так и природных полимеров. Способность таких магниточувствительных материалов заданным образом реагировать на внешние электромагнитные воздействия расширяет способы их применения в клинической практике.

Данный подход в силу своей новизны пока еще мало изучен. Тем не менее с каждым годом количество публикаций в научной литературе по этой тематике увеличивается. Так, например, количество публикаций за 5 лет по запросам «magnetic nanoparticles» в базе данных PubMed с 2004 по 2008 г. составило порядка 3000 результатов, а с 2019 по 2023 г. уже приблизилось к 16 000, т. е. количество опубликованных результатов исследований увеличилось более чем в 5 раз. Примерно в той же пропорции увеличивается количество публикаций на тему биомедицинского применения магнитных наночастиц (magnetic nanoparticles biomedical applications).

Таким образом, данные литературы указывают на высокий интерес к изучению МНЧ и их применению в конструировании биоматериалов с заданными медико-биологическими свойствами для тканевой и клеточной инженерии.

ЦЕЛЬ

Провести литературный обзор научно-исследовательских работ, посвященных изучению действия магниточувствительных биоматериалов на функциональную активность клеток, участвующих в восстановлении поврежденной костной ткани.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Литературный обзор проводился по базам данных PubMed и Scopus. Ключевые слова, используемые для проведения поиска: «magnetic nanoparticles» (магнитные наночастицы), «биоматериалы» (biomaterials), «остеоиндукция» (osteoinduction), «регенерация кости» (bone regeneration). Даты запросов — февраль-март 2024 г., глущина запроса — 2000–2024 гг.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА

Клеточный состав костной ткани

Костная ткань представлена четырьмя видами резидентных клеток, это остециты, остеобласты, клетки костной выстилки и остеокласты. Наиболее значимой по численности популяции костных клеток являются остециты, составляющие более 90 % от всех клеток костной ткани. Остециты не только самые многочисленные, но и наиболее долгоживущие клетки, продолжительность их жизни достигает 25 лет [9]. Остециты выполняют функцию регуляции метаболизма костной ткани [10, 11]. Вторая по численности популяция клеток костной ткани — остеобласты, именно эти клетки генерируют белки костного матрикса и формируют костную ткань [12, 13].

Клетки костной выстилки, пожалуй, самые малоизученные клетки костной ткани, что, по-видимому, связано с методическими ограничениями, а именно отсутствием общепринятых маркеров и эффективных методов их селективного выделения. Предполагается, что функциональное назначение этих клеток состоит в удалении деминерализованного матрикса и контроле минерального обмена [14, 15]. Кроме того, установлено, что клетки костной выстилки могут служить своеобразным депо остеобластов, поскольку обладают способностью дифференцироваться в активные остеобласты [16, 17].

Остеокласты — это высокоспецифичные многоядерные фагоцитирующие клетки гемопоэтического проис-

хождения, они единственные обладают способностью к резорбции кости. Кроме того, остеокласты участвуют в регуляции функциональной активности иммунной системы и иммунном ответе на антигены [18, 19].

Говоря о клеточном составе костной ткани, нельзя не упомянуть популяцию костных мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток (ММСК). Костные ММСК располагаются в костном мозге и являются предшественниками остеобластов, дифференцируясь в которых они постоянно восполняют пул клеток костной ткани [20]. Также костные ММСК регулируют активность клеток костной ткани и клеток иммунной системы [21–24].

Таким образом, кость — это уникальная ткань, которая постоянно и полностью регенерирует, ярким примером тому служит заживление переломов. Целостность и функциональность костей поддерживается благодаря непрерывным процессам ремоделирования, при которых старая и поврежденная кость заменяется новой.

Однако существуют случаи, когда регенеративная потребность поврежденной ткани выходит за пределы нормального потенциала самовосстановления. Как правило, такое происходит при дефектах костей критического размера, возникших в результате ортопедических или челюстно-лицевых операций, после травм, инфекций и резекций опухолей. Во всех этих случаях необходимы клиническое вмешательство и эндогенная стимуляция регенерации костной ткани.

Стимуляции регенерации костных тканей магнитными наночастицами

МНЧ представляют собой наноразмерные кристаллы различной формы, изготовленные из кобальта, никеля и железа, а также их производных, как, например, ацетил-ацетонат и пентакарбонил железа, магнетит и маггемит (рис. 1). Уникальность МНЧ состоит в том, что эти магнитные кристаллы демонстрируют суперпарамагнитное поведение, а именно намагниченность под влиянием внешнего магнитного поля и нулевую намагниченность после удаления внешнего электромагнитного воздействия. Данное свойство позволяет управлять физическими, химическими и биологическими свойствами как самих МНЧ, так и содержащих их биоматериалов [25].

При использовании в клинической практике выбор тех или иных металлов для изготовления МНЧ обусловлен в первую очередь их токсичностью. В настоящее время для изготовления МНЧ, контактирующих с биологическими системами, используются наименее токсичные минералы — магнетит и маггемит, представляющие собой модификации оксида железа [26]. Кроме того, МНЧ из оксидов железа способны сохранять суперпарамагнитные свойства при комнатной температуре и при физиологических значениях кислотности (рН 7) [27, 28].

Основные факторы, влияющие на физико-химические характеристики и биологические свойства наночастиц — размер и форма наноструктур. Например, МНЧ размером более 30 нм нагреваются интенсивнее, чем частицы размером менее 20 нм. Форма наночастиц определяет их магнитный отклик, агрегацию и, соответственно, биологический отклик как на клеточном, так и на тканевом уровне [29, 30].

Традиционно в медицине МНЧ применяются в качестве контрастного агента для улучшения визуализации

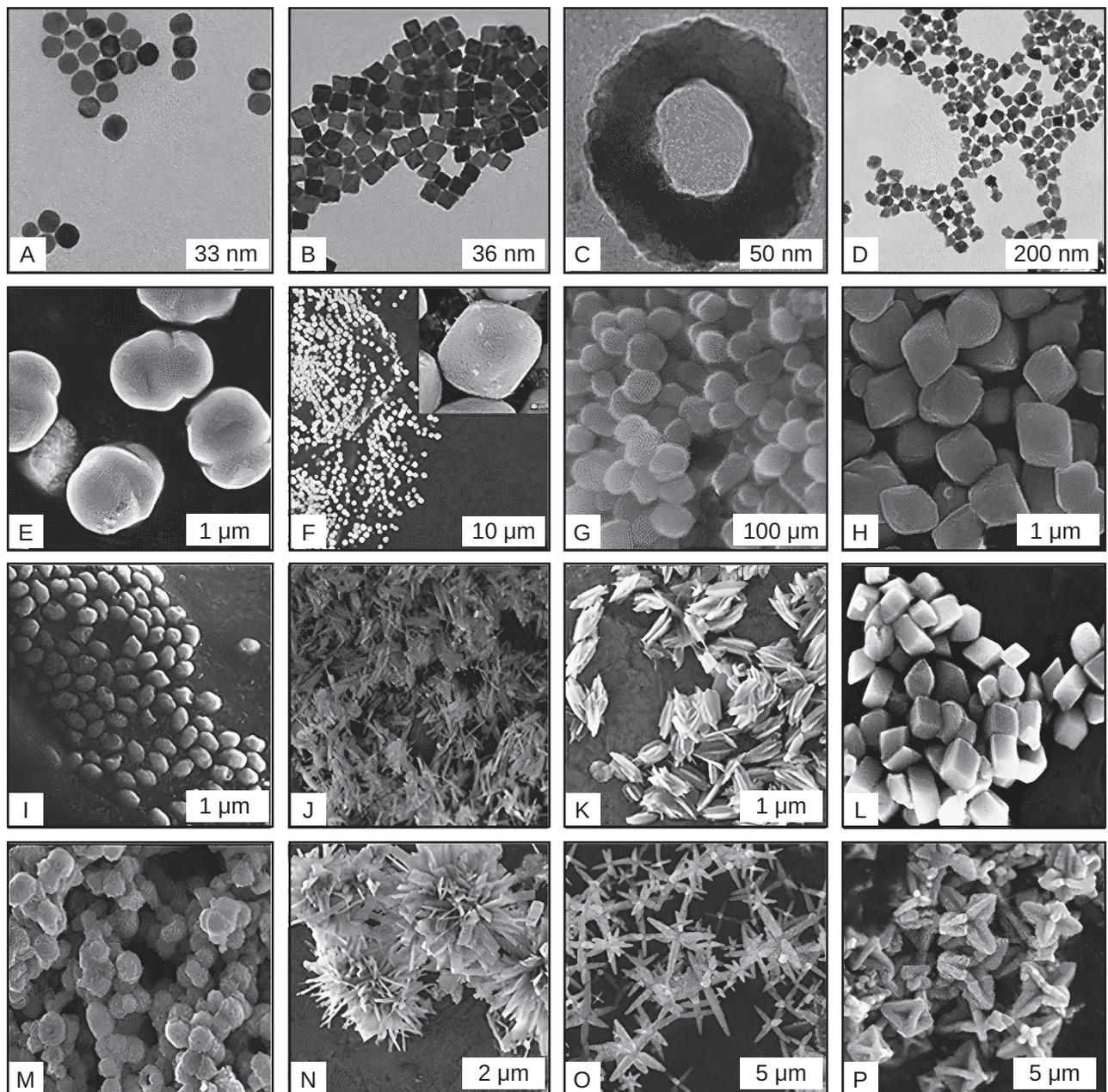


Рис. 1. Изображения МНЧ, полученные с использованием просвечивающей (А–D) и электронной сканирующей микроскопии (Е–Р): А — сферические частицы; В — кубические частицы; С — нанокольца; D — цветкообразные частицы; Е — грибообразные частицы; F — кубообразные частицы; G — пластинчатые частицы; H — структуры ромбоэдрической формы; I — эллипсоидные 3D-структуры; J — наностержни; K — наношелуха; L — кубические; M — пористые сферы; N — сложноориентированные цветки; O — звездообразные; P — вогнутые октаэдры [29]
Fig. 1. Transmission (A–D) and scanning electron microscopy (E–P) image of MNP: A — spherical; B — cubic; C — nanoring; D — flower-like; E — mushroom-like particles; F — cube-like particles; G — plate-shaped particles; H — rhombohedral shaped superstructures; I — ellipsoid-like 3D superstructures; J — nanorod; K — nanohusk; L — distorted cubes; M — porous spheres and N — self-oriented flowers; O — star-shaped hexapode; P — concave octahedrons [29]

раковых опухолей во время диагностики с использованием позитронно-эмиссионной и магнитно-резонансной томографии [31–33]. Ряд экспериментальных работ демонстрирует эффективность применения МНЧ в гипертермической терапии раковых опухолей и в качестве носителя в системах адресной доставки лекарственных средств [26, 34–36].

Одним из новых направлений исследований медико-биологических свойств МНЧ является их использование для стимуляции процессов регенерации костной ткани. Механизмы воздействия МНЧ на метаболизм и регенера-

цию костной ткани еще изучаются. Предполагается, что биологическое действие МНЧ может быть обусловлено их физическими свойствами, а именно способностью воспринимать внешнее электромагнитное воздействие, преобразовывать его в тепловую энергию и транслировать ее внутриклеточным структурам. Однако не исключается и непосредственное влияние микромагнитных полей, генерируемых МНЧ, на функциональную активность клеток костной ткани. В результате воздействия тех или иных физических сигналов изменяется метаболическая активность клеток костной ткани. Так, например, увеличивается

пролиферативная активность остеобластов и выработка ими белков внеклеточного матрикса. Показано, что физические сигналы, генерируемые МНЧ, способны стимулировать остеогенную дифференцировку ММСК. Предположительно это обусловлено изменением чувствительности к паракринным и эндокринным стимулам и связанных с ними внутриклеточных сигнальных путей [37–40].

Как уже упоминалось выше, использование МНЧ в качестве самостоятельных биологически активных агентов ограничивается их цитотоксичностью. Результаты исследований показывают, что эта проблема может быть решена путем интеграции МНЧ с полимерами природного и искусственного происхождения. При этом, как оказалось, новые гибридные материалы обладают не только магниточувствительностью, но и приобретают биомиметические и новые структурно-механические и физические свойства, что расширяет диапазон их медико-биологического применения.

Так, например, интеграция МНЧ с матрицей из поливинилиденфторида позволила создать биоматериал с остеоиндуктивными свойствами, которые реализуются посредством стимуляции остеогенной дифференцировки костных ММСК. Авторы отмечают, что функциональные свойства биоматериала могут управляться удаленными электромагнитными стимулами, при этом он способен активировать регенерацию кости даже при воспалительных состояниях и подавлении остеогенеза [41].

Показано, что интеграция МНЧ в желатиновый каркас стимулирует остеогенез и образование новой костной ткани. Полученные результаты показывают, что формирование новой кости и стимуляция остеогенеза наблюдаются даже без внешнего электромагнитного воздействия. Также авторы отмечают перспективность использования в качестве каркаса для МНЧ желатина, поскольку при этом наблюдается согласование процессов деградации биоматериала и замещения костного дефекта [42].

Результаты ряда других исследований показывают возможность применения магнитных частиц для направленной функционализации и придания остеоиндуктивных свойств даже биологически инертным материалам [26, 43].

Способность МНЧ стимулировать остеогенез на клеточном и тканевом уровне сохраняется и при их интеграции со сложными многокомпонентными композитными материалами. Например, включение МНЧ в гидрогель из хитозана и полиэтиленгликоля придает композиту способность стимулировать остеогенную дифференцировку ММСК. По мнению авторов, реализация остеоиндуктивного потенциала биоматериала осуществляется посредством нанотепловой стимуляции стволовых клеток и может регулироваться внешними магнитными полями [37].

Включение МНЧ в трехмерный гидрогелевый клеточный носитель с иммобилизованными стволовыми клетками позволяет создать новый тип биоматериала с контролируемым высвобождением клеточных факторов роста. В данном случае стволовые клетки выполняют функцию производства клеточного секрета, а интегрированные МНЧ стимулируют клеточную активность после воздействия внешнего магнитного поля. Полученные результаты и разработанная технология позволяют получить биоматериалы, способные «включать»/«выключать» высвобождение во внеклеточную среду клеточных факторов роста и биологически активных соединений [44, 45].

Еще одна технология интеграции МНЧ с биополимерами — их инкапсуляция в полимерную оболочку из растительных полисахаридов. Сравнительно недавно такая возможность была показана в отношении альгината, полисахарида красных морских водорослей, и МНЧ никеля [46]. Разработка данной технологии еще больше расширяет сферу применения МНЧ, например, покрытие МНЧ растительными полисахаридами с противовоспалительным действием [47, 48] позволит снижать воспаление, чрезмерная интенсивность которого может препятствовать восстановлению костных переломов и дефектов [49].

Хорошо известно, что клетки млекопитающих, в том числе клетки костной ткани [50], ММСК [51, 52], фибробласты [53, 54], макрофаги и моноциты [55, 56], обладают способностью распознавать структурно-механические особенности поверхности биоматериалов и в зависимости от этого формировать тот или иной функциональный ответ [57]. Однако в клинической практике наиболее популярны методы регуляции функциональной активности клеток посредством фармакологического (лекарственные средства) или биохимического (цитокины, факторы роста, антитела и т. д.) воздействия. По-видимому, это обусловлено более высокой селективностью воздействия, возможностью стандартизации и использования этого протокола в стационарах [58, 59]. Тем не менее применение таких подходов несет в себе риск нарушения физиологического баланса между факторами роста и цитокинами, что может негативно влиять на последующий процесс регенерации [60, 61].

В отличие от биологических и фармакологических подходов, использование природных полисахаридов не оказывает мутагенного и канцерогенного эффекта, однако осложняется структурным разнообразием растительных полисахаридов, трудностями стандартизации структуры и селективностью их действия на клеточную активность [5].

Интеграция МНЧ в состав гидрогелевых биоматериалов из природных полисахаридов может решить проблему стандартизации структурно-механических свойств поверхности биоматериалов и селективности клеточных реакций. Данный подход может быть реализован благодаря способности МНЧ выравняться вдоль внешнего магнитного поля и воздействовать тем самым на топографию и механические характеристики поверхности гидрогелевого материала. В результате контролируемой магнито-активируемой деформации гидрогелевого материала и его структурно-механических свойств можно разработать способы направленной регуляции функциональной активности клеток [62, 63].

Таким образом, интеграция МНЧ с биополимерами, их надмолекулярными структурами и композитами — перспективное направление для создания остеогенных биоматериалов медицинского назначения, в том числе направленных на повышение эффективности регенерации костных дефектов. Терапевтическое действие МНЧ, по всей видимости, обуславливается их способностью нагреваться под воздействием внешнего магнитного поля. Интеграция МНЧ с органическими и синтетическими полимерами, со сложными биомиметическими конструкциями позволяет создавать «умные» биоматериалы, функциональные свойства которых можно регулировать внешним электромагнитным воздействием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Костная ткань представляет собой самообновляющую биологическую систему, целостность и функциональность которой поддерживается непрерывным процессом ремоделирования, при котором старая и поврежденная кость заменяется новой. Эндогенная стимуляция регенеративной репарации костной ткани требуется при костных дефектах критического значения.

Предложены новые способы и подходы направленной функционализации биоматериалов с целью повышения их остеогенных свойств. Использование для этих целей МНЧ, структур способных транслировать

внешнее электромагнитное воздействие внутриклеточным структурам, имеет ряд преимуществ. В частности, остеогенные свойства можно придать биоматериалам, состоящим как из природных, так и синтетических полимеров, а также их композиций. Интеграция наночастиц в состав гидрогелевых биоматериалов из природных полисахаридов может решить проблему стандартизации структурно-механических свойств поверхности биоматериалов и селективности клеточных реакций. Использование магниточувствительных биоматериалов позволяет создавать «умные» тканеинженерные конструкции, управляемые внешними электромагнитными стимулами.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Марков Павел Александрович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела биомедицинских технологий, ФГБУ «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>

Костромина Елена Юрьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории клеточных технологий, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9728-7938>

Фесюн Анатолий Дмитриевич, доктор медицинских наук, профессор кафедры организации здравоохранения и санаторно-курортного дела, и.о. директора ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3097-8889>

Еремин Петр Серафимович, научный сотрудник лаборатории клеточных технологий отдела биомедицинских технологий, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

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

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, анализ данных; Костромина Е.Ю. — проверка и редактирование текста статьи; Фесюн А.Д. — проектное руководство; Еремин П.С. — курирование проекта.

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

Конфликт интересов. Фесюн А.Д. — и.о. директора ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России, президент Национальной ассоциации экспертов по санаторно-курортному лечению, главный редактор журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

ADDITIONAL INFORMATION

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

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

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

Elena Yu. Kostromina, Ph.D. (Biol.), Senior Researcher, Department of Biomedical Technologies, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9728-7938>

Anatoliy D. Fesyun, Dr.Sci. (Med.), Acting Director, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3097-8889>

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>

Author Contributions. All authors confirm their authorship in accordance with the international ICMJE criteria (all authors made significant contributions to the concept, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). The largest contribution is distributed as follows: Markov P.A. — conceptualization, data analysis; Kostromina E.Yu. — writing — review & editing; Fesyun A.D. — project administration; Eremin P.S. — project supervision.

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

Conflict of interest. Fesyun A.D. — Acting Director of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, President of the National Association of Experts in Spa Treatment, Editor-in-Chief of the Bulletin of Rehabilitation Medicine.

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. Battafarano G., Rossi M., De Martino V., et al. Strategies for Bone Regeneration: From Graft to Tissue Engineering. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(3): 1128. <https://doi.org/10.3390/ijms22031128>
2. Sawkins M.J., Bowen W., Dhadda P., et al. Hydrogels derived from demineralized and decellularized bone extracellular matrix. *Acta Biomaterialia*. 2013; 9(8): 7865–7873. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2013.04.029>
3. Zhai P., Peng X., Li B., et al. The application of hyaluronic acid in bone regeneration. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020; 151: 1224–1239. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.169>
4. Yu L., Wei M. Biomimetic Mineralization of Collagen-Based Materials for Hard Tissue Repair. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(2): 944. <https://doi.org/10.3390/ijms22020944>
5. Jookan S., Deschaume O., Bartic C. Nanocomposite Hydrogels as Functional Extracellular Matrices. *Gels*. 2023; 9(2): 153. <https://doi.org/10.3390/gels9020153>
6. Vermeulen S., Tahmasebi Birgani Z., Habibovic P. Biomaterial-induced pathway modulation for bone regeneration. *Biomaterials*. 2022; 283: 121431. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2022.121431>
7. Noro J., Vilaça-Faria H., Reis R.L., Pirraco R.P. Extracellular matrix-derived materials for tissue engineering and regenerative medicine: A journey from isolation to characterization and application. *Bioactive Materials*. 2024; 17(34): 494–519. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2024.01.004>
8. Amani H., Kazerooni H., Hassanpoor H., et al. Tailoring synthetic polymeric biomaterials towards nerve tissue engineering: a review. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*. 2019; 47(1): 3524–3539. <https://doi.org/10.1080/21691401.2019.1639723>
9. Bonewald L.F. The amazing osteocyte. *Journal of Bone and Mineral Research*. 2011; 26(2): 229–38. <https://doi.org/10.1002/jbmr.320>
10. Delgado-Calle J., Bellido T. The osteocyte as a signaling cell. *Physiological Reviews*. 2022; 102(1): 379–410. <https://doi.org/10.1152/physrev.00043.2020>
11. Cui J., Shibata Y., Zhu T., et al. Osteocytes in bone aging: Advances, challenges, and future perspectives. *Ageing Research Reviews*. 2022; 77: 101608. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2022.101608>
12. Shen L., Hu G., Karner C.M. Bioenergetic metabolism in osteoblast differentiation. *Current Osteoporosis Reports*. 2022; 20(1): 53–64. <https://doi.org/10.1007/s11914-022-00721-2>
13. Ponzetti M., Rucci N. Osteoblast differentiation and signaling: established concepts and emerging topics. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(13): 6651. <https://doi.org/10.3390/ijms22136651>
14. Everts V., Delaissé J.M., Korper W., et al. The bone lining cell: its role in cleaning Howship's lacunae and initiating bone formation. *Journal of Bone and Mineral Research*. 2002; 17(1): 77–90. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2002.17.1.77>
15. Clarke B. Normal bone anatomy and physiology. *Clinical Journal Of The American Society Of Nephrology*. 2008; 3(3): S131–S139. <https://doi.org/10.2215/CJN.04151206>
16. Hong A.R., Kim K., Lee J.Y., et al. Transformation of mature osteoblasts into bone lining cells and RNA sequencing-based transcriptome profiling of mouse bone during mechanical unloading [published correction appears in *Endocrinology and Metabolism (Seoul)*. 2021; 36(6): 1314]. *Endocrinology and Metabolism (Seoul)*. 2020; 35(2): 456–469. <https://doi.org/10.3803/EnM.2020.35.2.456>
17. Kim S.W., Pajevic P.D., Selig M., et al. Intermittent parathyroid hormone administration converts quiescent lining cells to active osteoblasts. *Journal of Bone and Mineral Research*. 2012; 27(10): 2075–2084. <https://doi.org/10.1002/jbmr.1665>
18. Madel M.B., Ibáñez L., Wakkach A., et al. Immune function and diversity of osteoclasts in normal and pathological conditions. *Frontiers in Immunology*. 2019; 10: 1408. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.01408>
19. Takegahara N., Kim H., Choi Y. Unraveling the intricacies of osteoclast differentiation and maturation: insight into novel therapeutic strategies for bone-destructive diseases. *Experimental & Molecular Medicine*. 2024; 56: 264–272. <https://doi.org/10.1038/s12276-024-01157-7>
20. Dominici M., Le Blanc K., Mueller I., et al. Minimal criteria for defining multipotent mesenchymal stromal cells. The International Society for Cellular Therapy position statement. *Cytotherapy*. 2006; 8(4): 315–317. <https://doi.org/10.1080/14653240600855905>
21. Lee Y.C., Chan Y.H., Hsieh S.C., et al. Comparing the osteogenic potentials and bone regeneration capacities of bone marrow and dental pulp mesenchymal stem cells in a rabbit calvarial bone defect model. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019; 20(20): 5015. <https://doi.org/10.3390/ijms20205015>
22. Xu W., Yang Y., Li N., Hua J. Interaction between mesenchymal stem cells and immune cells during bone injury repair. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(19): 14484. <https://doi.org/10.3390/ijms241914484>
23. Song N., Scholtemeijer M., Shah K. Mesenchymal stem cell immunomodulation: mechanisms and therapeutic potential. *Trends in Pharmacological Sciences*. 2020; 41: 653–664. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2020.06.009>
24. Dunn C.M., Kameishi S., Grainger D.W., Okano T. Strategies to address mesenchymal stem/stromal cell heterogeneity in immunomodulatory profiles to improve cell-based therapies. *Acta Biomaterialia*. 2021; 133: 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2021.03.069>
25. Nurettin S., Ibrahim A., Yusuf B., Muammer K. Superparamagnetic nanoarchitectures: Multimodal functionalities and applications. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2021; 538: 168300. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2021.168300>
26. 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>
27. Akbarzadeh A., Samiei M., Davaran S. Magnetic nanoparticles: preparation, physical properties, and applications in biomedicine. *Nanoscale Research Letters*. 2012 21; 7(1): 144. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-7-144>
28. Andrade R.G.D., Veloso S.R.S., Castanheira E.M.S. Shape Anisotropic Iron Oxide-Based Magnetic Nanoparticles: Synthesis and Biomedical Applications. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020; 21(7): 2455. <https://doi.org/10.3390/ijms21072455>
29. Elahi N., Rizwan M. Progress and prospects of magnetic iron oxide nanoparticles in biomedical applications: A review. *Artificial Organs*. 2021; 45(11): 1272–1299. <https://doi.org/10.1111/aor.14027>
30. Nemati Z., Alonso J., Rodrigo I., et al. Improving the heating efficiency of iron oxide nanoparticles by tuning their shape and size. *Journal of Physical Chemistry C*. 2018; 122: 2367–81. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b10528>
31. 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>
32. Lin J., Wang M., Hu H., et al. Multimodal-Imaging-Guided Cancer Phototherapy by Versatile Biomimetic Theranostics with UV and γ -Irradiation Protection. *Advanced Materials*. 2016; 28(17): 3273–3279. <https://doi.org/10.1002/adma.201505700>

33. 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>
34. Baki A., Wiekhorst F., Bleul R. Advances in magnetic nanoparticles engineering for biomedical applications- A review. *Bioengineering (Basel)*. 2021; 8(10): 134. <https://doi.org/10.3390/bioengineering8100134>
35. Tayyaba A., Nazim H., Hafsa, et al. Magnetic nanomaterials as drug delivery vehicles and therapeutic constructs to treat cancer. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 2023; 80: 104103. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2022.104103>
36. Ulbrich K., Holá K., Šubr V., et al. Targeted Drug Delivery with Polymers and Magnetic Nanoparticles: Covalent and Noncovalent Approaches, Release Control, and Clinical Studies. *Chemical Reviews*. 2016; 116(9): 5338–5431. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00589>
37. Cao Z, Wang D., Li Y., et al. Effect of nanoheat stimulation mediated by magnetic nanocomposite hydrogel on the osteogenic differentiation of mesenchymal stem cells. *Science China Life Sciences*. 2018; 61(4): 448–456. <https://doi.org/10.1007/s11427-017-9287-8>
38. Li Z., Xue L., Wang P., et al. Biological Scaffolds Assembled with Magnetic Nanoparticles for Bone Tissue Engineering: A Review. *Materials (Basel)*. 2023; 16(4): 1429. <https://doi.org/10.3390/ma16041429>
39. Li M., Fu S., Cai Z., et al. Dual Regulation of Osteoclastogenesis and Osteogenesis for Osteoporosis Therapy by Iron Oxide Hydroxyapatite Core/Shell Nanocomposites. *Regenerative Biomaterials*. 2021; 8(5): rbab027. <https://doi.org/10.1093/rb/rbab027>
40. Wang Q., Chen B., Cao M., et al. Response of MAPK Pathway to Iron Oxide Nanoparticles in Vitro Treatment Promotes Osteogenic Differentiation of hBMSCs. *Biomaterials*. 2016; 86: 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2016.02.004>
41. Liu W., Zhao H., Zhang C., et al. In situ activation of flexible magnetoelectric membrane enhances bone defect repair. *Nature Communications*. 2023; 14(1): 4091. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39744-3>
42. Hu S., Zhou Y., Zhao Y., et al. Enhanced bone regeneration and visual monitoring via superparamagnetic iron oxide nanoparticle scaffold in rats. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*. 2018; 12(4): e2085–e2098. <https://doi.org/10.1002/term.2641>
43. Hao L., Li L., Wang P., et al. Synergistic osteogenesis promoted by magnetically actuated nano-mechanical stimuli. *Nanoscale*. 2019; 11(48): 23423–23437. <https://doi.org/10.1039/c9nr07170a>
44. Silva E.D., Babo P.S., Costa-Almeida R., et al. Multifunctional magnetic-responsive hydrogels to engineer tendon-to-bone interface. *Nanomedicine*. 2018; 14(7): 2375–2385. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2017.06.002>
45. Shou Y., Le Z., Cheng H.S., et al. Mechano-Activated Cell Therapy for Accelerated Diabetic Wound Healing. *Advanced Materials*. 2023; 35(47): e2304638. <https://doi.org/10.1002/adma.202304638>
46. Safronov A.P., Beketov I.V., Bagazeev A.V., et al. In Situ Encapsulation of Nickel Nanoparticles in Polysaccharide Shells during Their Fabrication by Electrical Explosion of Wire. *Colloid Journal*. 2023; 85: 541–553. <https://doi.org/10.1134/S1061933X23600410>
47. Popov S.V., Markov P.A., Popova G.Yu., et al. Anti-inflammatory activity of low and high methoxylated citrus pectins. *Biomedicine & Preventive Nutrition*. 2013; 3(1): 59–63. <https://doi.org/10.1016/j.bionut.2012.10.008>
48. Марков П.А., Волкова М.В., Хасаншина З.Р. и др. Противовоспалительное действие высоко- и низкометилэтерифицированных яблочных пектинов in vivo и in vitro. *Вопросы питания*. 2021; 90(6): 92–100. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-6-92-100> [Markov P.A., Volkova M.V., Khasanshina Z.R., et al. Anti-inflammatory activity of high and low methoxylated apple pectins, in vivo and in vitro. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2021; 90(6): 92–100. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-6-92-100> (In Russ.)]
49. Gerstenfeld L.C., Cullinane D.M., Barnes G.L., et al. Fracture healing as a post-natal developmental process: molecular, spatial, and temporal aspects of its regulation. *Journal of Cellular Biochemistry*. 2003; 88(5): 873–884. <https://doi.org/10.1002/jcb.10435>
50. Özkale B., Sakar M.S., Mooney D.J. Active biomaterials for mechanobiology. *Biomaterials*. 2021; 267: 120497. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2020.120497>
51. Elashry M.I., Baulig N., Wagner A.S., et al. Combined macromolecule biomaterials together with fluid shear stress promote the osteogenic differentiation capacity of equine adipose-derived mesenchymal stem cells. *Stem Cell Research & Therapy*. 2021; 12(1): 116. <https://doi.org/10.1186/s13287-021-02146-7>
52. Chen G., Dong C., Yang L., Lv Y. 3D Scaffolds with Different Stiffness but the Same Microstructure for Bone Tissue Engineering. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2015; 7(29): 15790–15802. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b02662>
53. Lo C.M., Wang H.B., Dembo M., Wang Y.L. Cell movement is guided by the rigidity of the substrate. *Biophysical Journal*. 2000; 79(1): 144–152. [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(00\)76279-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(00)76279-5)
54. Horie S., Nakatomi C., Ito-Sago M., et al. PIEZO1 promotes ATP release from periodontal ligament cells following compression force. *European Orthodontic Society*. 2023; 45(5): 565–574. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjad052>
55. McWhorter F.Y., Wang T., Nguyen P., et al. Modulation of macrophage phenotype by cell shape. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2013; 110(43): 17253–17258. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308887110>
56. Goswami R., Arya R.K., Sharma S., et al. Mechanosensing by TRPV4 mediates stiffness-induced foreign body response and giant cell formation. *Science Signaling*. 2021; 14(707): eabd4077. <https://doi.org/10.1126/scisignal.abd4077>
57. Di X., Gao X., Peng L., et al. Cellular mechanotransduction in health and diseases: from molecular mechanism to therapeutic targets. *Signal Transduction and Targeted Therapy*. 2023; 8(1): 282. <https://doi.org/10.1038/s41392-023-01501-9>
58. Mariño K.V., Cagnoni A.J., Croci D.O., Rabinovich G.A. Targeting galectin-driven regulatory circuits in cancer and fibrosis. *Nature Reviews Drug Discovery*. 2023; 22(4): 295–316. <https://doi.org/10.1038/s41573-023-00636-2>
59. Dees C., Chakraborty D., Distler J.H.W. Cellular and molecular mechanisms in fibrosis. *Experimental Dermatology*. 2021; 30(1): 121–131. <https://doi.org/10.1111/exd.14193>
60. Przekora A. Current trends in fabrication of biomaterials for bone and cartilage regeneration: materials modifications and biophysical stimulations. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019; 20(2): 435. <https://doi.org/10.3390/ijms20020435>
61. Babaniamansour P., Salimi M., Dorkoosh F., Mohammadi M. Magnetic Hydrogel for Cartilage Tissue Regeneration as well as a Review on Advantages and Disadvantages of Different Cartilage Repair Strategies. *BioMed Research International*. 2022; 2022: 7230354. <https://doi.org/10.1155/2022/7230354>
62. Beltaie F., Khiari R., Dufresne A., et al. Mechanical and thermal properties of Posidoniaoceanica cellulose nanocrystal reinforced polymer. *Carbohydrate Polymers*. 2015; 123: 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.01.026>
63. Shi Y., Li Y., Coradin T. Magnetically-oriented type I collagen-SiO₂@Fe₃O₄ rods composite hydrogels tuning skin cell growth. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2020; 185: 110597. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.110597>

Психофизиологические технологии с применением метода биологической обратной связи: аналитический обзор

 Костенко Е.В.^{1,2},  Котельникова А.В.^{1,*},  Погонченкова И.В.¹,  Петрова Л.В.¹,
 Хаустова А.В.¹,  Филиппов М.С.¹,  Каверина Е.В.¹

¹ ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия

² ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Распространенность постинсультных двигательных и нейропсихологических расстройств велика, однако эти виды нарушений обычно рассматриваются без взаимосвязи друг с другом, также и методы реабилитации рассматриваются в контексте монодоменного влияния на отдельные функции.

ЦЕЛЬ. Провести анализ имеющихся научных данных о роли психофизиологических технологий с биологической обратной связью (БОС) в области клинической медицины и медицинской реабилитации.

МАТЕРИАЛЫ. Проанализировано 50 источников, 25 из которых — статьи высокого уровня доказательности (рандомизированные контролируемые исследования, метаанализы, систематические обзоры), опубликованные в базах данных Elibrary.ru, Medline, Web of Science, PubMed и Scopus за период 2009–2024 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Изучены комплексное действие метода БОС на физические симптомы и психологическое состояние пациентов, а также возможность использования физиологических показателей для адаптивного биоуправления. Наибольшее количество доказательств имеется о положительном влиянии технологии с использованием БОС на психоэмоциональное состояние пациентов и состояние сердечно-сосудистой системы. Значимые результаты получены при использовании БОС-электромиографического тренинга в комплексной терапии головной боли и связанных с ней эмоциональных расстройств. Все исследования имеют высокий уровень достоверности доказательств и убедительности рекомендаций. Большой прогресс достигнут в области разработки инновационных психофизиологических технологий, включая использование аппаратно-программных комплексов, электроэнцефалографии и нейроинтерфейсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Психофизиологические технологии с БОС демонстрируют эффективность в реабилитации пациентов с психосоматическими расстройствами, пограничными состояниями и рядом неврологических заболеваний (головная боль, эпилепсия, спинальная травма, инсульт). Необходимы дальнейшие исследования для формирования доказательной базы, уточнения механизмов действия и алгоритмов назначений с учетом физиологической и психологической составляющей лечебного или реабилитационного процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: психофизиологические технологии, биологическая обратная связь, медицинская реабилитация, нейроинтерфейс, виртуальная реальность, инсульт.

Для цитирования / For citation: Костенко Е.В., Котельникова А.В., Погонченкова И.В., Петрова Л.В., Хаустова А.В., Филиппов М.С., Каверина Е.В. Психофизиологические технологии с применением метода биологической обратной связи: аналитический обзор. Вестник восстановительной медицины. 2024; 23(3):77-91. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-77-91> [Kostenko E.V., Kotelnikova A.V., Pogonchenkova I.V., Petrova L.V., Khaustova A.V., Filippov M.S., Kaverina E.V. Psychophysiological Technologies Using the Biofeedback Method: an Analytical Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):77-91. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-77-91> (In Russ.)]

* **Для корреспонденции:** Котельникова Анастасия Владимировна, E-mail: pav-kotelnikov@yandex.ru; nauka-org@mail.ru; mnpdsm@zdrav.mos.ru.

Статья получена: 29.03.2024
Статья принята к печати: 31.05.2024
Статья опубликована: 17.06.2024

Psychophysiological Technologies Using the Biofeedback Method: an Analytical Review

 Elena V. Kostenko^{1,2},  Anastasia V. Kotelnikova^{1,*},  Irena V. Pogonchenkova¹,
 Liudmila V. Petrova¹,  Anna V. Khaustova¹,  Maksim S. Filippov¹,  Elena V. Kaverina¹

¹ Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

² Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. There is high prevalence of post-stroke motor and neuropsychological disorders. However, they are usually considered without interrelation with each other, and rehabilitation methods are also considered in the context of a monodomain effect on specific functions.

AIM. To analyze the available scientific evidence on the role of psychophysiological technologies with biofeedback in clinical medicine and medical rehabilitation.

MATERIALS. 50 sources were analyzed, 25 of which are high-level evidence-based articles (randomized controlled trials, meta-analyses, systematic reviews) published in databases Elibrary.ru, Medline, Web of Science, PubMed and Scopus for the period of 2009–2024.

RESULTS. The complex effect of the BFB method on the physical symptoms and psychological state of patients, as well as the possibility of using physiological indicators for adaptive biofeedback, has been studied. The greatest amount of evidence is available about the positive effect of technology using BFB on the psychoemotional state of patients and the state of the cardiovascular system. Significant results were obtained when using BFB-electromyographic-training in the complex therapy of headache and related emotional disorders. All studies have a high level of reliability of evidence and credibility of recommendations. Great progress has been made in the development of innovative psychophysiological technologies, including the use of hardware and software complexes, electroencephalography and neurointerfaces.

CONCLUSION. Psychophysiological technologies with BFB demonstrate effectiveness in the rehabilitation of patients with psychosomatic disorders, borderline conditions and a number of neurological diseases (headache, epilepsy, spinal injury, stroke). Further research is needed to form an evidence base, clarify the mechanisms of action and algorithms of prescriptions, taking into account the physiological and psychological component of the therapeutic or rehabilitation process.

KEYWORDS: psychophysical technologies, biofeedback, medical rehabilitation, neurointerface, virtual reality, stroke.

For citation: Kostenko E.V., Kotelnikova A.V., Pogonchenkova I.V., Petrova L.V., Khaustova A.V., Filippov M.S., Kaverina E.V. Psychophysiological Technologies Using the Biofeedback Method: an Analytical Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):77-91. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-77-91> (In Russ.).

* **For correspondence:** Anastasiya V. Kotelnikova, E-mail: pav-kotelnikov@yandex.ru, nauka-org@mail.ru, mnpcsm@zdrav.mos.ru.

Received: 29.03.2024

Accepted: 31.05.2024

Published: 17.06.2024

ВВЕДЕНИЕ

Психофизиологические технологии с использованием метода биологической обратной связи (БОС) являются эффективным современным подходом, позволяющим без инвазивных вмешательств улучшить функционирование организма путем инструментального обучения навыкам самоконтроля и саморегуляции. Теоретическими основами для разработки концепции метода БОС послужили исследования классического обусловливания И.П. Павлова, оперантного научения Б.Ф. Скиннера, теории функциональных систем П.К. Анохина и мозговой организации психической деятельности Н.П. Бехтерева, научные работы Н.Е. Миллера и ряда других авторов [1]. Метод БОС начал формироваться в конце 50-х годов XX в. в рамках клинической нейрофизиологии и первые работы были посвящены изучению возможностей управления альфа-ритмом [2]. Оспоренное впоследствии предположение, что произвольное управление альфа-ритмом позволит снижать интенсивность стресса, послужило началом ряда исследований в области регуляции мозговой активности для лечения эпилепсии, алкоголизма, синдрома дефицита

внимания и гиперактивности (СДВГ), а также других заболеваний [3–5].

Объектом регуляции методом БОС может стать любой параметр оценки жизнедеятельности организма: кожно-гальваническая реакция (КГР), кожная проводимость, электроэнцефалограмма (ЭЭГ), температура кожи, частота дыхательных движений (ЧДД), электрокардиограмма (ЭКГ), электромиограмма (ЭМГ), фотоплетизмограмма (ФПГ). Метод уникален своей универсальностью и неспецифичностью, поскольку оказывает воздействие на все системы организма, вовлеченные в регуляцию функционального состояния. На сегодняшний день БОС является одним из наиболее научно обоснованных методов биоуправления [6]. Количество исследований с использованием данной технологии неуклонно растет, что определяет потребность в систематизации имеющихся научных данных, в частности — типологизации БОС-инструментария, определения границ применимости различных устройств, алгоритмов назначений, показаний и противопоказаний с учетом физиологической и психологической составляющей лечебного или реабилитационного процесса.

ЦЕЛЬ

Провести анализ имеющихся научных данных о роли психофизиологических технологий с БОС в области клинической медицины и медицинской реабилитации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск источников проводился в базах данных Elibrary.ru, Medline, Web of Science, PubMed и Scopus и выявил первоначально 50 записей, из них 25 статей были включены в анализ, критериями которого явилось соответствие фундаментальным принципам доказательной медицины и временная отнесенность публикаций за период 2009–2024 гг. Использовались следующие ключевые слова: «психофизиологические технологии» (psychophysical technologies), «биологическая обратная связь» и «биоуправление» (biofeedback), «медицинская реабилитация» (medical rehabilitation), «нейроинтерфейс» (neurointerface), «виртуальная реальность» (virtual reality).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Психофизиологическая основа метода биоуправления состоит в организации на принципе БОС дополнительного сенсорного контроля над физиологическим процессом с возможностью последующей выработки ассоциативного (условно-рефлекторного) регулирования с целью направленного изменения выбранного параметра.

Концепции эффективности метода биоуправления

Регистрация и передача пациенту информации о его собственном функциональном состоянии, получаемой через различные датчики в режиме реального времени, позволяет обучить его коррекции нарушенной физиологической функции с участием произвольных и непроизвольных механизмов саморегуляции [7]. При проведении занятий происходит фиксация физиологических параметров организма (КГР, ЭЭГ, температура кожи, ЧДД, ЭКГ, ЭМГ, ФПГ и т. д.) и компьютерное преобразование их в сигналы обратной связи, воспринимаемые человеком в виде звукового или зрительного ряда. Поступление информации о физиологических параметрах в режиме реального времени дает возможность центральным анализаторам мозга мгновенно оценивать взаимосвязь телесных ощущений с целевыми изменениями и обучаться произвольному их воспроизведению.

Существует ряд предположений о механизмах, в соответствии с которыми достигается эффективность БОС. Первоначальная концепция ориентирована преимущественно на изменение двигательных стратегий и предполагает возможность для пациента при помощи аппаратных комплексов с БОС наблюдать за непроизвольными и неосознаваемыми процессами. При этом фокусировка внимания на симптомах и ощущениях, им предшествующих, с возможностью мониторинга физиологических коррелятов позволяет сформировать поведение, уменьшающее выраженность симптоматики [8].

Согласно когнитивной концепции, смещающей локус внимания на мысли пациента, тренировки с БОС меняют представление пациента о болезни, повышают ожидания положительных эффектов и мотивированность [9]. Обе концепции основаны на влиянии БОС-тренинга на преобразование изначально «неправильного» действия человека в новое, помогающее улучшить качество жизни.

Третья концепция полагает, что каждый человек обладает глубоким пониманием своего физического состояния и его функций, однако эти сведения скрыты по множеству причин. В таком случае БОС служит стимулирующим фактором, позволяющим «высвободить» собственные знания и вывести их на уровень сознания [10].

Доказательная база эффективности технологий БОС

За период 2020–2024 гг. наблюдается значительное увеличение числа научных публикаций по использованию технологий БОС в базе данных научной медицинской периодики PubMed. Разные авторы объясняют это недостаточной эффективностью традиционных методов фармакологического лечения [6, 11–17], наличием в настоящий момент углубленного понимания механизмов нейропластичности и необходимостью совершенствования имеющихся методов медицинской реабилитации (МР) [11, 18–21], а также стремительным развитием вычислительной техники, робототехники, методов записи мозговых сигналов и математических алгоритмов для их декодирования [21–22]. Таким образом, внедрение психофизиологических технологий с БОС в клиническую практику является своевременным и нуждается в дальнейшем изучении для формирования доказательной базы, уточнения механизмов действия и методологическом обосновании. Имеющиеся к настоящему моменту исследования с позиции доказательной медицины демонстрируют преимущественно средний уровень убедительности рекомендаций (УУР) и достоверности доказательств (УДД).

В табл. 1 представлен обзор исследований по использованию различных психофизиологических тренингов с БОС. Данные относительно УУР и УДД присвоены в соответствии с Приложением № 2 к Приказу Министерства здравоохранения РФ от 28 февраля 2019 г. № 103н «Об утверждении порядка и сроков разработки клинических рекомендаций, их пересмотра, типовой формы клинических рекомендаций и требований к их структуре, составу и научной обоснованности включаемой в клинические рекомендации информации».

Наибольшая доказательная база существует для клинического использования кардиотренинга с БОС. Высокий уровень достоверности доказательств (1, 2) при высоком уровне убедительности рекомендаций (А) имеют 24,0 % проанализированных работ (6 из 25), посвященных использованию кардиотренинга с БОС. БОС-кардиотренинг является наиболее изученным: условная рекомендация (не все рассматриваемые критерии эффективности являются важными, не все исследования имеют высокое или удовлетворительное методологическое качество и/или их выводы по интересующим исходам не являются согласованными), представленная классом В с различными уровнями достоверности доказательств (2, 3, 4), встречается в 59,1 % случаев, из которых более половины (8 из 13 исследований) посвящены кардиотренингу. Исследователи отмечают положительное влияние данной технологии не только на состояние сердечно-сосудистой системы, но и на текущее психоэмоциональное состояние пациентов: симптомы тревоги, паники, депрессии, астении, ПСТР. Важный аспект применения данного вида БОС — отсроченная эффективность процедуры, проявляющаяся в устойчивом и длительном сохранении навыка эмоциональной саморегуляции [43].

Таблица 1. Научные исследования по использованию психофизиологических тренингов с биологической обратной связью
Table 1. Scientific researches of psychophysiological training with biofeedback

Тип БОС (регистраемые параметры) / Type of BFB (registered parameters)	Тип исследования / Type of research	Объем / Volume	Выводы / Conclusions	УДД / COR	УУР / LOE
1. Эффективность психофизиологических тренингов с биологической обратной связью при разных особенностях личности [23] / The effectiveness of psychophysiological training with biofeedback in different personality traits [23]					
Тета-тренинг		16 чел.	Тренинги электроволновой активности, а также медитация и гипноз больше подходят для эмоционально лабильных лиц	3	B
Термический тренинг, мышечный тренинг	КГ	21 чел.	Больше подходит для общительных, открытых, сангвиников или холериков		
Тренинг кардиореспираторной системы (ЧСС, ЧДД)		6 чел.	Больше подходит для нейротичных и меланхоличных, неуверенных в себе, лабильных		
КГР		6 чел.	Не подходит при депрессии, хорош для лабильных		
2. Двойной позно-моторный и позно-идеомоторный прием: предполагаемый маркер психомоторной заторможенности и депрессивных переживаний у пациентов с тяжелым депрессивным расстройством [24] / Posture-Motor and Posture-Ideomotor Dual-Tasking: A Putative Marker of Psychomotor Retardation and Depressive Rumination in Patients With Major Depressive Disorder [24]					
Стабилометрия	КГ	50 чел.	Пациентам с депрессией рекомендуется выполнять простые когнитивные непространственные задачи с целью переключения внимания	3	B
3. Биологическая обратная связь с вариабельностью сердечного ритма улучшает эмоциональное и физическое здоровье и работоспособность: систематический обзор и метаанализ [25] / Heart Rate Variability Biofeedback Improves Emotional and Physical Health and Performance: A Systematic Review and Meta Analysis [25]					
Кардиотренинг (ЧСС)	МА	58 РКИ	Максимально эффективен в отношении тревоги, депрессии, гнева; минимально — в отношении посттравматического стрессового расстройства (ПТСР) и сна. Рекомендован как вспомогательное средство для реабилитационных программ	1	A
4. Нейрофизиологический подход к самоконтролю вегетативной нервной системы, связанной со стрессом, у пациентов с депрессией, стрессом и тревогой [26] / Neurophysiological Approach by Self-Control of Your Stress-Related Autonomic Nervous System with Depression, Stress and Anxiety Patients [26]					

Тип БОС (регистрабельные параметры) / Type of BFB (registered parameters)	Тип исследования / Type of research	Объем / Volume	Выводы / Conclusions	УДА / COR	УУР / LOE
Кардиотренинг (ЧСС)	МА	9 РКИ	Эффективен при расстройствах, связанных со стрессом (ПТСР, депрессия и паническое расстройство), особенно в сочетании с когнитивно-поведенческой терапией. Эффект был замечен после 4 недель тренировок, клиническая практика при ежедневном самолечении в течение 8 недель является более многообещающей	1	A
5. Лечение симптомов у выживших после рака: рандомизированное пилотное исследование биологической обратной связи по вариабельности сердечного ритма [27] / Symptom Management Among Cancer Survivors: Randomized Trial of Heart Rate Variability Biofeedback [27]					
Кардиотренинг (ЧСС)	РКИ	34 чел.	Выявлена тенденция к улучшению состояния при стрессе, дистрессе, усталости, ПТСР и депрессии, уменьшает нарушения сна	2	B
6. Технология повышения психической стрессоустойчивости на основе БОС-тренинга [28] / Technology of increasing mental stress tolerance based on BFB-training [28]					
КГР	Описание программы, экспертное мнение	—	Достигается повышение эмоциональной устойчивости, стойкое снижение личностной тревожности, повышение резистентности организма к различным психическим, биологическим и физическим факторам среды обитания и деятельности	5	C
7. Инновационные здоровьесберегающие технологии в образовательном процессе (на примере использования метода биологической обратной связи) [29] / Innovative health-saving technologies in the educational process (using the biofeedback method) [29]					
Термический тренинг	КГ	Нет данных	У 31 % студентов сформировался навык управления периферической температурой	4	C
Мышечный	КГ		У 53 % студентов улучшились результаты по формированию навыка мышечной релаксации		
8. Развитие и совершенствование навыков саморегуляции в процессе игрового биоуправления: психологический анализ [30] / Development and improvement of self-regulation skills in the process of game biofeedback: psychological analysis [30]					
Кардиотренинг (ЧСС)	РКИ	121 чел.	10 сессий по 20–30 минут. Тестирование через год выявило 97%-ное сохранение навыка саморегуляции, лучше справляются люди с высоким интеллектом и толерантностью к неопределенности	2	A
9. Подход, основанный на методах Бобата и Войты, при церебральном параличе: пилотное исследование. Дети (Базель) [31] / Approach by Bobath and Vojta Methods in Cerebral Palsy: A Pilot Study. Children (Basel) [31]					
Стабилометрия	КГ	12 чел.	Стабилометрия в сочетании с физическими упражнениями помогает уменьшить дисбаланс право-лево, улучшить координацию	4	C

Тип БОС (реги-стрируемые па-раметры) / Type of BFB (registered parameters)	Тип исследования / Type of research	Объем / Volume	Выводы / Conclusions	УДД / COR	УУР / LOE
10. Влияние представлений чувственно-ориентированных образов на параметры вертикальной позы и биоэлектрической активности головного мозга у актеров в процессе перевоплощения (пилотное исследование) [32] / Impact of perceiving sense-oriented images on the parameters of the vertical posture and brain activity in actors during method acting (pilot study) [32]					
Стабилометрия и ЭЭГ	КГ	12 чел.	Стабилометрический тренинг может дополняться образным представлением — более устойчивые образы улучшают эффективность стабилотренинга	4	B
11. Биологическая обратная связь как метод оптимизации функционального состояния при психоэмоциональном стрессе [33] / Biofeedback as a method of optimizing the functional state under psychoemotional stress [33]					
КГР и ФПГ	КГ	44 чел.	Использование психофизиологического тренинга с использованием аппаратных комплексов на основе БОС помогает оптимизировать функциональное состояние и повысить адаптационные механизмы личности при психоэмоциональных стрессах	4	C
12. Игровое биоуправление — помощь в адаптации к школьному стрессу [34] / Game bio-management as help-technology in adapting to school stress [34]					
Кардиотренинг (ЧСС)	КГ	Нет данных	Курс — 8–10 сеансов, 20–30 минут, 1–2 раза в неделю. Все школьники, прошедшие курс игрового компьютерного биоуправления, продемонстрировали способности к эффективному освоению способов саморегуляции и контроля эмоционального состояния в ситуации, имитирующей стресс	4	C
13. Перспективы использования комбинации дыхательных упражнений с психологическим тренингом с биологической обратной связью при реабилитации пациентов с патологией кардиореспираторной системы [35] / Prospects of using a combination of breathing exercises with psychophysiological training with biofeedback in the rehabilitation of patients with pathology of the cardiorespiratory system [35]					
Дыхательный тренинг, ФПГ, кардиотренинг (ЧСС)	КГ	26 чел.	Применение БОС-тренинга с использованием дыхательных упражнений перспективно для реабилитации лиц, страдающих заболеваниями сердечно-сосудистой и дыхательной систем	4	B
14. Применение краткосрочного дыхательного БОС-тренинга для развития навыков саморегуляции у спортсменов-единоборцев [36] / The use of short-term breathing biofeedback training for the development of self-regulation skills in combat athletes [36]					
Дыхательный тренинг, ФПГ, кардиотренинг (ЧСС)	РКИ	20 чел.	5 сеансов дыхательного БОС-тренинга оказали положительное влияние на функциональное состояние и регуляторные процессы в вегетативной и сердечно-сосудистой системе у спортсменов, исходно находившихся в более благоприятном состоянии	2	B

Тип БОС (регистрабельные параметры) / Type of BFB (registered parameters)	Тип исследования / Type of research	Объем / Volume	Выводы / Conclusions	УДА / COR	УУР / LOE
15. Влияние индивидуального вегетативного статуса на адаптацию студентов к учебному процессу и результативность ДАС-БОС-тренинга [37] / The impact of students' individual vegetative status on their psychophysiological adaptation to the learning environment: the effectiveness of RSA-BFB therapy [37]					
Дыхательный тренинг, кардиотренинг (ЧСС)	КГ	15 чел.	Результатом проведения сеансов БОС-тренинга явилось смещение вегетативного равновесия в экспериментальной группе к сбалансированному типу вегетативной регуляции	4	B
16. Воздействие БОС-тренинга на когнитивные функции спортсменов [38] / Impact of biofeedback training on cognitive functions of athletes [38]					
ЭЭГ	КГ	1020 чел.	10 сеансов по 26 минут. БОС-тренинг по бета-ритму головного мозга способствовал улучшению когнитивных функций спортсменов	4	B
17. Эффекты когнитивной реабилитации с применением двойной задачи у пациентов в раннем послеоперационном периоде прямой реваскуляризации миокарда [39] / Effects of dual-task rehabilitative training in the early postoperative period after direct myocardial revascularization [39]					
Стабилометрия	РКИ	48 чел.	Краткий курс (5–7 тренировок по 15–20 минут) когнитивной реабилитации с использованием двойной задачи благоприятно влияет на когнитивные показатели	2	B
18. Изменение полной мощности бета- и тета-диапазонов при использовании ЭЭГ-биоуправления у младших школьников с трудностями произвольной регуляции [40] / Changes in the full power of the beta and theta ranges when using EEG biofeedback in younger schoolchildren with difficulties of arbitrary regulation [40]					
ЭЭГ	КГ	30 чел.	ЭЭГ-биоуправление — один из эффективных неинвазивных способов коррекции трудностей произвольной регуляции у детей младшего школьного возраста (20 сеансов по 10 минут)	4	C
19. Влияние ненагруженных вестибулярных тренировок на изменение чувствительности отдельных участков периферического отдела вестибулярного анализатора у лиц, склонных к укачиванию [41] / Effect of nonexercise vestibular training on changes in sensitivity of certain areas of peripheral part of vestibular analyzer of persons prone to motion sickness [41]					
Стабилометрия	КГ	38 чел.	После 5 тренировок по 5 минут изменяется возбудимость лабиринта и относительно изменяется внутрилабиринтная чувствительность ампулярных рецепторов	4	B
20. Тренинг на основе БОС по управлению стрессом в повседневной жизни: интервенционное исследование [42] / Biofeedback-based training for stress management in daily hassles: an intervention study [42]					
Кардиотренинг (ЧСС)	РКИ	30 чел.	Тренинг эффективен для восстановления структуры головного мозга, уязвимых к воздействию стресса	2	B

Тип БОС (реги-стрируемые па-раметры) / Type of BFB (registered parameters)	Тип исследования / Type of research	Объем / Volume	Выводы / Conclusions	УДД / COR	УУР / LOE
21. Биологическая обратная связь в лечении заболеваний сердца [43] / Biofeedback in the treatment of heart disease [43]					
Кардиотренинг (ЧСС)	КГ	25 чел.	Тренинг положительно влияет на депрессию в дополнение к влиянию на сердечно-сосудистое заболевание	4	B
22. Психфизиологические реакции на роботизированные реабилитационные задачи при инсульте [44] / Psychophysiological responses to robotic rehabilitation tasks in stroke [44]					
Кардиотренинг (ЧСС), дыхание, КГР, термический тренинг	РКИ	Нет данных	Проводимость кожи имеет наибольший потенциал в качестве индикатора психологического состояния при использовании БОС	2	B
23. Эффективность биологической обратной связи при мигрени: метаанализ [45] / Efficacy of biofeedback for migraine: a meta-analysis [45]					
Кардиотренинг (ЧСС), плезимо-графия, термиче-ский тренинг, ЭМГ-тренинг	РКИ	55 РКИ	Стабильное снижение частоты и интенсивности головной боли и связанной с ней инвалидности, уменьшение межприступных симптомов, таких как раздражение и тревога, на протяжении 17 месяцев. БОС по ЧСС и объему крови оказывают более продолжительный эффект. Высокая эффективность домашних тренировок	1	A
24. Лечение головной боли с помощью БОС: комплексный обзор эффективности [46] / Biofeedback treatment for headache disorders: a comprehensive efficacy review [46]					
ЭМГ-тренинг в сочетании с мето-дикой прогресси-вой релаксации	МА	94 РКИ	Снижение мышечного напряжения в областях, связанных с болью, наблюдалось при ЭМГ-тренинге при головной боли напряжения (ГБН). Эффект стабилен 14 месяцев. БОС была более эффективной, чем условия мониторинга головной боли во всех случаях; ЭМГ-БОС при ГБН показала дополнительные значительные эффекты по сравнению с плацебо и релаксационной терапией	1	A
25. Практический параметр: научно обоснованные рекомендации по лечению мигрени (обзор, основанный на фактических данных): отчет Подкомитета по стандартам качества Американской академии неврологии [47] / Practice parameter: evidence-based guidelines for migraine headache (an evidence-based review): report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology [47]					
Термический тре-нинг, ЭМГ-тренинг	МА	25 РКИ	Снижение мышечного напряжения в областях, связанных с болью при ЭМГ-БОС при ГБН	1	A

Примечания: БОС — биологическая обратная связь; КГ — когортное исследование; МА — системный метаанализ; РКИ — рандомизированное клиническое исследование; УДД — уровень достоверности доказательств; УУР — уровень убедительности рекомендаций; ДАС — дыхательная аритмия сердца.

Notes: BFB — biofeedback; COR — class of recommendations; CS — cohort study; LOE — level of evidence; MA — systemic meta-analysis; RCT — randomized clinical trial; RSA — respiratory sinus arrhythmia.

Следующим по наличию доказательной базы является ЭМГ-тренинг. В аналитическом обзоре работы, посвященные изучению эффективности БОС с использованием электромиографии, представлены в трех случаях (12,0 %). Важно отметить, что все имеют высокий уровень достоверности доказательств и убедительности рекомендаций. Наиболее существенные результаты получены в отношении комплексной терапии ГБН, а также сопряженных с данной патологией эмоциональных расстройств [45–47].

В отношении таких видов БОС-терапии, как стабилотренинг, дыхательный тренинг, термический и тренинг с использованием КГР, фиксируются средний и низкий уровни доказательности (В, С). Тем не менее исследователи отмечают комплексное действие технологии не только на физические симптомы, но и на психологическое состояние обследуемых. Работы с использованием плетизмографии, ЭЭГ и ФПГ встречаются редко.

Иновационные технологии адаптивного биоуправления

Анализируя состояние проблемы типологизации технических устройств, работающих по принципу БОС, необходимо отметить, что на сегодняшний день психофизиологические технологии представлены специальными аппаратно-программными комплексами (АПК). Именно благодаря АПК можно точно откорректировать любой измеряемый параметр функционирования организма: пульс, ЧДД, АД, периферическое сосудистое сопротивление, электропроводимость кожи, а также характеристики ЭКГ и ЭЭГ [6, 48–49]. Появление метода ЭЭГ как возможности наиболее точно наблюдать активность головного мозга положило начало созданию технологии, продолжающей и развивающей концепцию БОС — нейроинтерфейс «мозг-компьютер» (НМК). На данный момент существует множество вариантов реализации НМК, в основе которого лежит установление связи мозга человека с компьютером. Примером интерфейса могут служить нейропротезы, в которых особое устройство считывает указания из мозга, обрабатывает их и передает на контроллер, ответственный за выполнение конкретных движений искусственной конечностью [50]. На принципы БОС опираются активно используемые в МР пациенты с параличами устройства: человек получает возможность передвигаться самостоятельно с помощью команд, передаваемых на электронное устройство.

Принцип работы всех устройств с НМК схож: электроды считывают сигналы мозга, которые поступают на микроконтроллер, проводящий очистку сигналов от артефактов (движения мышц, сердечная деятельность, помехи, создаваемые электроникой и т. д.). Затем на внешнем устройстве при помощи искусственных нейронных систем сигналы обрабатываются с целью идентификации команды, которой они соответствуют и которая впоследствии передается на управляемое устройство [51]. Главная цель исследования заключалась в определении наиболее достоверных показателей психофизиологического состояния пациентов во время проведения терапии. Анализировались изменения в показателях ЧСС, проводимости кожи, ЧДД и температуры кожи у пациентов с инсультом и контрольной группы. Участникам проводили когнитивно-двигательный тренинг

с заданиями разной сложности в виртуальной среде, используя тактильного робота и одновременно регистрируя психофизиологические показатели. Все четыре параметра показали значительные изменения, которые коррелировали с результатами самоотчетов испытуемых. Проводимость кожи различалась в зависимости от сложности заданий и коррелировала с самоотчетами у обеих групп пациентов. Температура кожи различалась в контрольной группе в зависимости от сложности заданий, но показала неудовлетворительные результаты в группе инсульта. ЧСС и ЧДД увеличивались во время выполнения заданий, однако их связь с психологическим состоянием неясна. Установлено, что проводимость кожи обладает наибольшим потенциалом в качестве индикатора психологического состояния, а другие показатели предоставляют дополнительную информацию. Таким образом, психофизиологические измерения могут быть использованы в системах биологической обратной связи для определения психологического состояния пользователя и коррекции курса терапии [52].

Tamantini С. и соавт. выделили следующие особенности психофизиологически обоснованной стратегии контроля роботизированной ортопедической реабилитации верхних конечностей: 1) возможность генерации траекторий «точка-точка» внутри адаптируемого рабочего пространства; 2) возможность оказания помощи в управлении конечностями пациентам при выполнении поставленной задачи, позволяющими им свободно перемещаться с определенной степенью пространственной и временной автономии; 3) возможность настройки параметров управления в соответствии с кинематическими показателями и психофизиологическим состоянием пациента. Авторы провели валидацию реализованной стратегии контроля на 8 пациентах, которые прошли 20 сеансов роботизированной реабилитации. Использование психофизиологического управления положительно влияло на участников, их мотивацию и клиническую результативность в контроле двигательных функций по сравнению с пациентами, не принимавшими участие в программе психофизиологической адаптации. [44].

Одной из новых и эффективных технологий психофизиологической реабилитации является виртуальная реальность (VR). Специальные программы, разработанные для восстановления навыков и улучшения когнитивных функций, позволяют пациентам тренироваться в комфортной среде, что помогает преодолеть психологические барьеры и повысить мотивацию для восстановления. Клинические исследования подтверждают эффективность VR в сочетании с физической терапией для улучшения когнитивных и моторных функций у пациентов с постинсультными нарушениями. Технологии VR также помогают справляться с тревожными ситуациями и болевыми ощущениями, отвлекают от дискомфорта и помогают расслабиться [53–55]. Новым направлением в разработке нейроинтерфейсов является симбиоз технологий НМК и VR. Имеются данные о создании системы адаптивной VR с использованием нейроинтерфейса для восстановления моторных функций в виде сочетания шлема виртуальной реальности HTC VIVE Pro Eye и комплекса NeuroPlay-8Cap, с помощью которого измеряется биоэлектрическая активность головного мозга [56].

Психофизиологические технологии в медицинской реабилитации

Психофизиологические технологии с БОС активно применяются в клинике, особенно при лечении психосоматических расстройств, пограничных состояний и неврологических заболеваний. БОС-тренинг может использоваться как самостоятельная психотерапевтическая методика, а также эффективный инструмент помощи врачу для достижения более выраженного и долгосрочного терапевтического эффекта в рамках МР.

Наиболее часто используются следующие виды тренинга:

- ЭЭГ-альфа-тренинг: развивает навык психоэмоциональной релаксации, снижает возбуждение, психическое напряжение, общий дискомфорт, улучшает сон, снижает тревожность и страх;
- ЭЭГ-бета-тренинг: формирует и тренирует навык концентрации и удержания оптимального уровня внимания;
- кардиотренинг: развивает навык диафрагмального релаксационного дыхания, оптимизирует нагрузку на сердце и сосуды, нормализует вегетососудистый тонус, уменьшает спастическое мышечное напряжение, болевой синдром, улучшает периферическое кровообращение и стабилизирует АД;
- ЭМГ-тренинг: формирует навык мышечного расслабления спастической боли и ГБН;
- термический тренинг: улучшает сосудистую реактивность, нормализует вегетососудистый тонус, уменьшает мышечное напряжение, болевой синдром, улучшает периферическое кровообращение и стабилизирует АД, снижает возбуждение, тревожность и страх.

Доказано, что использование БОС положительно влияет на уровень тревоги и стресса, активируя альфаритм головного мозга. Это приводит к снижению АД, ЧСС и сосудистого сопротивления, а также нормализации уровня кортизола, ренина и катехоламинов. Одновременно усиливается выработка эндорфинов на уровне ЦНС, что способствует повышению подвижности опиоидной системы [42–43].

Эти эффекты нашли свое применение в психиатрической и психотерапевтической практике при терапии невротических, тревожных и аддитивных расстройств, при дефиците внимания и гиперактивности. В последних исследованиях было показано, что БОС-тренинг может быть эффективным при лечении зависимостей от алкоголя и наркотиков [49, 57–59].

Особое внимание уделяется применению БОС-тренинга при лечении ГБН, мигрени и головной боли при невротических, неврозоподобных и аффективных расстройствах [60]. Для более эффективной терапии мигрени используется температурный БОС-тренинг с охлаждением рук. Установлено, что под воздействием стресса происходит централизация кровообращения, что приводит к изменению АД и кровотока, а также спазмам периферических сосудов. Охлаждение рук сигнализирует о начале стресса, а приобретение навыков контроля за температурой рук позволяет расширить сосуды конечностей, уменьшить АД, увеличить периферическое сопротивление и предотвратить развитие

эмоционального напряжения или снизить его уровень. Таким образом, тренировка по увеличению температуры рук помогает предотвратить симпатическую активацию и прервать болевой приступ [47].

Было показано, что термическая БОС и тренировки релаксации с БОС по ЭМГ, при которой пациенты учатся расслаблять целевые группы скелетных мышц, значительно улучшают симптомы мигрени и ГБН. Метаанализ 25 исследований показал, что БОС сравнима с профилактической фармакотерапией [46]. В другом метаанализе, объединяющем 55 исследований, продемонстрировано уменьшение частоты приступов мигрени у пациентов, получающих технологии БОС [45]. В исследовании, сочетающем тепловую и ЭМГ-БОС, и тренировку по релаксации, у пациентов с мигренью наблюдалось значительное снижение частоты и интенсивности головной боли, межприступных симптомов, уменьшение инвалидности, связанной с головной болью [45–46]. Рядом исследований показано сокращение использования лекарств и обращения за медицинскими услугами как для пациентов с мигренью, так и для пациентов с ГБН при использовании методов БОС [61]. Таким образом, БОС может повысить эффективность превентивных и анальгетических препаратов для лечения мигрени. БОС может использоваться пациентами с непереносимостью лекарств для профилактики (например, бета-блокаторами), во время беременности, при условии регулярного применения данного метода [47, 62].

Метод БОС-тренинга находит применение в терапии эпилепсии. ЭЭГ-тренинги, используемые для регулирования биоэлектрической активности мозга, помогают снижать частоту и силу приступов, а также способствуют улучшению когнитивных функций у данной категории пациентов [63].

Исследования В. Брукера и Н. Булаевой показали возможность использования ЭМГ-БОС-тренинга в системе МР больных со спинальной травмой [64]. Технология БОС способна значительно увеличить волевой ЭМГ-ответ определенных мышечных групп ниже уровня повреждения спинного мозга. Метод доказал свою эффективность независимо от времени после травмы, начального мышечного напряжения и волевого контроля. Многие пациенты, у которых изначально отсутствовал ЭМГ-ответ, смогли его достичь с помощью БОС-тренинга, и увеличение ЭМГ-ответа составило от 20 до 40 % [65].

В клинике нервных болезней технология БОС показала эффективность при реабилитации пациентов с детским церебральным параличом, спастической кривошеей, невралгией лицевого нерва [66–67].

Перспективным считается использование БОС-тренинга в МР пациентов, перенесших инсульт [68–70]. Постинсультные нейропсихологические нарушения играют важную роль в формировании двигательных расстройств и являются важным аспектом постинсультной реабилитации. Основой психофизиологической реабилитации служит нейропластичность, стимуляция которой достигается с помощью различных упражнений и тренировок, направленных на восстановление когнитивных и моторных навыков [71]. Важным элементом психофизиологической реабилитации является работа с психоэмоциональным состоянием пациента. Стресс,

депрессия и тревожность снижают возможности МР. Психотерапевтические методики, такие как когнитивно-поведенческая терапия, медитация и релаксация, позволяют пациентам улучшить свое психическое состояние и лучше справиться с эмоциональными трудностями, возникающими после инсульта [72]. Включение в индивидуальную программу МР психофизиологических технологий с БОС — важный аспект для повышения эффективности проводимых реабилитационных мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на новизну и недостаточность данных исследований в области биоадаптивного управления с использованием технологии БОС, можно рассматривать разработки в данной области как перспективные. Результаты опубликованных исследований демонстрируют взаимосвязь психологических особенностей и физиологических возможностей индивидуумов в ходе повышения уровня произвольной саморегуляции. Комплексы с БОС отличает неинвазивность, отсутствие побочных эффектов при наличии положительных результатов от процедур, адаптивность в отношении пациента, выраженное влияние на психоэмоциональное состояние. Особо интересной представляется возможность применения технологий с БОС для модификации

психофизиологического состояния человека на основе индивидуального подхода в программах МР пациентов различных профилей.

Современные технологии адаптивного биоуправления продолжают развиваться в направлении выбора персонализированного сценария БОС-тренинга: широкий набор видов обратной связи, высокое качество регистрации физиологических сигналов, контроль успешности обучения в режиме реального времени, возможность менять параметры тренинга по каждому условию, не прерывая сеанса, мониторинг динамики обучения пациента, возможность создавать свои собственные программы тренировок индивидуально для каждого пациента, используя различные комбинации физиологических параметров. Разработаны новые портативные девайсы, носимые устройства с сенсорными датчиками и БОС, роль которых в возможности психофизиологической коррекции пока не ясна.

Необходимо дальнейшее изучение особенностей и возможностей применения психофизиологических технологий с БОС с целью формирования персонализированных программ биоуправления в зависимости от интеллектуального статуса, личностного и психологического профиля пациента, характера и выраженности нарушенного функционирования и применяемых реабилитационных технологий.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Костенко Елена Владимировна, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы», врач-невролог, профессор кафедры неврологии, нейрохирургии и медицинской генетики, ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0902-348X>

Котельникова Анастасия Владимировна, кандидат психологических наук, ведущий научный сотрудник, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы».

E-mail: pav-kotelnikov@yandex.ru; nauka-org@mail.ru; mnpcsm@zdrav.mos.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9605-557X>

Погонченкова Ирэна Владимировна, доктор медицинских наук, доцент, директор, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5123-5991>

Петрова Людмила Владимировна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, врач-невролог, заведующая отделением медицинской реабилитации, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0353-553X>

Хаустова Анна Викторовна, медицинский психолог, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9559-235X>

Филиппов Максим Сергеевич, заведующий филиалом № 3, врач физической реабилитационной медицины, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9522-5082>

Каверина Елена Вячеславовна, врач-невролог, заведующая отделением неврологии филиала № 3, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы».

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2881-9542>

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: Костенко Е.В. — разработка концепции темы обзора и дизайна исследования, проверка критически важного содержания, редактирование рукописи; Котельникова А.В. — разработка концепции и дизайна исследования, написание текста; Погонченкова И.В. — разработка концепции исследования, научная редакция текста рукописи; Петрова Л.В. — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста

статьи, перевод на английский язык; Хаустова А.В.— обзор публикаций по теме статьи; Филиппов М.С. — сбор литературных источников; Каверина Е.В. — сбор литературных источников.

Источники финансирования. Грант Правительства г. Москвы № 1503-7/23 (Россия).

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

Elena V. Kostenko, Dr.Sci. (Med.), Chief Scientific Officer Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department; Neurologist; Professor of the Department of Neurology, Neurosurgery and Medical Genetics, Pirogov Russian National Research Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0902-348X>

Anastasia V. Kotelnikova, Ph.D. (Psychol.), Senior Researcher, Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department.

E-mail: pav-kotelnikov@yandex.ru; nauka-org@mail.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9605-557X>

Irena V. Pogonchenkova, Dr.Sci. (Med.), Director, Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5123-5991>

Liudmila V. Petrova, Ph.D. (Med.), Senior Researcher, Neurologist, Head of Department of Medical Rehabilitation, Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0353-553X>

Anna V. Khaustova, Medical Psychologist, Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9559-235X>

Maksim S. Filippov, Head of Branch No. 3, Doctor of Physical Rehabilitation Medicine, Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9522-5082>

Elena V. Kaverina, Head of Neurology Department of Branch No. 3, Neurologist, Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2881-9542>

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: Kostenko E.V. — development of the review topic, verification of critical content, editing of the manuscript; Kotelnikova A.V. — development of the concept and design of the study, selection and clinical examination of patients, statistical processing, text writing; Pogonchenkova I.V. — oversaw the project; Petrova L.V. — text writing; Haustova A.V. — review of publications on the topic of the article, statistical data processing; Filippov M.S. — material analysis; Kaverina E.V. — collection and processing of material.

Funding. The study was supported by the Grant of the Government of Moscow No. 1503-7/23 (Russia).

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. Датченко С.А. Предпосылки возникновения и история развития современной психофизиологической технологии БОС. Личность, семья и общество: вопросы педагогики и психологии. 2015; 49: 7–12. [Datchenko S. A. The background and history of the development of modern psychophysiological biofeedback technology. *Lichnost, sem'ya i obshchestvo: voprosy pedagogiki i psihologii*. 2015; 49: 7–12 (In Russ.).]
2. Kamiya J. Conscious control of brain wave. *Psychol. Today*. 1968; 1: 56–60.
3. Sterman M.B. Basic concepts and clinical findings in the treatment of seizure disorders with EEG operant conditioning. *Clinical EEG (electroencephalography)*. 2000; 1: 45–55. <https://doi.org/10.1177/155005940003100111>
4. Levesque J., Beaugregard M., Mensour B. Effect of neurofeedback training on the neural substrates of selective attention in children with attention deficit/hyperactivity disorder: A functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters*. 2006; 394: 216–221. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.10.100>
5. Peniston E.G., Kulkosky P.J. Alpha-theta brainwave training and beta-endorphin levels in alcoholics. *Alcohol Clin Exp Res*. 1989; 13(2): 271–279. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.1989.tb00325.x>
6. Можейко Е.Ю., Петряева О.В. Обзор исследований использования БОС-терапии при реабилитации и восстановительном лечении пациентов неврологического профиля. *Доктор.Ру*. 2021; 20(9): 43–47. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2021-20-9-43-47> [Mozheyko E.Yu., Petryaeva O.V. Review of the Studies in the Use of Biofeedback Therapy in Rehabilitation and Physiatrics of Neurological Patients. *Doctor.Ru*. 2021; 20(9): 43–47. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2021-20-9-43-47> (in Russ.).]
7. Чугаев И.Г., Лисицина К.А. Коррекция психического состояния человека посредством биологической обратной связи. *Медицинская техника*. 1991; 2: 214–217. [Chugaev I.G., Lisitsyna K.A. Correction of the psychic state of man using biological feedback. *Medicinskaya tekhnika*. 1991; 2: 214–217 (In Russ.).]
8. Lubar J.F. Neurofeedback for management attention deficit disorders. *Biofeedback: A Practitioners Guide*. N.Y.: Gullford Publications Inc. 1995: 493–522.

9. Грехов Р.А., Сулейманова Г.П., Харченко С.А., Адамович Е.И. Психофизиологические основы применения лечебного метода биологической обратной связи. Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 11. Естеств. науки. 2015; 3(13): 87–96. <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu11.2015.3.9> [Grekhov R.A., Suleymanova G.P., Kharchenko S.A., Adamovich E.I. Psychophysiological basics of applying the medical method of biofeedback Psychophysiological foundations of the biofeedback as a therapeutic method. Bulletin of the Volgograd State University. Series 11. Natural Sciences. 2015; 3(13): 87–96. <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu11.2015.3.9> (In Russ.).]
10. Wintner S.R., Waters S.E., Peechatka A., et al. Evaluation of a scalable online videogame-based biofeedback program to improve emotion regulation: A descriptive study assessing parent perspectives. *Internet Interv.* 2022; 28: 100527. <https://doi.org/10.1016/j.invent.2022.100527>
11. Hampson M., Ruiz S., Ushiba J. Neurofeedback. *Neuroimage.* 2020; 218: 116473. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116473>
12. Costa Vital J.E., de Moraes A.N., Cacique S.A., et al. Biofeedback therapeutic effects on blood pressure levels in hypertensive individuals: A systematic review and meta-analysis. *Complement Ther Clin Pract.* 2021; 44: 101420. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2021.101420>
13. Popa L.L., Chira D., Strilciuc Ş., Mureşanu D.F. Non-Invasive Systems Application in Traumatic Brain Injury Rehabilitation. *Brain Sci.* 2023; 13(11): 1594. <https://doi.org/10.3390/brainsci13111594>
14. O'Connell N.E., Marston L., Spencer S., et al. Non-invasive brain stimulation techniques for chronic pain. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018; 3(3): CD008208. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008208.pub4>
15. de la Vega R., Heinisuo I.A., López-Martínez A.E., et al. ANF therapy® for pain management, feasibility, satisfaction, perceived symptom reduction and side effects: a real-world multisite observational study. *J Phys Ther Sci.* 2023; 35(12): 7683(13): 87–96776. <https://doi.org/10.1589/jpts.35.768>
16. Jensen M.P., Sherlin L.H., Askew R.L., et al. Effects of non-pharmacological pain treatments on brain states. *Clin Neurophysiol.* 2013; 124(10): 2016–2024. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.04.009>
17. Larsen S., Sherlin L. Neurofeedback: an emerging technology for treating central nervous system dysregulation. *Psychiatr Clin North Am.* 2013; 36(1): 163–168. <https://doi.org/10.1016/j.psc.2013.01.005>
18. Paraskevopoulou S.E., Coon W.G., Brunner P., et al. Within-subject reaction time variability: Role of cortical networks and underlying neurophysiological mechanisms. *Neuroimage.* 2021; 237: 118127. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118127>
19. Abiri R., Borhani S., Sellers E.W., et al. A comprehensive review of EEG-based brain-computer interface paradigms. *J Neural Eng.* 2019; 16(1): 011001. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aaf12e>
20. Haller S., Kopel R., Jhooti P., et al. Dynamic reconfiguration of human brain functional networks through neurofeedback. *Neuroimage.* 2013; 81: 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.019>
21. Simon C., Bolton D.A.E., Kennedy N.C., et al. Challenges and Opportunities for the Future of Brain-Computer Interface in Neurorehabilitation. *Front Neurosci.* 2021; 2(15): 699428. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.699428>
22. Fedotchev A.I., Parin S.B., Poleyeva S.A., Velikova S.D. Brain-Computer Interface and Neurofeedback Technologies: Current State, Problems and Clinical Prospects (Review). *Sovremennye tehnologii v medicine.* 2017; 9(1): 175–184. <https://doi.org/10.17691/stm2017.9.1.22>
23. Луценко Е.Л. Эффективность психофизиологических тренировок с биологической обратной связью при разных особенностях личности. Вісник Харк. нац. ун-ту імені В.Н.Каразіна. Серія: Психологія. 2010; 913. [Lutsenko O.L. Efficiency of psychophysiological trainings with a biological feedback at different features of the personality. *Visnik Khark. nac. un-tu imeni V.N. Karazina. Seriya: Psikhologiya.* 2010: 913 (In Russ.).]
24. Aftanas L.I., Bazanova O.M., Novozhilova N.V. Posture-Motor and Posture-Ideomotor Dual-Tasking: A Putative Marker of Psychomotor Retardation and Depressive Rumination in Patients with Major Depressive Disorder. *Front Hum Neurosci.* 2018; 23(12): 108. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00108>
25. Lehrer P., Kaur K., Sharma A., et al. Heart Rate Variability Biofeedback Improves Emotional and Physical Health and Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2020; 45(3): 109–129. <https://doi.org/10.1007/s10484-020-09466-z>
26. Blase K., Vermetten E., Lehrer P., Gevirtz R. Neurophysiological Approach by Self-Control of Your Stress-Related Autonomic Nervous System with Depression, Stress and Anxiety Patients. *Int J Environ Res Public Health.* 2021; 18(7): 3329. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073329>
27. Burch J.B., Ginsberg J.P., McLain A.C., et al. Symptom Management Among Cancer Survivors: Randomized Pilot Intervention Trial of Heart Rate Variability Biofeedback. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2020; 45(2): 99–108. <https://doi.org/10.1007/s10484-020-09462-3>
28. Адамчук А.В. Технология повышения психической стрессоустойчивости на основе БОС-тренинга. Известия ЮФУ. Технические науки. 2008; 6: 44–47. [Adamchuk A.V. The increasing of mental stress tolerance technology based on BFB training. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki.* 2008; 6: 44–47 (In Russ.).]
29. Бильданова В.Р., Шагивалеева Г.Р., Штерц О.М. Инновационные здоровьесберегающие технологии в образовательном процессе (на примере использования метода биологической обратной связи). Вестник ЮрГГПУ. 2013; 4: 21–29. [Bil'danova V.R., Shagivaleeva G.R., Shterc O.M. Innovative health-saving technologies in the educational process (using the biofeedback method as an example). *Vestnik YUURGGPU.* 2013; 4: 21–29 (In Russ.).]
30. Мажирина К.Г., Джафарова О.А., Первушина О.Н., Редько Н.Г. Развитие и совершенствование навыков саморегуляции в процессе игрового биоуправления: психологический анализ. Бюллетень сибирской медицины. 2010; 9(2): 129–133. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2010-2-129-133> [Mazhirina K.G., Jafarova O.A., Pervushina O.N., Redko N.G. The development and mastering of the skills of self-regulation in the course of game biofeedback: psychological analysis. *Bulletin of Siberian Medicine.* 2010; 9(2): 129–133. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2010-2-129-133> (In Russ.).]
31. Ungureanu A., Rusu L., Rusu M.R., Marin M.I. Balance Rehabilitation Approach by Bobath and Vojta Methods in Cerebral Palsy: A Pilot Study. *Children.* 2022; 9(10): 1481. <https://doi.org/10.3390/children9101481>
32. Нижельской В.А., Ковалева А.В., Панова Е.Н. Влияние представлений чувственно-ориентированных образов на параметры вертикальной позы и биоэлектрической активности головного мозга у актеров в процессе перевоплощения (пилотное исследование). Национальный психологический журнал. 2020; 2(38): 148–157. <https://doi.org/10.11621/npj.2020.0211> [Nizhelskoy V.A., Kovaleva A.V., Panova E.N. Impact of perceiving sense-oriented images on the parameters of the vertical posture and brain activity in actors during method acting (pilot study). *National Psychological Journal.* 2020; 2(38), 148–157. <https://doi.org/10.11621/npj.2020.0211> (In Russ.).]
33. Джабраилов А.Н., Горгошидзе Л.З. Биологическая обратная связь как метод оптимизации функционального состояния при психоэмоциональном стрессе. Вестник Дагестанского государственного университета. Гуманитарные науки. 2016; 31(1): 108–116. [Dzhabrailov A.N., Gorgoshidze L.Z. Biofeedback as a method of optimizing the functional state in psychoemotional stress. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta. Gumanitarnye nauki.* 2016; 31(1): 108–116. (In Russ.).]
34. Гребнева О.Л., Даниленко Е.Н., Джафарова О.А., Лазарева О.Ю. Игровое биоуправление — помощь в адаптации к школьному стрессу. Школьные технологии. 2011; 1: 108–112. [Grebneva O.L., Danilenko E.N., Dzhabarova O.A., Lazareva O.Yu. Game bio-management is an aid in adapting to school stress. *Shkol'nye tekhnologii.* 2011; 1: 108–112 (In Russ.).]

35. Рыбалко С.Ю., Бобрик Ю.В., Ребик А.А. и др. Перспективы использования комбинации дыхательных упражнений с психофизиологическим тренингом с биологической обратной связью при реабилитации пациентов с патологией кардиореспираторной системы. Вестник физиотерапии и курортологии. 2021; 1: 78. [Rybalko S.Yu., Bobrik Yu.V., Rebig A.A., et al. The prospects of using a combination of breathing exercises with psychophysiological training with biofeedback in the rehabilitation of patients with pathology of the cardiorespiratory system. Vestnik fizioterapii i kurortologii. 2021; 1: 78 (In Russ..)]
36. Квитчастый А.В., Ковалева А.В. Применение краткосрочного дыхательного БОС-тренинга для развития навыков саморегуляции у спортсменов-единоборцев. Наука и спорт: современные тенденции. 2023; 1: 25–32. <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2023-11-1-24-31> [Kvitichasty A.V., Kovaleva A.V. The use of short-term breathing biofeedback training for the development of self-regulation skills in combat athletes. Science and sport: current trends. 2023; 1: 25–32. <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2023-11-1-24-31> (In Russ..)]
37. Зарченко П.Ю., Варич Л.А., Казин Э.М. Влияние индивидуального вегетативного статуса на адаптацию студентов к учебному процессу и результативность ДАС-БОС-тренинга. Science for Education Today. 2021; 11(5): 107–127. <https://dx.doi.org/10.15293/2658-6762.2105.06> [Zarchenko P.Yu., Varich L.A., Kazin E.M. The impact of students' individual vegetative status on their psychophysiological adaptation to the learning environment: the effectiveness of RSA-BFB therapy. Science for Education Today. 2021; 11(5): 107–127. <https://dx.doi.org/10.15293/2658-6762.2105.06> (In Russ..)]
38. Лунина Н.В., Корягина Ю.В. Воздействие БОС-тренинга на когнитивные функции спортсменов. Современные вопросы биомедицины. 2022; 6(4). https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_04_30 [Lunina N.V., Koryagina Yu.V. Impact of biofeedback training on cognitive functions of athletes. Sovremennye voprosy biomeditsiny. 2022; 6(4). https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_04_30 (In Russ..)]
39. Тарасова И.В., Трубникова О.А., Кухарева И.Н. и др. Эффекты когнитивной реабилитации с применением двойной задачи у пациентов в раннем послеоперационном периоде прямой реваскуляризации миокарда. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2021; 10(3): 15–25. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2021-10-3-15-25> [Tarasova I.V., Trubnikova O.A., Kuhareva I.N., et al. Effects of dual-task rehabilitative training in the early postoperative period after direct myocardial revascularization. Complex Issues of Cardiovascular Diseases. 2021; 10(3): 15–25. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2021-10-3-15-25> (In Russ..)]
40. Джос Ю.С., Меньшикова И.А. Изменение полной мощности бета- и тета-диапазонов при использовании ЭЭГ-биоуправления у младших школьников с трудностями произвольной регуляции. Журнал медико-биологических исследований. 2020; 8(4): 331–340. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z025> [Dzhos Yu.S., Men'shikova I.A. Changes in the total power of beta and theta bands when using eeg biofeedback in primary school-age children having difficulties with voluntary regulation. Journal of Medical and Biological Research. 2020; 8(4): 331–340. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z025> (in Russ..)]
41. Дворянчиков В.В., Голованов А.Е., Сыроежкин Ф.А. Влияние ненагруженных вестибулярных тренировок на изменение чувствительности отдельных участков периферического отдела вестибулярного анализатора у лиц, склонных к укачиванию. Российская оториноларингология. 2022; 21(2): 24–28. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-2-24-28> [Dvoryanchikov V.V., Golovanov A.E., Syroezhkin F.A. Effect of nonexercise vestibular training on changes in sensitivity of certain areas of peripheral part of vestibular analyzer of persons prone to motion sickness. Rossijskaya otorinolaringologiya. 2022; 21(2): 24–28. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-2-24-28> (In Russ..)]
42. Kotozaki Y., Takeuchi H., Sekiguchi A., et al. Biofeedback-based training for stress management in daily hassles: an intervention study. Brain Behav. 2014; 4(4): 566–579. <https://doi.org/10.1002/brb3.241>
43. Moravec C.S., McKee M.G. Biofeedback in the treatment of heart disease. Cleve Clin J Med. 2011; 78(Suppl 1): S20-S23. <https://doi.org/10.3949/ccjm.78.s1.03>
44. Tamantini C., Cordella F., Lauretti C., et al. Tailoring Upper-Limb Robot-Aided Orthopedic Rehabilitation on Patients' Psychophysiological State. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2023; 31: 3297–3306. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2023.3298381>
45. Nestoriuc Y., Martin A. Efficacy of biofeedback for migraine: a meta-analysis. Pain. 2007; 128(1–2): 111–127. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2006.09.007>
46. Nestoriuc Y., Martin A., Rief W., Andrasik F. Biofeedback treatment for headache disorders: a comprehensive efficacy review. Appl Psychophysiol Biofeedback. 2008; 33(3): 125–140. <https://doi.org/10.1007/s10484-008-9060-3>
47. Silberstein S.D. Practice parameter: evidence-based guidelines for migraine headache (an evidence-based review): report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology. Neurology. 2000; 55(6): 754–762. <https://doi.org/10.1212/wnl.55.6.754>
48. Захарьева Н.Н., Сергеева Е.Г. Методики с использованием биологической обратной связи в спортивной практике: учебно-методическое пособие. М.: ОнтоПринт, 2021. 62 с. [Zakhar'eva N.N., Sergeeva E.G. Methods using biofeedback in sports practice: an educational and methodological guide. M.: OntoPrint, 2021. 62 p. (In Russ..)]
49. Omejc N., Rojc B., Battaglini P.P., Marusic U. Review of the therapeutic neurofeedback method using electroencephalography: EEG Neurofeedback. Bosn J Basic Med Sci. 2019; 19(3): 213–220. <https://doi.org/10.17305/bjbm.2018.3785>
50. Немчанинов А.В., Шеренков М.А., Алексеев Е.Д., Решетников А.Г. Разработка когнитивного нейроинтерфейса для управления роботизированной рукой-протезом. Системный анализ в науке и образовании. 2016; 4: 46–56. [Nemchaninov A.V., SHerenkov M.A., Alekseev E.D., Reshetnikov A.G. Development of a cognitive neurointerface for controlling a robotic prosthetic arm. Sistemnyj analiz v nauke i obrazovanii. 2016; 4: 46–56 (In Russ..)]
51. Лунев Д.В., Полетыкин С.К., Кудрявцев Д.О. Нейроинтерфейсы: обзор технологий и современные решения. Современные инновации, системы и технологии. 2022; 2(3): 0117–0126. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-3-0117-0126> [Lunev D.V., Poletykin S.K., Kudryavtsev D.O. Neurointerfaces: a review of technologies and modern solutions. Modern innovations, systems and technologies. 2022; 2(3): 0117–0126. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-3-0117-0126> (In Russ..)]
52. Novak D., Zihel J., Olensek A., et al. Psychophysiological responses to robotic rehabilitation tasks in stroke. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2010; 18(4): 351–361. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2010.2047656>
53. Laver K.E., Lange B., George S., et al. Virtual reality for stroke rehabilitation. Cochrane Database Syst Rev. 2017; 11(11): CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
54. Sweta V.R., Abhinav R.P., Ramesh A. Role of Virtual Reality in Pain Perception of Patients Following the Administration of Local Anesthesia. Ann Maxillofac Surg. 2019; 9(1): 110–113. https://doi.org/10.4103/ams.ams_263_18
55. Устинова К.И., Черникова Л.А. Виртуальная реальность в нейрореабилитации. Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2008; 2(4): 34–39. <https://doi.org/10.17816/psaic388> [Ustinova K.I., Chernikova L.A. Virtual reality in neurorehabilitation. Annals of Clinical and Experimental Neurology. 2008; 2(4): 34–39. <https://doi.org/10.17816/psaic388> (in Russ..)]
56. Некрасова Ю.Ю., Воронцова В.С., Канарский М.М. и др. Аппаратно-программный комплекс для восстановления моторных функций конечностей на основе технологии виртуальной реальности и нейрокомпьютерного интерфейса. Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2021; 3(2): 231–242. <https://doi.org/10.36425/rehab65949> [Nekrasova I.Y., Vorontsova V.S., Kanarskii M.M., et al. Hardware and Software Complex for Restoring Motor Functions Based on Virtual Reality and Brain-Computer Interface. Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation. 2021; 3(2): 231–242. <https://doi.org/10.36425/rehab65949> (In Russ..)]

57. Дунаев А.А. Программное обеспечение (по) для поддержки исследований в области физиологии и биоуправления. Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2007; 2: 27–34. [Dunaev A.A. Software to support research in the field of physiology and bio-management. Vestnik NGU. Seriya: Informacionnye tekhnologii. 2007; 2: 27–34 (In Russ.).]
58. Fernández-Alvarez J., Grassi M., Colombo D., et al. Efficacy of bio- and neurofeedback for depression: a meta-analysis. *Psychol Med.* 2022; 52(2): 201–216. <https://doi.org/10.1017/S0033291721004396>
59. Грибов С.А., Бородулина Е.В., Пан И.Р., Удут В.В. Бослаб-мониторинг эффективности комплексной терапии в клинике внутренних болезней. Сибирский научный медицинский журнал. 2004; 3: 14–17. [Gribov S.A., Borodulina E.V., Pan I.R., Udut V.V. Boslab-monitoring the effectiveness of complex therapy in the clinic of internal diseases. Siberian Scientific Medical Journal. 2004; 3: 14–17 (In Russ.).]
60. Кантина Т.Э., Буртова Е.Ю., Литвинчук Е.А. Опыт применения немедикаментозных методов коррекции в комплексном лечении головной боли напряжения. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020; 120(4): 41–45. <https://doi.org/10.17116/jnevro202012004141> [Kantina T.E., Burtovaya E.Yu., Litvinchuk E.A. Experience of the usage of non-pharmacological methods in a multimodality treatment of tension headache. S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2020; 120(4): 41–45. <https://doi.org/10.17116/jnevro202012004141> (In Russ.).]
61. Lee H.J., Lee J.H., Cho E.Y., et al. Efficacy of psychological treatment for headache disorder: a systematic review and meta-analysis. *J Headache Pain.* 2019; 20(1): 17. <https://doi.org/10.1186/s10194-019-0965-4>
62. Legarda S.B., Michas-Martin P.A., McDermott D. Remediating Intractable Headache: An Effective Nonpharmacological Approach Employing Infralow Frequency Neuromodulation. *Front Hum Neurosci.* 2022; 16: 894856. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.894856>
63. Риштаков С.Ф., Антонов А.В., Вербенко В.А. и др. Аналитический обзор научных статей по вопросам применения биологической обратной связи в психиатрии и эпилептологии. Таврический журнал психиатрии. 2018; 4(83): 5–13. [Rishtakov S.F., Antonov A.V., Verbenko V.A., et al. An analytical review of scientific articles on the use of biofeedback in psychiatry and epileptology. Tauride Journal of Psychiatry. 2018; 4(83): 5–13 (In Russ.).]
64. Сидякина И.В., Иванов В.В., Шаповаленко Т.В. Возможности использования миографического БОС-тренинга в реабилитации пациентов с патологией нервной системы (обзор литературы и собственные наблюдения). Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2011; 1: 24–29. [Sidyakina I.V., Ivanov V.V., SHapovalenko T.V. The possibilities of using myographic BOS training in the rehabilitation of patients with pathology of the nervous system (literature review and own observations). Annals of clinical and experimental neurology. 2011; 1: 24–29 (In Russ.).]
65. Бодрова Р.А., Закамырдина А.Д. Применение биологической обратной связи в реабилитации лиц с травматической болезнью спинного мозга. Доктор.Ру. 2019; 6(161): 31–35. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2019-161-6-31-35> [Bodrova R.A., Zakamyrdina A.D. Biofeedback in Rehabilitation for People with Traumatic Spinal Cord Injury. Doctor.Ru. 2019; 6(161): 31–35. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2019-161-6-31-35> (In Russ.).]
66. Кунельская Н.Л., Резакова Н.В., Гудкова А.А., Гехт А.Б. Метод биологической обратной связи в клинической практике. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2014; 114(8): 46–50. [Kunel'skaya N.L., Rezakova N.V., Gudkova A.A., Guekht A.B. A feedback method in clinical practice. Zhurnal Nevrologii i Psikhiatrii imeni S.S. Korsakova. 2014; 114(8): 46–50 (In Russ.).]
67. Vaughan A., Gardner D., Miles A., et al. A Systematic Review of Physical Rehabilitation of Facial Palsy. *Front Neurol.* 2020; 11: 222. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00222>
68. Le Franc S., Herrera Altamira G., Guillen M. Toward an Adapted Neurofeedback for Post-stroke Motor Rehabilitation: State of the Art and Perspectives. *Front Hum Neurosci.* 2022; 16: 917909. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.917909>
69. Mihara M., Fujimoto H., Hattori N. Effect of Neurofeedback Facilitation on Poststroke Gait and Balance Recovery: A Randomized Controlled Trial. *Neurology.* 2021; 96(21): e2587–e2598. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000011989>
70. Shah-Basak P., Boukrina O., Li X.R., et al. Targeted neurorehabilitation strategies in post-stroke aphasia. *Restor Neurol Neurosci.* 2023; 41(3–4): 129–191. <https://doi.org/10.3233/RNN-231344>
71. Friesen C.L., Bardouille T., Neyedli H.F., Boe S.G. Combined Action Observation and Motor Imagery Neurofeedback for Modulation of Brain Activity. *Front Hum Neurosci.* 2017; 10: 692. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00692>
72. Котов С.В., Исакова Е.В., Шерегешев В.И. Возможность коррекции эмоциональных и поведенческих нарушений у пациентов с инсультом в процессе реабилитационного лечения. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2019; 119(4): 26–31. <https://doi.org/10.17116/jnevro201911904126> [Kotov S.V., Isakova E.V., Sheregeshev V.I. Possibility of treatment of emotional and behavioral disorders in patients with stroke during rehabilitation. S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2019; 119(4): 26–31. <https://doi.org/10.17116/jnevro201911904126> (In Russ.).]

Юбилей Майи Алексеевны Хан

ЮБИЛЕЙ МАЙИ АЛЕКСЕЕВНЫ ХАН

5 мая 2024 г. отметила свой юбилей известный ученый в области детской физиотерапии, курортологии и реабилитации профессор Майя Алексеевна Хан.

После окончания педиатрического факультета 2-го Московского медицинского института им. Н.И. Пирогова с отличием в 1967 г. Майя Алексеевна начала свою трудовую деятельность с работы врачом-педиатром в детской клинической больнице № 9. В 1969 г. поступила на работу в Государственный НИИ курортологии и физиотерапии Министерства здравоохранения СССР на должность младшего научного сотрудника под руководством профессора Татьяны Васильевны Карачевцевой, организовавшей в институте детское отделение, которое с 1989 г. возглавила Майя Алексеевна.

Будучи последователем профессора А.Н. Обросова и ученицей Т.В. Карачевцевой, Майя Алексеевна переняла лучшие традиции российской и мировой физиотерапии и обогатила ее новым содержанием. Майя Алексеевна активно разрабатывала вопросы механизма лечебного действия физических факторов при заболеваниях детского возраста. В 1975 г. М.А. Хан защитила кандидатскую, а в 1990 г. — докторскую диссертацию на тему «Физические факторы в лечении хронических бронхолегочных заболеваний у детей». Под руководством Майи Алексеевны детское отделение превратилось в отдел заболеваний детей и подростков направления медицинской реабилитации и физиотерапии. Клинической и научной базой отдела долгие годы, до 2001 г., являлись клиники института педиатрии АМН СССР. В сотрудничестве с учеными и специалистами профильных клиник НИИ педиатрии М.А. Хан было создано новое направление по разработке и научному обоснованию применения физических факторов при болезнях детского возраста, в том числе с целью снижения лекарственной нагрузки на ребенка, предупреждения осложнений заболевания и уменьшения сроков госпитализации.

По инициативе и под руководством М.А. Хан была впервые организована детская физиотерапевтическая служба в г. Москве. Более 26 лет Майя Алексеевна являлась Главным детским специалистом Департамента здравоохранения г. Москвы по физиотерапии, восстановительной медицине и курортологии.

М.А. Хан внесла большой вклад в организацию санаторно-курортной помощи детям в Российской Федерации. Под ее руководством и при ее участии подготовлены нормативно-правовые документы по санаторно-курортному лечению детей, показания и противопоказания.

М.А. Хан является автором более 600 научных публикаций, 34 патентов на изобретение, 55 методических рекомендаций, 31 пособия для врачей, 8 учебных пособий для системы последипломного профессионального образования, соавтор 24 монографий. Под ее руководством защищены более 30 диссертаций, в том числе докторские.

Майя Алексеевна является членом редколлегий 10 ведущих специализированных журналов, в том числе и журнала «Вестник восстановительной медицины».

Многие годы М.А. Хан щедро делится своим опытом и ведет большую педагогическую работу по повышению квалификации врачей. Является профессором кафедр: физической и реабилитационной медицины с курсом клинической психологии и педагогики ФГБУ ДПО «Цен-



тральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации; медицинской реабилитации и физиотерапии ФУВ ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского.

За профессионализм и подвижнический труд Майя Алексеевна снискала широкое признание и глубокое уважение работников медицинской науки и практического здравоохранения, а также награждена знаками отличия, в том числе: нагрудным значком «Отличнику здравоохранения», медалью Министерства Российской Федерации по физической культуре, спорту и туризму «Отличник курортной отрасли», почетной грамотой Минздравсоцразвития России, орденом М.В. Ломоносова за заслуги и большой личный вклад в развитие науки и образования, Дипломом лауреата РНИМУ им. Н.И. Пирогова за лучшие показатели в учебно-методической работе в области клинических дисциплин, знаком «Заслуженный врач города Москвы», грамотой Лауреата Премии города Москвы 2019 г. в области медицины, грамотой за I место во Всероссийском конкурсе в номинации «Лучший врач по медицинской реабилитации России 2021 г.» и др.

В настоящее время Майя Алексеевна активно трудится на поприще российской науки и практики в области физиотерапии, курортологии, медицинской реабилитации: заведует Центром медицинской реабилитации ДГКБ им. Н.Ф. Филатова ДЗМ, а также отделом медицинской реабилитации детей и подростков ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы».

М.А. Хан — Главный внештатный специалист по медицинской реабилитации детей и консультант по детской курортологии Главного медицинского управления Управления делами Президента Российской Федерации.

Главный редактор А.Д. Фесюн, редколлегия и редакция журнала «Вестник восстановительной медицины» желают уважаемой Майе Алексеевне доброго здоровья, дальнейших творческих успехов, новых достижений на благородном пути сохранения и укрепления здоровья детей!