



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

Том 6, № 2
ИЮНЬ 2024

ФИЗИЧЕСКАЯ И РЕАБИЛИТАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА, МЕДИЦИНСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ

PHYSICAL AND REHABILITATION
MEDICINE, MEDICAL REHABILITATION

Официальное научное издание
специализированной медицинской прессы для врачей

Подписной индекс 71395

УЧРЕДИТЕЛИ

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

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Эко-Вектор»

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

E-mail: info@eco-vector.com

WEB: <https://eco-vector.com>

РЕКЛАМА

Отдел рекламы

Тел.: +7 (968) 545 78 20

E-mail: adv2@eco-vector.com

РЕДАКЦИЯ

Зав. редакцией

Ульяна Григорьевна Пугачёва

E-mail: prgm-journal@fnkcr.ru

Адрес: 107031, Москва,

ул. Петровка, д. 25, стр. 2

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

ПОДПИСКА

Подписка на печатную версию
через интернет:

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

ОТКРЫТЫЙ ДОСТУП

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

ИНДЕКСАЦИЯ

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

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

ОРИГИНАЛ-МАКЕТ

подготовлен в издательстве «Эко-Вектор».

Литературный редактор: *М.Н. Шошина*

Корректор: *М.Н. Шошина*

Вёрстка: *Е.А. Трухтанова*

Сдано в набор 03.06.2024.

Подписано в печать 14.06.2024.

Выход в свет 25.06.2024.

Формат 60 × 88%. Печать офсетная.

Печ. л. 15,5. Усл. печ. л. 14,4. Уч.-изд. л. 8,5.

Цена свободная.

Тираж 500 экз. Заказ № 4-5066-iv.

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

16+

© ООО «Эко-Вектор», 2024

ISSN 2658-6843 (Print)

ISSN 2949-1436 (Online)

Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация

Том 6 | Выпуск 2 | 2024

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор

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

ORCID: 0000-0003-3180-5525

Первый заместитель главного редактора

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

ORCID: 0000-0003-1811-6936

Заместители главного редактора по направлениям

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

ORCID: 0000-0002-0544-1492

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

ORCID: 0000-0002-4778-2586

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

ORCID: 0000-0002-0994-8602

Мишина И.Е., д.м.н., проф. (Иваново, Россия)

ORCID: 0000-0002-7659-8008

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

ORCID: 0000-0002-4305-6691

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

ORCID: 0000-0002-1622-0169

Редакционная коллегия

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

ORCID: 0000-0003-0484-9805

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

ORCID: 0000-0003-0928-2131

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

ORCID: 0000-0002-7608-2255

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

ORCID: 0000-0001-6998-8406

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

ORCID: 0000-0003-2250-5942

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

ORCID: 0000-0003-0282-7207

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

ORCID: 0000-0002-1741-7246

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

ORCID: 0000-0003-3318-796X

Даминов В.Д., д.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-7141-6052

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

ORCID: 0000-0003-2958-4479

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

ORCID: 0000-0002-0617-5093

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

ORCID: 0000-0001-8089-8583

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

ORCID: 0000-0003-3908-6801

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

ORCID: 0000-0001-7491-7215

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

ORCID: 0000-0003-1142-9796

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

ORCID: 0000-0001-6913-8778

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

ORCID: 0000-0002-5930-0118

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

ORCID: 0000-0002-5752-4812

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

ORCID: 0000-0003-3872-5923

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

ORCID: 0000-0002-8084-1277

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

ORCID: 0000-0002-2076-4062

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

ORCID: 0000-0001-8520-9468

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

ORCID: 0000-0003-1699-0881

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

ORCID: 0000-0002-1560-470X

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

ORCID: 0000-0002-6816-1615

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

ORCID: 0000-0002-4535-9805

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

ORCID: 0000-0003-3292-8789

Петрова М.В., д.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-4272-0957

Пирадов М.А., д.м.н., проф.,

академик РАН (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-6338-0392

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

ORCID: 0000-0002-9648-2336

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

ORCID: 0000-0002-1643-5960

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

ORCID: 0000-0003-3198-8990

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

ORCID: 0000-0001-0372-5790

Суворов А.Ю., к.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-4901-2208

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

ORCID: 0000-0003-3956-6362

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

ORCID: 0000-0001-8904-5333

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

ORCID: 0000-0002-8825-2346

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

ORCID: 0000-0002-3071-4712

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

ORCID: 0000-0001-5956-2306

Шамалов Н.А., д.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-6250-0762

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

ORCID: 0000-0001-9952-9630

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

ORCID: 0000-0002-5278-7058

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



FOUNDERS

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

PUBLISHER

Eco-Vector

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

ADVERTISE

Adv. department

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

EDITORIAL OFFICE

Executive editor

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

SUBSCRIPTION

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

PUBLICATION ETHICS

Journal's ethic policies are based on:

- ICMJE
- COPE
- ORE
- CSE
- EASE

OPEN ACCESS

Immediate Open Access is mandatory
for all published articles

INDEXATION

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

TYPESET

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

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

Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation

Volume 6 | Issue 2 | 2024

QUARTERLY PEER-REVIEW MEDICAL JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

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

VICE EDITORS-IN-CHIEF

A.A. Belkin, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Ekaterinburg, Russia)
ORCID: 0000-0002-0544-1492
S.V. Prokopenko, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Krasnoyarsk, Russia)
ORCID: 0000-0002-4778-2586
M.B. Tsykunov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-0994-8602

I.E. Mishina, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Ivanovo, Russia)
ORCID: 0000-0002-7659-8008
T.Y. Semiglazova, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.)
ORCID: 0000-0002-4305-6691
S.A. Valiullina, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.)
ORCID: 0000-0002-1622-0169

EDITORIAL COUNCIL

D.M. Aronov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-0484-9805
T.T. Batysheva, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-0928-2131
E.S. Berdnikovich, Cand. Sci. (Psychol), Assistant Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-7608-2255
S.A. Boytsov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of the RAS (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-6998-8406
M.G. Bubnova, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-2250-5942
T.V. Buylova, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Nizhni Novgorod, Russia)
ORCID: 0000-0003-0282-7207
M.Y. Gerasimenko, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-1741-7246
A.V. Grechko, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of the RAS (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-3318-796X
V.D. Daminov, MD, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-7141-6052
A.B. Danilov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-2958-4479
M.A. Dymochka, MD, Assistant professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-0617-5093
Zampolini Mauro, MD, Professor (Foligno, Perugia, Italy)
ORCID: 0000-0001-8089-8583
V.G. Zilov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Academition of RAS (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-3908-6801
A.S. Kadykov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-7491-7215
V.N. Kasatkin, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-1142-9796
N.B. Korchazhkina, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-6913-8778
A.N. Kuzovlev, MD, Assistant professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-5930-0118
K.M. Lebedinskiy, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Saint-Petersburg, Russia)
ORCID: 0000-0002-5752-4812
O.S. Levin, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-3872-5923
O.A. Laysheva, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-8084-1277
E.I. Melnikova, MD, Assistant professor, Dr. Sci. (Med.) (Saint-Petersburg, Russia)
ORCID: 0000-0002-2076-4062
I.V. Molchanov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-8520-9468

I.G. Nikitin, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-1699-0881
N.S. Nikolae, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Cheboksary, Russia)
ORCID: 0000-0002-1560-470X
A.V. Oleskin, Professor, Dr. Sci. (Biol.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-6816-1615
S.A. Perepelitsa, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Kalinigrad, Russia)
ORCID: 0000-0002-4535-9805
S.S. Petrikov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of the RAS (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-3292-8789
M.V. Petrova, MD, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-4272-0957
M.A. Piradov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Academition of RAS (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-6338-0392
B.A. Polyayev, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-9648-2336
A.G. Rumyantsev, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Academition of RAS (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-1643-5960
A.M. Sarana, MD, Cand. Sci. (Med.) (Saint-Petersburg, Russia)
ORCID: 0000-0003-3198-8990
Sobotka Lubos, Professor, MD, PhD (Hradec Kralove, Czech Republic)
ORCID: 0000-0002-0372-5790
A.Y. Suvorov, MD, Cand. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-4901-2208
N.A. Suponeva, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of the RAS (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-3956-6362
Weerkamp-Bartholomeus Paula, Professor, MD (Voerendaal, Netherlands)
ORCID: 0000-0001-8904-5333
D.R. Khasanova, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Kazan, Russia)
ORCID: 0000-0002-8825-2346
S.E. Khat'kova, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-3071-4712
L.V. Chichanovskaya, MD, Assistant professor, Dr. Sci. (Med.) (Tver, Russia)
ORCID: 0000-0001-5956-2306
N.A. Shamalov, MD, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-6250-0762
A.V. Shakula, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-9952-9630
A.E. Shestopalov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-5278-7058

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Я.Ю. Захаров, А.А. Белкин, В.А. Широков, Д.Г. Поздняков

Поиск подходов к стратегии транскраниальной нейромодуляции у пациентов с постинсультным гемипарезом в реальной клинической практике 88

Е.В. Орлова, Н.П. Лямина, Н.В. Скоробогатых, И.В. Ксенофонтова

Эффективность интервальной гипоксии-гиперокситерапии в реабилитации пациентов со скелетно-мышечной неспецифической болью в нижней части спины: результаты рандомизированного плацебоконтролируемого исследования 98

А.М. Тынтерова

Применение технологий виртуальной реальности в реабилитации пациентов с поражением правого и левого полушария в остром периоде ишемического инсульта 109

Е.А. Мельникова, Г.А. Ткаченко, Е.М. Цветкова, Е.Ю. Старкова, Н.Н. Владимирова, В.Ю. Литая

Влияние мотивации пациентов на восстановление двигательной функции в восстановительном периоде инсульта. Предварительные результаты клинического исследования 122

Е.М. Черных, Н.М. Хасанова, А.А. Карякин, О.Е. Карякина

Связь между половозрастными характеристиками, коморбидным статусом и динамикой восстановления в остром периоде инсульта у пациентов, проживающих в Архангельской области 131

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

Ю.П. Зверев, Т.В. Буйлова, А.А. Туличев

Постуральный баланс и когнитивные функции: взаимодействие и значение для реабилитации (научный обзор) 143

Л.И. Седова, Е.В. Ерохина, Е.А. Баранова, В.М. Ериков, А.А. Никулин, Г.Е. Иванова, Ю.В. Микадзе

Нейропсихологическая интерпретация нарушений сознания с привлечением данных инструментальных методов диагностики мозговой активности. 157

А.Н. Белова, Г.Е. Шейко, Е.М. Рахманова, Ю.А. Израелян, Р.Д. Ананьев

Оценка использования функции рук: тесты для взрослых пациентов с патологией центральной нервной системы 172

Д.Б. Нурпеисов, С.С. Эм, Н.В. Куриленко

Эффективность экстракорпоральной ударно-волновой терапии в лечении гонартроза I–II степени: научный обзор 188

CONTENTS

ORIGINAL STUDY ARTICLES

Yakov Yu. Zakharov, Andrey A. Belkin, Vasily A. Shirokov, Dmitry G. Pozdnyakov

Search for approaches to transcranial neuromodulation in patients with post-stroke hemiparesis in real clinical practice 88

Evgeniya V. Orlova, Nadezhda P. Lyamina, Natalya V. Skorobogatykh, Irina V. Ksenofontova

Efficiency of interval hypoxia-hyperoxytherapy in the rehabilitation of patients with nonspecific musculoskeletal low back pain: results of a randomized placebo-controlled study 98

Anastasiya M. Tynterova

Application of virtual reality technologies in the rehabilitation of patients with left and right hemisphere lesions in the acute period of ischemic stroke 109

Ekaterina A. Melnikova, Galina A. Tkachenko, Evgenia M. Tsvetkova, Elena Yu. Starkova, Nadezhda N. Vladimirova, Vladislav Yu. Litau

The influence of patient motivation on the motor function restoration during stroke recovery. Preliminary results of a clinical study. 122

Ekaterina M. Chernykh, Nina M. Khasanova, Aleksey A. Karyakin, Olga E. Karyakina

Relationship between sex and age characteristics, comorbid status, and dynamics of recovery in the acute period of stroke in patients living in the Arkhangelsk region 131

REVIEWS

Yury P. Zverev, Tatyana V. Builova, Alexander A. Tulichev

Postural balance and cognitive functions: interaction and significance for rehabilitation (scientific review). 143

Lubov I. Sedova, Ekaterina V. Erokhina, Elena A. Baranova, Vladimir M. Erikov, Alexey A. Nikulin, Galina E. Ivanova, Yury V. Mikadze

Neuropsychological interpretation of disorders of consciousness using data from instrumental (neurophysiological) methods for diagnosing brain activity. 157

Anna N. Belova, Gennadii E. Sheiko, Evgeniya M. Rakhmanova, Yuliya A. Israelyan, Roman D. Ananyev

Hand function assessment: tests for adult patients with central nervous system disorders 172

Daniyar B. Nurpeisov, Sabina S. Em, Natalya V. Kurilenko

Effectiveness of extracorporeal shock wave therapy in treating grade I–II gonarthrosis: a scientific review. 188

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab627445>

Поиск подходов к стратегии транскраниальной нейромодуляции у пациентов с постинсультным гемипарезом в реальной клинической практике

Я.Ю. Захаров^{1, 2}, А.А. Белкин^{1, 2}, В.А. Широков², Д.Г. Поздняков¹¹ Клинический институт мозга, Березовский, Свердловская область, Россия;² Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Для повышения эффективности двигательного восстановления после инсульта в рутинной клинической практике остаётся актуальным поиск селективных биомаркеров, определяющих выбор оптимальной стратегии неинвазивной нейромодуляции головного мозга. Изучение паттернов межполушарного взаимодействия гипотетически может помочь в определении правильной концептуальной модели нейромодуляции.

Цель исследования — определить варианты межполушарного взаимодействия на основании корреляционного анализа кортикальной моторной возбудимости в стратифицированных по степени двигательного дефицита подгруппах пациентов с постинсультным гемипарезом.

Материалы и методы. В ретроспективном обсервационном исследовании принимали участие 185 человек в возрасте от 19 до 88 лет с верифицированным постинсультным гемипарезом (мужчин 56,2%, женщин 43,8%) и 40 здоровых волонтеров в возрасте от 20 до 85 лет (мужчин 55,0%, женщин 45,0%). Пациентам проводилась диагностическая транскраниальная магнитная стимуляция в проекции кортикального представительства *m. abductor pollicis brevis* и *m. tibialis anterior* обоих полушарий. Регистрировали уровень порога моторного ответа покоя и его межполушарную асимметрию с последующим корреляционным анализом в стратифицированных по степени пареза подгруппах.

Результаты. Выявлено отсутствие межполушарной корреляции порога моторного ответа покоя у пациентов с уровнем мышечной силы для сегмента «кисть» — 0–2 балла ($p > 0,05$). В остальных сравниваемых подгруппах отмечалась положительная межполушарная корреляция порога моторного ответа покоя ($p < 0,02$). Положительная корреляция показателей порога моторного ответа покоя поражённой гемисферы и межполушарной асимметрии для всех степеней пареза наблюдалась при исследовании кортикального представительства мышц верхних конечностей. Отрицательная корреляционная зависимость порога моторного ответа покоя непоражённой гемисферы и межполушарной асимметрии выявлялась для всех степеней двигательного дефицита сегмента «стопа» ($p < 0,02$).

Заключение. Исследованием не подтверждена концепция межполушарной конкуренции для изучаемой функциональной активности головного мозга. Определено три аутентичных варианта межполушарного взаимодействия: однонаправленное полушарное взаимовлияние с преобладающей реактивностью поражённого полушария; однонаправленное полушарное взаимовлияние с преобладающей реактивностью непоражённого полушария; функциональное межполушарное разобщение. Полученные результаты указывают на необходимость переосмысления некоторых подходов к стратегиям транскраниальной нейромодуляции у исследуемой когорты пациентов.

Ключевые слова: реабилитация после инсульта; кортикальная возбудимость; биомаркеры; транскраниальная магнитная стимуляция.

Как цитировать:

Захаров Я.Ю., Белкин А.А., Широков В.А., Поздняков Д.Г. Поиск подходов к стратегии транскраниальной нейромодуляции у пациентов с постинсультным гемипарезом в реальной клинической практике // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 2. С. 88–97.
DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab627445>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab627445>

Search for approaches to transcranial neuromodulation in patients with post-stroke hemiparesis in real clinical practice

Yakov Yu. Zakharov^{1, 2}, Andrey A. Belkin^{1, 2}, Vasily A. Shirokov², Dmitry G. Pozdnyakov¹¹ Clinical Institute of Brain, Berezovsky, Sverdlovsk Region, Russia;² Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: To increase the efficiency of motor recovery after a stroke in routine clinical practice, the search for selective biomarkers that determine the choice of the optimal strategy for noninvasive neuromodulation of the brain remains relevant. The study of interhemispheric interaction patterns can hypothetically help in determining the correct conceptual model of neuromodulation.

AIM: To determine variants of interhemispheric interaction based on a correlation analysis of motor cortex excitability in patients with poststroke hemiparesis stratified by the degree of motor deficit.

MATERIALS AND METHODS: This retrospective observational study involved 185 people (men, 56.2%; women, 43.8%) aged 19–88 years with verified poststroke hemiparesis and 40 healthy volunteers (men, 55.0%; women, 45.0%) aged 20–85 years. The patients underwent diagnostic transcranial magnetic stimulation in the projection of the cortical representation of *m. abductor pollicis brevis* and *m. tibialis anterior* of both brain hemispheres. The excitability level of the motor cortex and its interhemispheric asymmetry were recorded, and correlation analysis in subgroups stratified by the degree of paresis was performed.

RESULTS: No interhemispheric correlation of resting motor thresholds (rMT) was found in patients with a level of muscle strength for the “hand” segment of 0–2 points ($p > 0.05$). In the remaining subgroups, positive interhemispheric correlations of the rMT were noted ($p < 0.02$). A positive correlation of the rMT of the damaged brain hemisphere and interhemispheric asymmetry of the motor cortex excitability for all degrees of paresis was observed when evaluating the cortical representation of the upper limb muscles. A negative correlation between the rMT of the unaffected brain hemisphere and interhemispheric asymmetry was detected for all degrees of motor deficit of the “foot” segment ($p < 0.02$).

CONCLUSION: The study did not confirm the concept of interhemispheric competition of the studied functional activity of the brain. Three authentic variants of interhemispheric interaction were identified: unidirectional hemispheric interaction with predominant reactivity of the affected hemisphere, unidirectional hemispheric interaction with predominant reactivity of the unaffected hemisphere, and functional interhemispheric dissociation. The results indicate the need to rethink some approaches to transcranial neuromodulation strategies in the analyzed cohort.

Keywords: stroke rehabilitation; cortical excitability; biomarkers; transcranial magnetic stimulation.

To cite this article:

Zakharov YaYu, Belkin AA, Shirokov VA, Pozdnyakov DG. Search for approaches to transcranial neuromodulation in patients with post-stroke hemiparesis in real clinical practice. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(2):88–97. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab627445>

Список сокращений

МВП — моторные вызванные потенциалы

МПА — межполушарная асимметрия

НГ — непоражённая гемисфера головного мозга

ПГ — поражённая гемисфера головного мозга

ПМО_{покоя} — порог моторного ответа покоя

ТМС — транскраниальная магнитная стимуляция

MRC (Medical Research Council scale) — шкала
Комитета медицинских исследований

ОБОСНОВАНИЕ

С целью содействия двигательному восстановлению после инсульта в реабилитационной практике активно применяются различные технологии неинвазивной нейромодуляции головного мозга [1, 2]. Увеличение возбудимости поражённой гемисферы головного мозга (ПГ) и способствующее этому (в рамках модели функционального резерва) снижение или повышение возбудимости непоражённой гемисферы (НГ) являются основными стратегиями транскраниальной нейромодуляции у данной категории пациентов [3–5]. Ингибирующая нейромодуляция НГ, базирующаяся на концепции межполушарной конкуренции (дезадаптивное трансколлазальное подавление ПГ со стороны расторможенного непоражённого полушария) [6–8], не показавшая достаточной клинической эффективности на популяционном уровне [9] и, предположительно, более эффективная в стратифицированной подгруппе с лёгким постинсультным двигательным дефицитом [4, 5, 10], противопоставляется активирующей нейромодуляции НГ, реализующей концепцию викариации (адаптивная поддержка или замещение подавленных или утраченных функций ПГ через активационную кортикальную реорганизацию, в том числе со стороны непоражённого полушария) и повышающей в пилотных исследованиях эффективность двигательного восстановления у пациентов с выраженными двигательными нарушениями [11–13]. Вышеописанная стратегическая дихотомия корригирующих вмешательств актуализирует поиск критериев выбора концептуальной модели нейромодуляции, определяющих, какая из них (межполушарной конкуренции или викариации) более полезна для прогнозирования благоприятного исхода восстановительного лечения у конкретного пациента.

Раскрытие вариаций корреляционного межполушарного взаимодействия на основе рутинно измеряемых нейрофизиологических биомаркеров (в частности, показателя кортикальной моторной возбудимости) в сцепке со стандартными клиническими биомаркерами (например, выраженность двигательного дефицита), по нашему мнению, поможет в оптимизации выбора стратегии транскраниальной нейромодуляции в условиях обычной клинической практики.

Цель исследования — определить варианты межполушарного взаимодействия на основании корреляционного анализа кортикальной моторной возбудимости в стратифицированных по степени двигательного дефицита подгруппах пациентов с постинсультным гемипарезом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

В ретроспективное обсервационное исследование по данным регистра лаборатории нейрофизиологии нейро-реабилитационного центра на основании 754 обработанных обезличенных информационных карт пациентов и здоровых добровольцев, проходивших исследование моторных вызванных потенциалов методом транскраниальной магнитной стимуляции, отобрано 185 человек в возрасте от 19 до 88 лет с верифицированным постинсультным гемипарезом (мужчин — 56,2%, женщин — 43,8%) и 40 здоровых волонтеров в возрасте от 20 до 85 лет (мужчин — 55,0%, женщин — 45,0%). Схема исследования представлена на рис. 1.

В репрезентативных подгруппах пациентов изучалась зависимость кортикальной моторной возбудимости от степени пареза в дистальных сегментах конечностей («кисть», «стопа»), соответствующих функциональной вовлечённости тестируемых мышц, а также её межполушарные корреляции с точки зрения функциональной коннективности.

Критерии соответствия

Критерии включения: наличие результатов тестирования методом транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) по определению уровней порога моторного ответа полушарий головного мозга, соответствующих кортикальным представлениям первичной моторной коры индикаторных мышц верхних (*m. abductor pollicis brevis*) и нижних (*m. tibialis anterior*) конечностей у пациентов с постинсультным гемипарезом, обусловленным нейровизуализационно (магнитно-резонансная томография, компьютерная томография) подтверждённым нарушением мозгового кровообращения по ишемическому типу сроком от 8 до 365 суток с локализацией очага в бассейнах внутренних сонных или среднемозговых артерий.

Критерии не включения: повторный инсульт; нарушение сознания; другие заболевания и травмы центральной и/или периферической нервной системы; нейрохирургическое вмешательство на головном мозге в анамнезе; острые инфекционные заболевания и лихорадка; тяжёлая соматическая патология; эпилепсия или эпилептические приступы в анамнезе, эпилептиформная активность, выявленная при проведении электроэнцефалографии; сопутствующее лечение препаратами, влияющими на возбудимость коры головного мозга (антидепрессанты, стимуляторы нервной системы и антипсихотические препараты); приём алкоголя и/или наркотических препаратов (или период их резкой отмены).

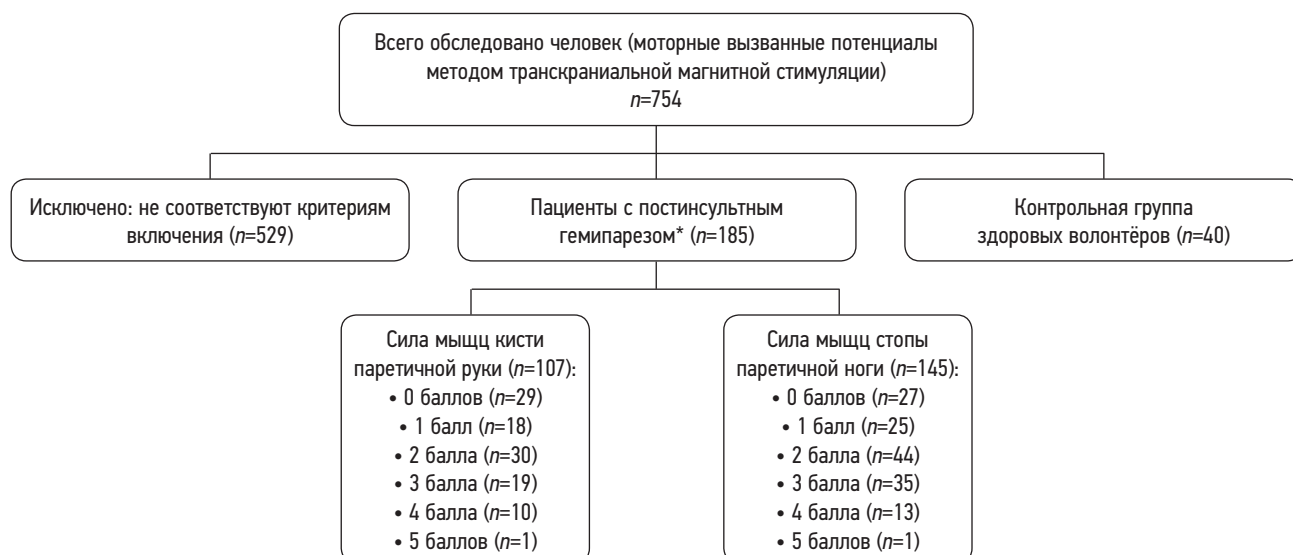


Рис. 1. Схема исследования.

Примечание. * Из исследования исключаются результаты определения порогов моторного ответа полушарий головного мозга, соответствующих кортикальным представлениям первичной моторной коры индикаторных мышц верхних (*m. abductor pollicis brevis*) и/или нижних (*m. tibialis anterior*) конечностей, при отсутствии регистрации вызванного моторного ответа на транскраниальную магнитную стимуляцию поражённой гемисферы.

Fig. 1. Research schema.

Note. * The results of determining the thresholds of the motor response of the cerebral hemispheres corresponding to the cortical representations of the primary motor cortex of the indicator muscles of the upper (*m. abductor pollicis brevis*) and (or) lower (*m. tibialis anterior*) extremities are excluded from the study if there is no registration of the evoked motor response to transcranial magnetic stimulation of the affected hemisphere.

Критерии исключения: из исследования исключались результаты ТМС-тестирования кортикальной моторной возбудимости полушарий головного мозга при отведении с индикаторных мышц верхних и/или нижних конечностей в случае отсутствия регистрации вызванного моторного ответа от поражённой гемисферы.

Методы регистрации исходов

Исследование моторных вызванных потенциалов (МВП) проводилось на электронейромиографах «Нейро-МВП-5», «Нейро-МВП-Микро» с использованием магнитного стимулятора «Нейро-МС/Д» и двойного («восьмёрка») индуктора «ИДУ-02-100-0», кольцевого индуктора «ИК-02-150-0» (Нейрософт, Россия). Одноимпульсная диагностическая ТМС проводилась в области кортикального представления *musculus abductor pollicis brevis* (короткая мышца, отводящая большой палец кисти) и *musculus tibialis anterior* (передняя большеберцовая мышца) обоих полушарий и фокусировалась по максимальной амплитуде вызванного моторного ответа контралатеральной верхней или нижней конечности (зона «горячей точки» — hotspot).

Для характеристики возбудимости первичной моторной коры головного мозга изучали уровень порога моторного ответа покоя и его межполушарную асимметрию. Порог моторного ответа покоя (ПМО_{покоя}) определялся как минимальная интенсивность (магнитная индукция) стимулятора, выраженная в процентах от максимально возможной

интенсивности аппарата с использованием описанных выше индукторов, необходимая для вызова МВП амплитудой не менее 50 мкВ в 50% и более предъявленных стимулов (не менее 10 стимулов) в hotspot-фокусе М₁ индикаторных мышц. Показатели межполушарной асимметрии рассчитывались как модуль разности значений ПМО_{покоя}, полученных для левого/правого (для здоровых волонтеров) и поражённого/непоражённого полушария.

Выраженность двигательного дефицита определяли методом функционального мышечного тестирования с использованием шкалы Комитета медицинских исследований (Medical Research Council Weakness scale, MRC), согласно регламенту рутинной клинической практики, отдельно по сегментно для верхней («плечо» — отведение плеча; «предплечье» — сгибание в локтевом суставе; «кисть» — разгибание в лучезапястном суставе) и нижней («бедро» — сгибание бедра; «голень» — разгибание в коленном суставе; «стопа» — тыльное сгибание в голеностопном суставе) конечности. Интерпретация по шкале MRC: полное отсутствие произвольной мышечной активности — 0 баллов; нормальная мышечная сила — 5 баллов; суммарно для одной конечности при отсутствии пареза — 15 баллов.

Доминантное полушарие определялось с помощью Эдинбургского опросника право-/леворукости (Edinburgh Handedness Inventory) [14]. Общие демографические и клинические характеристики группы пациентов и здоровых добровольцев приведены в табл. 1.

Таблица 1. Общие демографические и клинические характеристики групп**Table 1.** General demographic and clinical characteristics of the groups

Показатель	Пациенты, <i>n</i> =185	Контрольная группа, <i>n</i> =40
Возраст, лет, <i>M</i> ± <i>SD</i>	60,51±12,97 61 [53; 69,8]	60,63±13,83 62 [54; 69]
Пол, женщин, <i>n</i> (%)	81 (43,8)	18 (45,0)
Срок заболевания (дней), <i>M</i> ± <i>SD</i>	66,41±70,94 37 [31; 59]	-
Поражённая гемисфера, правая, <i>n</i> (%)	83 (44,9)	-
Доминантная гемисфера, левая, <i>n</i> (%)	174 (94,1)	37 (92,5)
МВП [отведение с верхних конечностей (<i>mm. abductor pollicis brevis</i>)], <i>M</i> ± <i>SD</i>		
• ПМО _{покоя} ДГ здоровых волонтеров, %	-	45,65±5,58 45,5 [41; 50]
• ПМО _{покоя} НДГ здоровых волонтеров, %	-	45,95±4,91 47 [42,8; 49]
• ПМО _{покоя} БиГ _{зд} , %	-	
• ПМО _{покоя} ПГ/БиГ _{зд} , %	76,08±25,51* 90 [49; 100]	45,80±5,23 46 [42; 49]
• ПМО _{покоя} НГ/БиГ _{зд} , %	44,42±7,67# 45 [40; 50]	
• МПА, %	32,07±23,16* 38 [5,5; 53]	4,8±2,91 4,5 [3; 7]
МВП [отведение с нижних конечностей (<i>mm. tibialis anterior</i>)], <i>M</i> ± <i>SD</i>		
• ПМО _{покоя} ДГ здоровых волонтеров, %	-	65,63±5,75 65 [62; 68]
• ПМО _{покоя} НДГ здоровых волонтеров, %	-	66,1±7,13 65 [60; 72]
• ПМО _{покоя} ПГ/БиГ _{зд} , %	89,70±13,83* 100 [80; 100]	65,86±6,44 65 [61; 70]
• ПМО _{покоя} НГ/БиГ _{зд} , %	71,84±15,21 71 [60; 85]	
• МПА, %	19,57±14,07* 17 [9; 29]	6,1±3,28 5,5 [4; 8]
Степень пареза (шкала MRC), <i>M</i> ± <i>SD</i>		
• сегмент «кисть» паретичной руки/ сегмент «кисть _{зд} », балл	1,68±1,34* 2,0 [0; 3]	5±0
• сегмент «стопа» паретичной ноги/ сегмент «стопа _{зд} », балл	1,9±1,26* 2 [1; 3]	5±0

Примечание. * Статистическая достоверность отличий группы пациентов и здоровых ($p < 0,05$); # статистическая достоверность отличий ПМО_{покоя} поражённой и непоражённой гемисферы. МВП — моторные вызванные потенциалы, индуцированные методом транскраниальной магнитной стимуляции; ПМО_{покоя} — порог моторного ответа покоя; ДГ, НДГ, ПГ, НГ — доминантная, недоминантная, поражённая, непоражённая гемисферы головного мозга; БиГ_{зд} — бигемисферные (объединённые) показатели в группе здоровых волонтеров; МПА — межполушарная асимметрия; MRC — шкала Комитета медицинских исследований. Сегменты «кисть_{зд}», «стопа_{зд}» — показатели силы тестируемых мышц в группе здоровых волонтеров.

Note. * Statistical significance of differences between the group of patients and healthy controls ($p < 0,05$); # statistical significance of differences between the ПМО_{покоя} of the affected and unaffected hemisphere. МВП — motor evoked potentials induced by transcranial magnetic stimulation; ПМО_{покоя} — resting motor response threshold; ДГ, НДГ, ПГ, НГ — dominant, non-dominant, affected and unaffected hemispheres of the brain; БиГ_{зд} — bigemispheric (combined) indices in the group of healthy volunteers; МПА — interhemispheric asymmetry; MRC — Medical Research Council Scale. Segments «кисть_{зд}», «стопа_{зд}» — indices of strength of tested muscles in the group of healthy volunteers.

Условия проведения

Исследование проведено на базе Клинического института мозга.

Этическая экспертиза

Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России (протокол № 8 от 18.09.2020).

Статистический анализ

Для проверки нормальности распределения был выбран критерий Шапиро–Уилка. Данные представлены в виде значения среднего $\pm$ одно стандартное отклонение ($M \pm SD$), а также медианы и квартилей 25% и 75% (Me, 25%; 75%). В случае нормального (Гауссовского) распределения при сравнении двух групп использовался одновыборочный t-критерий Стьюдента, а при множественном сравнении групп — однофакторный дисперсионный анализ с последующим попарным сравнением групп с применением

критерия Ньюмана–Кейсла. В условиях отклонения гипотезы нормальности распределения выборок при сравнении двух групп применялся непараметрический критерий Манна–Уитни, а при множественном сравнении независимых выборок — критерий Краскела–Уоллиса с последующим попарным сравнением групп с помощью критерия Данна. Для корреляционного анализа использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Статистическая значимость определялась при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные результаты исследования

При изучении зависимости кортикальной моторной возбудимости от степени пареза (табл. 2) выявлено увеличение ПМО_{покоя} поражённой гемисферы в подгруппах пациентов с уровнем мышечной силы в сегментах «кисть» (0–2 балла) и «стопа» (0–3 балла). Уровни ПМО_{покоя} поражённой гемисферы в подгруппах пациентов с показателем мышечной силы в сегменте «кисть» 3, 4 балла и в сегменте «стопа»

Таблица 2. Сравнительная характеристика ПМО_{покоя} гемисфер головного мозга при различной степени двигательного дефицита ($n=185$)

Table 2. Comparative characteristics of resting motor thresholds of the brain hemisphere with varying degrees of motor deficit ($n=185$)

Показатель	Пациенты						Контрольная группа
	M±SD, Me [25%; 75%]						
Сегмент «кисть»							
MRC, балл	0 (n=29)	1 (n=18)	2 (n=30)	3 (n=19)	4 (n=10)	5 (n=1)	5 (n=40)
ПМО _{покоя} ПГ, %	90,44±19,49 ^{4,5,7–11,13} 100 [100; 100]	85,5±23,00 ^{4,5,7–11,13} 100 [82,5; 100]	81,7±20,83 ^{4,5,7–11,13} 92 [65,5; 100]	54,47±20,29 46 [44,5; 62,5]	45,5±11,45 43 [38,5; 48,8]	38	45,80±5,23 46 [42; 49]
	1	2	3	4	5	6	
ПМО _{покоя} НГ, %	45,37±7,49 45 [40; 49]	46,67±10,53 48 [38,8; 52]	44,17±6,69 44,5 [40; 50]	44,58±6,76 45 [41,5; 48,5]	41,0±8,27 ^{1–4,13} 38 [37,3; 41,5]	38	13
	7	8	9	10	11	12	
МПА, %	45,27±19,24 ^{17,18,20} 53 [38; 60]	38,83±18,69 ^{17,18,20} 47 [25,3; 51,8]	38,0±19,34 ^{17,18,20} 44,5 [20,5; 53]	11,16±16,9 4 [1; 10]	4,5±5,76 2 [0,3; 6,3]	0	4,8±2,91 4,5 [3; 7]
	14	15	16	17	18	19	20
Сегмент «стопа»							
MRC, балл	0 (n=27)	1 (n=25)	2 (n=44)	3 (n=35)	4 (n=13)	5 (n=1)	5 (n=40)
ПМО _{покоя} ПГ, %	93,93±11,71 ^{7–10,13} 100 [95; 100]	93,08±12,23 ^{7–10,13} 100 [90; 100]	90,66±12,53 ^{7–10,13} 100 [80,8; 100]	86,80±15,48 ^{7–10,13} 95 [73; 100]	81,08±14,86 92,5 [72; 100]	62	65,86±6,44 65 [61; 70]
	1	2	3	4	5	6	
ПМО _{покоя} НГ, %	68,33±19,02 71 [56,5; 85]	72,28±16,85 71 [60; 85]	70,70±12,31 72 [61,8; 78]	74,0±14,05 70 [61; 86,5]	76,31±15,93 72 [70; 87]	72	13
	7	8	9	10	11	12	
МПА, %	27,0±14,63 ^{17,18,20} 25 [15; 38,5]	20,8±15,16 ^{17,18,20} 21 [7; 33]	20,77±11,91 ^{17,18,20} 20 [14; 28,5]	15,51±14,23 11 [3,5; 27]	9,38±8,25 10 [4; 10]	10	6,1±3,28 5,5 [4; 8]
	14	15	16	17	18	19	20

Примечание. ^{1–20} Достоверность отличий с показателями ячейки своей категории под номером (цифра в левом нижнем углу ячейки) от 1 до 20 ($p < 0,05$). MRC — шкала Комитета медицинских исследований; ПМО_{покоя} — порог моторного ответа покоя; ПГ, НГ — поражённая, непоражённая гемисферы головного мозга; МПА — межполушарная асимметрия ПМО_{покоя}.

Note. ^{1–20} The reliability of differences with the indicators of the cell of their category under the number (the figure in the lower left corner of the cell) from 1 to 20 ($p < 0.05$). MRC — Medical Research Committee scale; ПМО_{покоя} — resting motor response threshold; ПГ, НГ — affected, unaffected brain hemispheres; МПА — interhemispheric asymmetry of ПМО_{покоя}.

4 балла, а также ПМО_{покоя} непоражённой гемисферы в подгруппах пациентов с показателем мышечной силы в сегменте «кисть» 0–3 балла и в сегменте «стопа» 0–4 балла значимо не отличались от нормативных показателей. Отмечен факт снижения ПМО_{покоя} непоражённой гемисферы в подгруппе пациентов с минимальным исследованным уровнем снижения мышечной силы (4 балла по MRC) для сегмента «кисть» (при неотличимых от нормативных показателей ПМО_{покоя} поражённой гемисферы). Межполушарная асимметрия ПМО_{покоя} поражённой и непоражённой гемисфер головного мозга статистически значимо увеличивалась в подгруппах пациентов с уровнем мышечной силы в сегментах «кисть» и «стопа» в диапазоне от 0 до 2 баллов.

Межполушарный корреляционный анализ ПМО_{покоя} при различной выраженности двигательного дефицита выявил отсутствие зависимости переменных у пациентов с уровнем мышечной силы для сегмента «кисть» 0–2 балла (табл. 3). В остальных сравниваемых подгруппах отмечалась положительная межполушарная корреляция ПМО_{покоя}, что характеризовало и группы контроля. Положительная корреляция показателей ПМО_{покоя} поражённой гемисферы и межполушарной асимметрии (МПА) для всех степеней пареза наблюдалась при исследовании кортикального представительства мышц верхних конечностей, тогда как для нижних конечностей зависимость этих переменных практически отсутствовала (за исключением подгруппы мышечной силы — 2 балла по MRC). При этом показательно

отсутствие корреляции ПМО_{покоя} поражённой/непоражённой гемисфер и МПА для контрольных измерений. Обратная (отрицательная) корреляционная зависимость ПМО_{покоя} непоражённой гемисферы и МПА выявлялась для всех степеней двигательного дефицита сегмента «стопа», в то время как для сегмента «кисть» корреляционная связь определялась только в двух подгруппах (положительная — при 3 баллах по MRC, отрицательная — при 0 баллов).

ОБСУЖДЕНИЕ

Исключительно положительный знак межполушарной корреляции ПМО_{покоя} (при её выявлении в исследуемых подгруппах) указывает на однонаправленное изменение кортикальной возбудимости М₁ и отсутствие взаимного сдерживания фоновой функциональной активности гемисфер головного мозга. Вышеописанный корреляционный паттерн также является нормативным (свойственен группе здоровых волонтеров).

Истинное растормаживание М₁ неповреждённого полушария, наблюдаемое при лёгкой степени пареза в сегменте «кисть» (4 балла MRC), с учётом положительной межполушарной корреляции ПМО_{покоя} отражает активационный паттерн изменения моторной кортикальной возбудимости обеих гемисфер в ответ на патологический процесс. Дополнительно в этой подгруппе возникает прямая зависимость МПА исключительно от уровня моторной возбудимости ПГ, и, соответственно, транскраниальная нейромодуляция

Таблица 3. Корреляция ПМО_{покоя} гемисфер головного мозга при различной степени двигательного дефицита (n=183)

Table 3. Correlation of resting motor thresholds of the brain hemisphere with varying degrees of motor deficit (n=183)

Показатель	Пациенты						Контрольная группа
Сегмент «кисть»							
MRC, балл	0 (n=29)	1 (n=18)	2 (n=30)	3 (n=19)	4 (n=10)	5 (n=40)	
ПМО _{покоя} ПГ и НГ/ДГ и НДГ	R=0,24; p >0,21	R=0,40; p >0,10	R=0,30; p >0,11	R=0,56; p <0,02	R=0,68; p <0,03	R=0,42; p <0,007	
ПМО _{покоя} ПГ и МПА/ДГ и МПА	R=0,59; p <0,0007	R=0,78; p <0,00012	R=0,84; p <0,0001	R=0,78; p=0,0001	R=0,79; p <0,007	R=0,07; p >0,66	
ПМО _{покоя} НГ и МПА/НДГ и МПА	R=-0,55; p <0,002	R=-0,07; p >0,79	R=-0,12; p >0,54	R=0,57; p=0,0103	R=0,18; p >0,61	R=0,15; p >0,36	
Сегмент «стопа»							
MRC, балл	0 (n=27)	1 (n=25)	2 (n=44)	3 (n=35)	4 (n=13)	5 (n=40)	
ПМО _{покоя} ПГ и НГ/ДГ и НДГ	R=0,59; p <0,001	R=0,59; p <0,002	R=0,40; p <0,008	R=0,63; p <0,0001	R=0,63; p=0,020	R=0,42; p <0,007	
ПМО _{покоя} ПГ и МПА/ДГ и МПА	R=-0,24; p >0,24	R=0,19; p >0,37	R=0,47; p <0,002	R=0,27; p >0,12	R=0,28; p >0,35	R=0,28; p >0,08	
ПМО _{покоя} НГ и МПА/НДГ и МПА	R=-0,86; p <0,0001	R=-0,65; p <0,0005	R=-0,52; p <0,0004	R=-0,36; p <0,03	R=-0,68; p <0,02	R=0,23; p >0,16	

Примечание. Жирным шрифтом отмечена статистическая значимость (p < 0,05); R — коэффициент ранговой корреляции Спирмена. MRC — шкала Комитета медицинских исследований; ПМО_{покоя} — порог моторного ответа покоя; ПГ, НГ ДГ, НДГ — поражённая, непоражённая, доминантная, недоминантная гемисферы головного мозга; МПА — межполушарная асимметрия ПМО_{покоя}.

Note. Bold font indicates statistical significance (p < 0.05); R — spearman rank correlation coefficient. MRC — Medical Research Committee scale; ПМО_{покоя} — resting motor response threshold; ПГ, НГ ДГ, НДГ — affected, unaffected, dominant, non-dominant hemispheres of the brain; МПА — interhemispheric asymmetry of ПМО_{покоя}.

будет оказывать больший терапевтический эффект [15] (подразумевается снижение ПМО_{покоя} ПГ) при активирующем воздействии на поражённую гемисферу в сравнении с контралатеральной.

В подгруппе сегмента «кисть» с парезом 3 балла однонаправленная гемисферная динамика изменения уровней ПМО_{покоя} сопровождается двусторонней положительной корреляцией моторной возбудимости полушарий и МПА. В этой подгруппе уже просматривается тенденция к одностороннему патологическому снижению возбудимости М₁ ПГ, и теоретически будет эффективна активационная нейромодуляция как поражённого, так и непоражённого полушария (в этом случае реализуется увеличенная норма реакции функциональной активности М₁ ПГ при нейромодуляции любой из гемисфер). Возможно, целесообразным будет применение бигемисферного активационного протокола стимуляции. При этом тормозное воздействие на НГ, в рамках рассматриваемых корреляционных отношений, прогностически будет реализовано увеличенным ингибирующим (повышение ПМО_{покоя}) эффектом в ПГ.

Максимальные величины ПМО_{покоя} ПГ и МПА, наблюдаемые в подгруппах сегмента «кисть» с наибольшими степенями двигательного дефицита (0–2 балла MRC), маркируют значительное нарушение структурной сохранности кортикоспинального тракта, что реализуется утратой корреляционной связи между полушариями [15–17]. Функциональное межполушарное разобщение симметричных представительства кисти М₁ гипотетически указывает на необходимость поиска (посредством навигационного картирования) новых моторных фокусов, сформированных в процессе кортикальной реорганизации [7, 13]. В условиях нарушения функциональной коннективности зон кисти М₁ в подгруппах с парезом 2 и 1 балл по MRC сохраняется исключительное влияние (положительная корреляция) уровня моторной возбудимости поражённой гемисферы на межполушарную асимметрию ПМО_{покоя}, дополняемое в подгруппе с пlegией (0 баллов по MRC) в кисти отрицательным корреляционным влиянием ПМО_{покоя} НГ на МПА.

Характерная для всех подгрупп сегмента «стопа» положительная межполушарная корреляционная связь ПМО_{покоя} сочетается с отрицательным корреляционным влиянием ПМО_{покоя} НГ на МПА. В условиях сниженной кортикальной моторной возбудимости ПГ выявленные корреляционные взаимоотношения предопределяют более выраженную реактивность М₁ непоражённого полушария на нейромодуляцию. Изменение двустороннего характера активации коры головного мозга на односторонний (с усиленной активацией представительства мышц ноги М₁ непоражённой гемисферы) у пациентов с постинсультным парезом при воспроизведении паттерна ходьбы отмечается в ряде публикаций [18, 19], улучшение ходьбы при этом ассоциируется с выравниванием активности М₁ полушарий. Учитывая однонаправленное (положительная корреляция ПМО_{покоя} ПГ и НГ) изменение кортикальной возбудимости М₁ полушарий головного мозга, высокие усреднённые ПМО_{покоя} ПГ (ограничение по эффективности и безопасности стимуляции), потенциальную

реакционную инертность поражённой коры (в сравнении с контралатеральным полушарием) на нейромодуляцию и умеренные уровни МПА ПМО_{покоя} в подгруппах, общей оптимальной стратегией для восстановления кортикальной моторной возбудимости ПГ (в парадигме межполушарных корреляционных взаимоотношений), предположительно, будет являться активирующая нейромодуляция М₁ НГ при любой степени пареза. У пациентов с индивидуально невысоким ПМО_{покоя} ПГ целесообразно применение активирующей нейромодуляции М₁ поражённого полушария или (по нашему мнению) бигемисферной активации М₁.

Ограничения исследования

Данное исследование ограничено единственным критерием формирования подгрупп — степенью мышечного пареза. В дальнейшем планируется расширение параметров стратификации (продолжительность постинсультного периода, наличие или отсутствие динамики пареза до и после транскраниальной модуляции нейропластичности), а также увеличение объёма выборки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования межполушарной взаимосвязи кортикальной моторной возбудимости покоя у пациентов с постинсультным гемипарезом не подтвердилось ингибирующее действие (конкуренция) гемисфер для данной функциональной активности головного мозга при любой степени двигательного дефицита. Напротив, в случае выявления межполушарной корреляционной связи наблюдалось поддерживающее (положительная корреляция) взаимовлияние, свойственное и здоровым индивидам.

В стратифицированных по степени пареза для сегментов «кисть» и «стопа» подгруппах (при условии сниженной кортикальной моторной возбудимости поражённой гемисферы относительно контралатеральной) было выявлено три аутентичных варианта межполушарного взаимодействия: однонаправленное полушарное взаимовлияние с преобладающей реактивностью поражённого полушария (в подгруппах с лёгким и умеренным парезом сегмента «кисть»); однонаправленное полушарное взаимовлияние с преобладающей реактивностью непоражённого полушария (во всех подгруппах сегмента «стопа»); функциональное межполушарное разобщение (в подгруппах с выраженным парезом сегмента «кисть»).

Полученные результаты требуют дальнейшего уточнения и интерпретации, но уже сейчас указывают на необходимость переосмысления некоторых подходов к стратегиям транскраниальной нейромодуляции у исследуемой когорты пациентов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Исследование и публикация статьи осуществляются за счёт средств федерального бюджета в рамках государственного научного задания KRWJ-2024-0003,

выполняемого ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» по теме «Разработка прецизионной мультимодальной транскраниальной модуляции нейропластичности в нейрореабилитации».

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

Вклад авторов. Я.Ю. Захаров — концепция, дизайн, формирование выборки, анализ и интерпретация результатов, написание текста; А.А. Белкин — структурирование первичной документации, редактирование, утверждение окончательного варианта; В.А. Широков — анализ литературы, редактирование; Д.Г. Поздняков — проведение исследования. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lefaucheur J.P., Aleman A., Baeken C., et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014–2018) // *Clin Neurophysiol.* 2020. Vol. 131, N 2. P. 474–528. doi: 10.1016/j.clinph.2019.11.002
2. Fregni F., El-Hagrassy M.M., Pacheco-Barrios K., et al. Evidence-based guidelines and secondary meta-analysis for the use of transcranial direct current stimulation in neurological and psychiatric disorders // *Int J Neuropsychopharmacol.* 2021. Vol. 24, N 4. P. 256–313. EDN: OHXDZX doi: 10.1093/ijnp/pyaa051
3. Guo Z., Jin Y., Bai X., et al. Distinction of high- and low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on the functional reorganization of the motor network in stroke patients // *Neural Plast.* 2021. Vol. 2021. P. 8873221. doi: 10.1155/2021/8873221
4. Di Pino G., Pellegrino G., Assenza G., et al. Modulation of brain plasticity in stroke: A novel model for neurorehabilitation // *Nat Rev Neurol.* 2014. Vol. 10, N 10. P. 597–608. doi: 10.1038/nrneurol.2014.162
5. Lin Y.L., Potter-Baker K.A., Cunningham D.A., et al. Stratifying chronic stroke patients based on the influence of contralesional motor cortices: An inter-hemispheric inhibition study // *Clin Neurophysiol.* 2020. Vol. 131, N 10. P. 2516–2525. doi: 10.1016/j.clinph.2020.06.016
6. Hummel F.C., Cohen L.G. Non-invasive brain stimulation: A new strategy to improve neurorehabilitation after stroke? // *Lancet Neurol.* 2006. Vol. 5, N 8. P. 708–712. doi: 10.1016/S1474-4422(06)70525-7
7. Grefkes C., Fink G.R. Reorganization of cerebral networks after stroke: New insights from neuroimaging with connectivity approaches // *Brain.* 2011. Vol. 134, Pt. 5. P. 1264–1276. EDN: OLUBSZ doi: 10.1093/brain/awr033
8. Sebastianelli L., Versace V., Martignago S., et al. Low-frequency rTMS of the unaffected hemisphere in stroke patients: A systematic review // *Acta Neurol Scand.* 2017. Vol. 136, N 6. P. 585–605. doi: 10.1111/ane.12773
9. Harvey R.L., Edwards D., Dunning K., et al. Randomized sham-controlled trial of navigated repetitive transcranial magnetic stimulation for motor recovery in stroke // *Stroke.* 2018. Vol. 49, N 9. P. 2138–2146. doi: 10.1161/STROKEAHA.117.020607

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The research and publication of the article is funded from the federal budget under the state scientific assignment KRWJ-2024-0003, carried out by the Ural State Medical University on the topic “Development of precision multimodal transcranial modulation of neuroplasticity in neurorehabilitation”.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. Ya.Yu. Zakharov — concept, design, sampling, analysis and interpretation of results, writing the text; A.A. Belkin — structuring of primary documentation, editing, approval of the final version; V.A. Shirokov — literature analysis, editing; D.G. Pozdnyakov — conducting the research. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

10. Dodd K.C., Nair V.A., Prabhakaran V. Role of the contralesional vs. ipsilesional hemisphere in stroke recovery // *Front Hum Neurosci.* 2017. N 11. P. 469. doi: 10.3389/fnhum.2017.00469
11. Jaillard A., Martin C.D., Garambois K., et al. Vicarious function within the human primary motor cortex? A longitudinal fMRI stroke study // *Brain.* 2005. Vol. 128, Pt. 5. P. 1122–1138. EDN: ILYNKX doi: 10.1093/brain/awh456
12. McCambridge A.B., Stinear J.W., Byblow W.D. Revisiting interhemispheric imbalance in chronic stroke: A tDCS study // *Clin Neurophysiol.* 2018. Vol. 129, N 1. P. 42–50. doi: 10.1016/j.clinph.2017.10.016
13. Sankarasubramanian V., Machado A.G., Conforto A.B., et al. Inhibition versus facilitation of contralesional motor cortices in stroke: Deriving a model to tailor brain stimulation // *Clin Neurophysiol.* 2017. Vol. 128, N 6. P. 892–902. doi: 10.1016/j.clinph.2017.03.030
14. Oldfield R.C. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory // *Neuropsychologia.* 1971. Vol. 9, N 1. P. 97–113. doi: 10.1016/0028-3932(71)90067-4
15. Veldema J., Nowak D.A., Gharabaghi A. Resting motor threshold in the course of hand motor recovery after stroke: A systematic review // *J Neur Rehab.* 2021. Vol. 18, N 1. P. 158. EDN: MFWRSJ doi: 10.1186/s12984-021-00947-8
16. Rossini P.M., Di Iorio R., Bentivoglio M., et al. Methods for analysis of brain connectivity: An IFCN-sponsored review // *Clin Neurophysiol.* 2019. Vol. 130, N 10. P. 1833–1858. doi: 10.1016/j.clinph.2019.06.006
17. Rosso C., Lamy J.C. Does resting motor threshold predict motor hand recovery after stroke? // *Front Neurol.* 2018. N 9. P. 1020. doi: 10.3389/fneur.2018.01020
18. Luft A.R., Forrester L., Macko R.F., et al. Brain activation of lower extremity movement in chronically impaired stroke survivors // *Neuroimage.* 2005. Vol. 26, N 1. P. 184–194. doi: 10.1016/j.neuroimage.2005.01.027
19. Dobkin B.H., Firestone A., West M., et al. Ankle dorsiflexion as an fMRI paradigm to assay motor control for walking during rehabilitation // *Neuroimage.* 2004. Vol. 23, N 1. P. 370–381. doi: 10.1016/j.neuroimage.2004.06.008

REFERENCES

1. Lefaucheur JP, Aleman A, Baeken C, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014–2018). *Clin Neurophysiol.* 2020;131(2):474–528. doi: 10.1016/j.clinph.2019.11.002
2. Fregni F, El-Hagrassy MM, Pacheco-Barrios K, et al. Evidence-based guidelines and secondary meta-analysis for the use of transcranial direct current stimulation in neurological and psychiatric disorders. *Int J Neuropsychopharmacol.* 2021;24(4):256–313. EDN: OHXDZX doi: 10.1093/ijnp/pyaa051
3. Guo Z, Jin Y, Bai X, et al. Distinction of high- and low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on the functional reorganization of the motor network in stroke patients. *Neural Plast.* 2021;2021:8873221. doi: 10.1155/2021/8873221
4. Di Pino G, Pellegrino G, Assenza G, et al. Modulation of brain plasticity in stroke: A novel model for neurorehabilitation. *Nat Rev Neurol.* 2014;10(10):597–608. doi: 10.1038/nrneurol.2014.162
5. Lin YL, Potter-Baker KA, Cunningham DA, et al. Stratifying chronic stroke patients based on the influence of contralesional motor cortices: An inter-hemispheric inhibition study. *Clin Neurophysiol.* 2020;131(10):2516–2525. doi: 10.1016/j.clinph.2020.06.016
6. Hummel FC, Cohen LG. Non-invasive brain stimulation: A new strategy to improve neurorehabilitation after stroke? *Lancet Neurol.* 2006;5(8):708–712. doi: 10.1016/S1474-4422(06)70525-7
7. Grefkes C, Fink GR. Reorganization of cerebral networks after stroke: New insights from neuroimaging with connectivity approaches. *Brain.* 2011;134(Pt 5):1264–1276. EDN: OLUBSZ doi: 10.1093/brain/awr033
8. Sebastianelli L, Versace V, Martignago S, et al. Low-frequency rTMS of the unaffected hemisphere in stroke patients: A systematic review. *Acta Neurol Scand.* 2017;136(6):585–605. doi: 10.1111/ane.12773
9. Harvey RL, Edwards D, Dunning K, et al. Randomized sham-controlled trial of navigated repetitive transcranial magnetic stimulation for motor recovery in stroke. *Stroke.* 2018;49(9):2138–2146. doi: 10.1161/STROKEAHA.117.020607
10. Dodd KC, Nair VA, Prabhakaran V. Role of the contralesional vs. ipsilesional hemisphere in stroke recovery. *Front Hum Neurosci.* 2017;(11):469. doi: 10.3389/fnhum.2017.00469
11. Jaillard A, Martin CD, Garambois K, et al. Vicarious function within the human primary motor cortex? A longitudinal fMRI stroke study. *Brain.* 2005;128(Pt 5):1122–1138. EDN: ILYNKX doi: 10.1093/brain/awh456
12. McCambridge AB, Stinear JW, Byblow WD. Revisiting interhemispheric imbalance in chronic stroke: A tDCS study. *Clin Neurophysiol.* 2018;129(1):42–50. doi: 10.1016/j.clinph.2017.10.016
13. Sankarasubramanian V, Machado AG, Conforto AB, et al. Inhibition versus facilitation of contralesional motor cortices in stroke: Deriving a model to tailor brain stimulation. *Clin Neurophysiol.* 2017;128(6):892–902. doi: 10.1016/j.clinph.2017.03.030
14. Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia.* 1971;9(1):97–113. doi: 10.1016/0028-3932(71)90067-4
15. Veldema J, Nowak DA, Gharabaghi A. Resting motor threshold in the course of hand motor recovery after stroke: A systematic review. *J Neur Rehab.* 2021;18(1):158. EDN: MFWRSJ doi: 10.1186/s12984-021-00947-8
16. Rossini PM, Di Iorio R, Bentivoglio M, et al. Methods for analysis of brain connectivity: An IFCN-sponsored review. *Clin Neurophysiol.* 2019;130(10):1833–1858. doi: 10.1016/j.clinph.2019.06.006
17. Rosso C, Lamy JC. Does resting motor threshold predict motor hand recovery after stroke? *Front Neurol.* 2018;(9):1020. doi: 10.3389/fneur.2018.01020
18. Luft AR, Forrester L, Macko RF, et al. Brain activation of lower extremity movement in chronically impaired stroke survivors. *Neuroimage.* 2005;26(1):184–194. doi: 10.1016/j.neuroimage.2005.01.027
19. Dobkin BH, Firestone A, West M, et al. Ankle dorsiflexion as an fMRI paradigm to assay motor control for walking during rehabilitation. *Neuroimage.* 2004;23(1):370–381. doi: 10.1016/j.neuroimage.2004.06.008

ОБ АВТОРАХ

* **Захаров Яков Юрьевич**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 623702, Свердловская область,
Березовский, ул. Шиловская, д. 28-6;
ORCID: 0000-0001-5605-011X;
eLibrary SPIN: 7945-6264;
e-mail: ya.zakharov@gmail.com

Белкин Андрей Августович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-0544-1492;
eLibrary SPIN: 6683-4704;
e-mail: belkin@neuro-ural.ru

Широков Василий Афанасьевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-1461-1761;
eLibrary SPIN: 8387-4080;
e-mail: vashirokov@gmail.com

Поздняков Дмитрий Геннадьевич;
ORCID: 0000-0003-0496-1899;
e-mail: dg.pozdnyakov@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Yakov Yu. Zakharov**, MD, Cand. Sci. (Med.);
address: 28-6 Shilovskaya street, Berzovsky,
623702 Sverdlovsk region, Russia;
ORCID: 0000-0001-5605-011X;
eLibrary SPIN: 7945-6264;
e-mail: ya.zakharov@gmail.com

Andrey A. Belkin, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: 0000-0002-0544-1492;
eLibrary SPIN: 6683-4704;
e-mail: belkin@neuro-ural.ru

Vasily A. Shirokov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: 0000-0003-1461-1761;
eLibrary SPIN: 8387-4080;
e-mail: vashirokov@gmail.com

Dmitry G. Pozdnyakov;
ORCID: 0000-0003-0496-1899;
e-mail: dg.pozdnyakov@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab630118>

Эффективность интервальной гипоксии-гиперокситерапии в реабилитации пациентов со скелетно-мышечной неспецифической болью в нижней части спины: результаты рандомизированного плацебоконтролируемого исследования

Е.В. Орлова, Н.П. Лямина, Н.В. Скоробогатых, И.В. Ксенофонтова

Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины имени С.И. Спасокукоцкого, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Учитывая высокую распространённость и социальную значимость скелетно-мышечной неспецифической боли в нижней части спины, актуальным является применение инновационных немедикаментозных реабилитационных методик, в частности интервальной гипоксии-гиперокситерапии.

Цель исследования — оценить эффективность интервальной гипоксии-гиперокситерапии в комплексной медицинской реабилитации пациентов со скелетно-мышечной неспецифической болью в нижней части спины.

Материалы и методы. В рандомизированное плацебоконтролируемое исследование включены 62 пациента со скелетно-мышечной неспецифической болью в нижней части спины (35 мужчин и 27 женщин в возрасте от 34 до 63 лет). Пациенты рандомизированы на 2 группы: в основной группе ($n=34$) проведено 10 процедур гипоксии-гиперокситерапии, в группе сравнения ($n=28$) — 10 плацебо-процедур дыхательной терапии. Стандартная программа реабилитации в обеих группах в течение 2 недель включала 10 процедур лазерной терапии и низкочастотной электростатической терапии, 10 групповых занятий лечебной физкультурой. Основной группе через маску подавалась гипоксическая (FiO_2 13–15%) и гипероксическая (FiO_2 до 40%) газовая смесь в интервальном режиме аппаратом ReOxy. Продолжительность 1–4-й процедуры составляла 30 минут, 5–10-й — 40 минут. Плацебо-терапия проводилась с использованием маски с отверстием для атмосферного воздуха. Исходно и через 2 недели оценивались реабилитационный диагноз по доменам b28013, b7303, b7600, d4500 Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (МКФ), боль в спине и общее состояние здоровья по 100-миллиметровой визуальной аналоговой шкале, индекс Лекена, тест 10-метровой ходьбы, реактивная тревожность по шкале Спилбергера-Ханина, симптомы депрессии по шкале Бека.

Результаты. Через 2 недели в основной группе достоверно улучшились значения определителей доменов МКФ, боль в спине снизилась на 65,2% ($p < 0,01$), индекс Лекена — на 76,1% ($p < 0,01$), тест 10-метровой ходьбы — на 42,4% ($p < 0,05$), уровень реактивной тревожности — на 50,5% ($p < 0,01$), симптомы депрессии — на 69,7% ($p < 0,01$), общая оценка состояния здоровья улучшилась на 71,2% ($p < 0,01$) со статистически значимыми различиями с группой сравнения по всем показателям ($p < 0,05$).

Заключение. Двухнедельная комплексная реабилитация, включающая интервальную гипоксию-гиперокситерапию, снижает боль в спине, улучшает реабилитационный диагноз по МКФ, общее состояние здоровья, функциональный и психоэмоциональный статус у пациентов со скелетно-мышечной неспецифической болью в нижней части спины.

Ключевые слова: боль в нижней части спины; реабилитация; гипоксии-гиперокситерапия.

Как цитировать:

Орлова Е.В., Лямина Н.П., Скоробогатых Н.В., Ксенофонтова И.В. Эффективность интервальной гипоксии-гиперокситерапии в реабилитации пациентов со скелетно-мышечной неспецифической болью в нижней части спины: результаты рандомизированного плацебоконтролируемого исследования // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 2. С. 98–108. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab630118>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab630118>

Efficiency of interval hypoxia-hyperoxytherapy in the rehabilitation of patients with nonspecific musculoskeletal low back pain: results of a randomized placebo-controlled study

Evgeniya V. Orlova, Nadezhda P. Lyamina, Natalya V. Skorobogatyth, Irina V. Ksenofontova

S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Considering the high prevalence and social significance of nonspecific musculoskeletal lower back pain, the use of innovative non-drug rehabilitation methods, particularly interval hypoxia-hyperoxytherapy, is relevant.

AIM: To evaluate the efficiency of the interval hypoxia-hyperoxytherapy in the complex medical rehabilitation of patients with nonspecific musculoskeletal lower back pain.

MATERIALS AND METHODS: This randomized placebo-controlled study enrolled 62 patients (male, $n=35$; female $n=27$, aged 34–63 years) with nonspecific musculoskeletal lower back pain. All patients were randomized into two groups. The study group ($n=34$) received 10 procedures of hypoxia-hyperoxytherapy, and the comparison group ($n=28$) received 10 placebo procedures of breathing therapy. All groups underwent a 2-week standard rehabilitation program: 10 procedures of low-intensity laser therapy and low-frequency electrostatic therapy and 10 group sessions of physical exercises. The study group was breathing hypoxic (FiO_2 13%–15%) and hyperoxic (FiO_2 up to 40%) gas mixture through a mask in the interval mode using “ReOxy.” The duration of 1–4 procedures was 30 min and 5–10 procedures took 40 min. The placebo procedures were performed using masks with atmospheric air hole. Rehabilitation diagnosis by domains b28013, b7303, b7600, and d4500 of the International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF), back pain and general health on a 100-mm visual analog scale, Lequesne index, 10-m walking test, Spielberger–Khanin reactive anxiety test, and Beck depression inventory were evaluated at baseline and week 2.

RESULTS: After 2 weeks the values of the qualifiers of ICF domains significantly improved in the study group, back pain decreased by 65.2% ($p < 0.01$), the Lequesne index by 76.1% ($p < 0.01$), the 10-m walking test by 42.4% ($p < 0.05$), the reactive anxiety level by 50.5% ($p < 0.01$), and depression symptoms by 69.7% ($p < 0.01$), whereas the general health improved by 71.2% ($p < 0.01$), with statistically significant differences from the comparison group in all parameters ($p < 0.05$).

CONCLUSION: 2-week rehabilitation program, including interval hypoxia-hyperoxytherapy, reduces back pain and improves rehabilitation diagnosis based on the ICF, general health, functional status and psychoemotional state in patients with nonspecific musculoskeletal lower back pain.

Keywords: lower back pain; rehabilitation; hypoxia-hyperoxytherapy.

To cite this article:

Orlova EV, Lyamina NP, Skorobogatyth NV, Ksenofontova IV. Efficiency of interval hypoxia-hyperoxytherapy in the rehabilitation of patients with nonspecific musculoskeletal low back pain: results of a randomized placebo-controlled study. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(2): 98–108. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab630118>

Список сокращений

БНЧС — боль в нижней части спины
ВАШ — визуальная аналоговая шкала
ИЛ — интерлейкин
ИГГТ — интервальная гипокси-гиперокситерапия
ЛФК — лечебная физическая культура
МКФ — Международная классификация функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья

РКИ — рандомизированное контролируемое исследование
СРБ — С-реактивный белок
ЧСС — частота сердечных сокращений
FiO₂ (fraction of inspired oxygen) — фракция кислорода во вдыхаемой газовой смеси

ОБОСНОВАНИЕ

Скелетно-мышечная неспецифическая боль в нижней части спины (БНЧС) вызывается поражением элементов скелетно-мышечной системы и не связана с радикулопатией, поясничным стенозом или другими специфическими причинами (перелом позвоночника; инфекционные, системные воспалительные, онкологические заболевания) [1–4]. Острая скелетно-мышечная БНЧС длится до 4 недель, подострая — от 4 до 12, хроническая — более 12 недель [1, 5, 6]. У одного из трёх пациентов острая БНЧС рецидивирует в течение года, а у одного из пяти — обострение значительно ухудшает повседневную деятельность [1]. В 90–95% случаев причиной острой БНЧС является именно скелетно-мышечная неспецифическая боль [1–4].

Обращения к врачу в связи с БНЧС составляют значительную цифру — примерно 6–9% всего населения в течение года [1, 7]. По данным опроса 1300 пациентов в поликлиниках Москвы, 24,9% жаловались именно на БНЧС, при этом боль беспокоила 52,9% опрошенных в течение последнего года [8]. Чаще всего эти пациенты обращаются за амбулаторной помощью к неврологу и терапевту [9]. По числу лет, приходящихся на значимое ухудшение состояния здоровья, БНЧС лидирует среди всех неинфекционных заболеваний [10, 11].

Учитывая огромную распространённость и социальную значимость скелетно-мышечной неспецифической БНЧС, высокий процент хронизации, значимое снижение физической, бытовой и профессиональной активности пациентов, возникновение тревожно-депрессивных расстройств, экономический ущерб от нетрудоспособности, часто наблюдаемые неудовлетворительные результаты терапии, разработка программ медицинской реабилитации при данном заболевании, включающей инновационные немедикаментозные методы, является приоритетной задачей. Широкие возможности в этом открывает методика интервальной гипокси-гиперокситерапии (ИГГТ). При ИГГТ кратковременные гипоксические эпизоды вдыхания газовой смеси с фракцией кислорода 13–15% (fraction of inspired oxygen, FiO₂) чередуются с периодами реоксигенации, когда пациент дышит воздухом с повышенным содержанием

кислорода (FiO₂ до 40%). Индукция во время процедуры гипоксия-индуцируемого фактора-1 (hypoxia inducible factor, HIF-1) координирует адаптивный ответ на гипоксию путём стимулирования экспрессии более 100 генов-мишеней, действие которых направлено на улучшение доставки кислорода тканям (регуляция ангиогенеза, ремоделирования и тонуса сосудов, эритропоэза и обмена железа [эритропоэтин, трансферрин]), адаптацию и выживание клеток в условиях гипоксии (переносчики глюкозы, гликолитические ферменты [активация гликолиза]) [12, 13].

Цель исследования — оценить эффективность ИГГТ в комплексной медицинской реабилитации пациентов со скелетно-мышечной неспецифической БНЧС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

В одноцентровое проспективное рандомизированное плацебоконтролируемое исследование (РКИ) включено 62 пациента со скелетно-мышечной неспецифической БНЧС (35 мужчин и 27 женщин) в возрасте от 34 до 63 лет. Пациенты были рандомизированы методом непрозрачных запечатанных конвертов на 2 группы. Основная группа (n=34) получила курс ИГГТ на фоне стандартной программы медицинской реабилитации; группа сравнения (n=28) — курс дыхательной терапии по плацебо-методике газовой смесью с концентрацией кислорода во вдыхаемой смеси как в атмосферном воздухе (FiO₂ 21%) вместе со стандартной реабилитацией. Стандартная программа реабилитации в обеих группах была рассчитана в среднем на 2 недели и включала 10 процедур низкоинтенсивной лазерной терапии, 10 процедур низкочастотной электростатической терапии, 10 групповых занятий лечебной физической культурой (ЛФК). Все пациенты получали нестероидные противовоспалительные препараты в стандартных дозировках.

Критерии соответствия

Критерии включения: пациенты со скелетно-мышечной неспецифической БНЧС, код по Международной классификации болезней 10-го пересмотра M54.5; возраст

от 18 до 70 лет; длительность заболевания 3 недели и более; интенсивность болевого синдрома по 100-миллиметровой визуальной аналоговой шкале (ВАШ) 40 мм и более; полученное от больного информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии не включения: психические заболевания; тяжёлые черепно-мозговые травмы в анамнезе; неконтролируемое артериальное давление (выше 160/100 мм рт.ст.); жизнеугрожающие нарушения ритма сердца и проводимости; острый миокардит и эндокардит; острый инфаркт миокарда; перенесённый инсульт в течение трёх последних месяцев; декомпенсированный сахарный диабет; онкологические заболевания и доброкачественные новообразования, склонные к прогрессированию, в том числе в анамнезе за 5 лет; беременность и кормление грудью; острая бактериальная или вирусная инфекция.

Критерии исключения: отказ больного от продолжения участия в исследовании; возникновение или обострение соматических заболеваний; появление нежелательных реакций на используемые в исследовании методики.

Условия проведения

Пациенты проходили медицинскую реабилитацию на втором этапе в условиях отделения медицинской реабилитации для пациентов с заболеваниями и последствиями травм опорно-двигательного аппарата и периферической нервной системы или дневного стационара на базе филиала № 2 Государственного автономного учреждения здравоохранения города Москвы «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины имени С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы» (ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ).

Продолжительность исследования

Продолжительность РКИ составляла 2 недели (14±2 дня), все пациенты обследовались исходно (при включении в РКИ) и через 2 недели (при выписке, по завершении второго этапа медицинской реабилитации) по единому протоколу.

Описание медицинских вмешательств

Методика лазерной терапии заключалась в накожном облучении области нижнегрудного и пояснично-крестцового отдела позвоночника инфракрасным импульсным излучением (длина волны 0,89 мкм, частота импульсов 1200–1500 Гц, мощность до 100 Вт). Использовались лазерные аппараты «Матрикс» или «Мустанг 2000», применялась излучающая головка Л03 (мощность излучения 10 Вт/импульс). Излучатель располагали паравертебрально на уровне Th8–L5 последовательно по полям в зависимости от локализации болевого синдрома, длительность экспозиции на поле составляла 2–4 минуты, облучали по 2–3 поля с каждой стороны позвоночника. За один сеанс суммарное время излучения не превышало 12–16 минут (по 6–8 минут с каждой стороны позвоночника). Всего проводили 10 процедур лазерной терапии, 1 раз в сутки, приблизительно в одно и то же время (±1 час), преимущественно в утренние часы.

Через 15–20 минут после лазерной терапии проводили процедуру низкочастотной электростатической терапии. Методика заключалась в накожном воздействии низкочастотным электростатическим полем на область нижнегрудного и пояснично-крестцового отделов позвоночника аппаратом «Хивамат 200» с последовательным изменением частот (200 Гц, 100 Гц и 50 Гц) при режиме 1:1, интенсивностью 50%. Общая продолжительность процедуры составляла 18–24 минуты. Всего проводили 10 процедур низкочастотной электростатической терапии, 1 раз в сутки, приблизительно в одно и то же время (±1 час), преимущественно в утренние часы.

Непосредственно через 45–60 минут после двух процедур локальной физиотерапии пациенту проводили занятие ЛФК. Курс включал 10 групповых занятий ЛФК под руководством инструктора из 22 упражнений для шейного, грудного, поясничного отделов позвоночника и мышц спины, продолжительностью 30 минут, проводимых 1 раз в сутки приблизительно в одно и то же время (±1 час); табл. 1.

Таблица 1. Комплекс физических упражнений для пациентов со скелетно-мышечной неспецифической болью в нижней части спины
Table 1. Physical exercises for patients with nonspecific musculoskeletal lower back pain

№	Исходное положение	Описание упражнения	Кратность, раз	Методические указания
1	Лёжа на спине, прямые руки вдоль туловища, ноги прямые	Одновременно сжимать и разжимать пальцы кистей и стоп	10	Темп медленный
2		Одновременное сгибание и разгибание в лучезапястных и голеностопных суставах	10	и средний, амплитуда по ощущениям: комфортная,
3		Одновременное вращение в лучезапястных и голеностопных суставах: 5 раз по часовой стрелке, 5 раз против часовой стрелки	10	до боли («через боль» упражнения не выполнять)
4		Одновременное сгибание ног в коленных суставах и рук в локтевых суставах	10	Стопы не отрывать от кушетки

Таблица 1. Продолжение

Table 1. Continuation

№	Исходное положение	Описание упражнения	Кратность, раз	Методические указания
5	Лёжа на спине, прямые руки вдоль туловища, ноги согнуты в коленных суставах под углом 90°, стопы на ширине таза	Приподнять таз, удерживать 10–30 сек (по переносимости). Плавно вернуться в исходное положение	10	Темп медленный, не задерживать дыхание
6		Приподнять таз над поверхностью на 10–15 см, совершать тазом «качательные» движения вправо и влево амплитудой 5–10 см	10	Темп медленный, не задерживать дыхание
7		Пальцами правой руки потянуться к правой пятке, вернуться в исходное положение. Повторить для левой стороны	По 5 раз с каждой стороны	Темп медленный, не задерживать дыхание
8		Подтянуть колено руками к животу до чувства лёгкого натяжения в ягодичной области. Вернуться в исходное положение	По 5 раз с каждой стороны	Поочерёдно правой и левой ногой, темп медленный
9		На выдохе оба колена подтянуть к животу до лёгкого натяжения в ягодичной области	3	Темп медленный, не задерживать дыхание
10		Стопы поставить чуть шире таза, поочерёдно на выдохе потянуть колено к противоположной стопе	По 5 раз с каждой стороны	Темп медленный
11	Лёжа на спине, прямые руки расположены вдоль туловища, ноги прямые	Прямые руки поднять вверх до угла 90° к туловищу, пальцы устремлены в потолок, кисти ладонями повернуты друг к другу. Поочерёдно тянуться в потолок правой левой рукой	По 5 раз каждой рукой	Темп медленный, лопатка должна отрываться от кушетки
12		Стопы на себя (тыльное сгибание в голеностопном суставе), тянуться пяткой в дистальном направлении до лёгкого натяжения в противоположной поясничной области	Поочерёдно по 5 раз каждой ногой	Темп медленный, не задерживать дыхание
13		Стопы на себя, кистями и локтями упереться в кушетку, одновременно прогнуться в грудном отделе вверх, чтобы межлопаточная область оторвалась от кушетки	5	Темп медленный, не задерживать дыхание
14	Лёжа на животе, лицом вниз, ладони сложены подо лбом, ноги прямые	При тыльном сгибании в голеностопном суставе и разогнутом коленном суставе приподнять ногу на 2–3 см, отвести вбок, затем вернуть в исходное положение	5 раз каждой ногой	Темп медленный, не задерживать дыхание
15		При тыльном сгибании в голеностопном суставе и разогнутом коленном суставе приподнять ногу на 2–3 см вверх, удерживать 1–2 сек	5 раз каждой ногой	Темп медленный, не задерживать дыхание
16	Лёжа на животе, голова опущена, руки вдоль туловища, ноги прямые	Руками выполнять «плавательные» движения, имитируя стиль «брасс», поочерёдно правой и левой	5–7 раз каждой рукой	Темп медленный и средний
17		Поочерёдно поднимать вверх руку, согнутую в локтевом суставе перед собой	5–7 раз каждой рукой	Темп медленный и средний
18	Коленно-кистевое положение	На вдохе потянуться межлопаточной областью вверх, на выдохе свести лопатки вместе	5 раз	Темп медленный
19		На выдохе сесть на пятки, не отрывая кистей от поверхности кушетки и вернуться в исходное положение	5 раз	Темп медленный
20		На выдохе поочерёдно двигать колено к противоположной кисти, скользя коленом по кушетке	5 раз каждым коленом	Темп медленный
21		Поочерёдно поднимать вперёд прямую руку, опора на другую руку и колени	5 раз каждой рукой	Темп медленный
22		Поочерёдно поднимать вперёд прямую правую руку и прямую левую ногу, опора на левую руку и правое колено, затем повторить левой рукой и правой ногой	По 5 раз с каждой стороны	Темп медленный

В основной группе через 45–60 минут поле ЛФК проводилась процедура ИГГТ с использованием аппарата ReOxy (Bitmos GmbH, Германия). Через ротоносовую маску подавались в интервальном режиме гипоксическая и гипероксическая газовые смеси. На указательный палец руки пациента надевался датчик для постоянного автоматического контроля насыщения крови кислородом (сатурации) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) во время процедуры. Подача гипоксической смеси (гипоксическая нагрузка) чередовалась с подачей оксигенированной (гипероксической) газовой смеси (восстановление). Один цикл процедуры состоял из гипоксического и оксигенированного интервалов, длительность которых устанавливалась индивидуально для каждого пациента по принципу биологической обратной связи (от 1 до 6 минут). Число циклов в одной процедуре составляло от 5 до 8. Суммарное время вдыхания гипоксической газовой смеси в течение одной процедуры составляло 20–30 минут. Гипоксические (FiO_2 13–15%) и гипероксические (FiO_2 до 40%) газовые смеси генерировались аппаратом ReOxy. Гипоксическая нагрузка дозировалась строго индивидуально, на основании результатов предварительного 10-минутного гипоксического теста, который проводился перед 1-й и 4-й процедурой с концентрацией кислорода FiO_2 12–13%. Курс составлял 10 процедур, проводимых 1 раз в сутки, приблизительно в одно и то же время (± 1 час), продолжительность 1–4-й процедуры — 30 минут, 5–10-й процедуры — 40 минут. Во время сеанса программное обеспечение аппарата ReOxy автоматически регулировало переключение газовой смеси в зависимости от изменений физиологических параметров (сатурации и ЧСС) в ответ на гипоксическое и гипероксическое воздействие по принципу биологической обратной связи.

Группа сравнения получала дыхательную терапию по тому же самому протоколу, но при проведении процедуры по плацебо-методике использовалась ротоносовая маска с отверстием, через которое поступал обычный атмосферный воздух. При этом пациент не был уведомлён, что он дышит атмосферным воздухом (FiO_2 21%).

Методы регистрации исходов

Исходно и через 2 недели у всех пациентов определяли:

- 1) реабилитационный диагноз в категориях Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (МКФ, International Classification of Functioning, Disability and Health), используя количественную оценку значений определителей (0 — нет нарушений/затруднений [0–4%]; 1 — лёгкие нарушения/затруднения [5–24%]; 2 — умеренные [25–49%]; 3 — тяжёлые [50–95%]; 4 — абсолютные [96–100%]) следующих доменов: b28013 Боль в спине, b7303 Сила мышц нижней половины тела, b7600 Контроль простых произвольных движений, d4500 Ходьба на короткие расстояния;

- 2) интенсивность болевого синдрома в спине и общее состояние здоровья по ВАШ по оценке больного;
- 3) оценка активности в повседневной жизнедеятельности по индексу Лекена (Lequesne) (суммарная балльная оценка боли, 5 вопросов), функции ходьбы (2 вопроса) и повседневной активности (4 вопроса); счёт в пределах 1–4 — лёгкое ограничение жизнедеятельности, 5–7 — умеренное, 8–10 — выраженное, 11–13 — резко выраженное, 14 и более — крайне выраженное;
- 4) тест 10-метровой ходьбы (пациент проходит без посторонней помощи 10 м, последовательно выполняется 3 исследования и считается среднее время выполнения теста в секундах);
- 5) шкала определения уровня реактивной тревожности Спилберга–Ханина (20 вопросов оцениваются по шкале от 0 до 4, считается сумма баллов, интерпретация результатов: до 30 баллов — низкий уровень тревожности; 31–45 баллов — средний; 46 баллов и более — высокий);
- 6) шкала оценки депрессии Бека (Beck Depression Inventory) (21 вопрос оценивается по шкале от 0 до 3, считается сумма баллов, интерпретация результатов: 0–9 баллов — отсутствие симптомов депрессии, 10–15 баллов — лёгкая депрессия (субдепрессия), 16–19 баллов — умеренная депрессия, 20–29 баллов — выраженная депрессия (средней тяжести), 30–63 балла — тяжёлая депрессия).

Этическая экспертиза

Данное РКИ является фрагментом научно-клинического исследования «Оценка эффективности применения метода дыхательной терапии, основанного на кратковременном перемежающемся воздействии гипоксии (реокситапия), в реабилитации пациентов с дорсопатиями и остеоартритом», протокол которого одобрен локальным этическим комитетом при ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ (протокол № 4 от 11.05.2021).

Статистический анализ

При статистическом анализе использовались программа SPSS Statistics, параметрические и непараметрические критерии (Стьюдента, Манна–Уитни, Вилкоксона). Значения переменных представлены в виде $M \pm \sigma$, где M — среднее арифметическое, σ — стандартное (среднее квадратичное) отклонение. Указывалось значение вероятности p , выбирался уровень статистической значимости 0,05 или 0,01. Результаты считались статистически достоверными при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В РКИ было включено 62 пациента с выраженной и сильной скелетно-мышечной неспецифической БНЧС при остром течении или хроническом рецидивирующем

течении в стадии обострения. Длительность заболевания составляла от 4 недель до 10 лет. При магнитно-резонансной томографии позвоночника наиболее часто выявляли снижение высоты и протрузии межпозвоночных дисков поясничного отдела позвоночника. Исходно у всех пациентов наблюдались умеренные и тяжёлые нарушения по доменам реабилитационного диагноза по МКФ: b28013 Боль в спине, b7303 Сила мышц нижней половины тела, b7600 Контроль простых произвольных движений и d4500 Ходьба на короткие расстояния. Пациенты обеих групп при включении в исследование не имели статистически значимых различий по всем исследуемым показателям ($p > 0,05$).

Основные результаты исследования

Через 2 недели комплексной медицинской реабилитации, включающей ИГГТ, у пациентов основной группы улучшились количественные значения определителей

основных доменов МКФ до лёгких, незначительных нарушений и затруднений (табл. 2). Определитель домена b28013 Боль в спине снизился в среднем на $2,57 \pm 0,95$ балла ($p < 0,05$), домена b7303 Сила мышц нижней половины тела — на $1,87 \pm 0,59$ балла ($p < 0,05$), домена b7600 Контроль простых произвольных движений — на $2,18 \pm 0,72$ балла ($p < 0,05$), домена d4500 Ходьба на короткие расстояния — на $1,82 \pm 0,61$ балла ($p < 0,05$). При этом в основной группе улучшение реабилитационного диагноза по доменам МКФ было более выраженным, чем в группе сравнения ($p < 0,05$); см. табл. 2.

Через 2 недели комплексной медицинской реабилитации, включающей ИГГТ, у пациентов основной группы боль в спине по ВАШ снизилась на 65,2% ($p < 0,01$), оценка общего состояния здоровья улучшилась на 71,2% ($p < 0,01$) с достоверными различиями с группой сравнения по обоим показателям ($p < 0,05$); табл. 3.

Таблица 2. Реабилитационный диагноз по доменам Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья

Table 2. Rehabilitation diagnosis by domains of International Classification of Functioning, Disability and Health

Домен МКФ	Значение определителя домена МКФ			
	Основная группа (n=34)		Группа сравнения (n=28)	
	исходно	через 2 нед	исходно	через 2 нед
b28013 Боль в спине	3,46±1,45	0,89±0,44*#	3,28±1,19	1,83±0,90*
b7303 Сила мышц нижней половины тела	2,67±0,58	0,80±0,34*#	2,88±0,72	1,56±0,71*
b7600 Контроль простых произвольных движений	2,92±0,73	0,74±0,41*#	2,68±0,81	1,23±0,62*
d4500 Ходьба на короткие расстояния	2,34±0,71	0,52±0,19*#	2,18±0,72	0,98±0,66*

Примечание. * Достоверность различий с исходными данными внутри группы ($p < 0,05$), # достоверность различий с группой сравнения ($p < 0,05$).

Note. * Reliability of differences with baseline data within the group ($p < 0.05$), # Reliability of differences with the comparison group ($p < 0.05$).

Таблица 3. Динамика показателей болевого синдрома, функционального и психоэмоционального статуса

Table 3. Dynamics of the parameters of pain syndrome, functional and psychoemotional status

Показатели	Основная группа (n=34)		Группа сравнения (n=28)	
	исходно	через 2 нед	исходно	через 2 нед
Боль в спине по ВАШ	78,62±22,53	27,36±9,41*#	74,93±21,67	48,42±19,13*
Общее состояние здоровья по ВАШ	67,46±28,5	19,41±12,65*#	62,33±31,62	33,15±15,54*
Индекс Лекена, балл	13,57±6,26	3,24±2,48*#	12,93±8,24	8,12±4,77*
Тест 10-метровой ходьбы, сек	13,62±5,11	7,85±3,62*#	12,91±6,25	11,14±6,45
Реактивная тревожность по шкале Спилбергера-Ханина, балл	43,83±14,63	21,71±15,63*#	44,13±18,22	36,22±13,44*
Депрессия по шкале Бека, балл	17,42±6,33	5,27±3,15*#	16,33±8,05	11,41±6,17*

Примечание. * Достоверность различий с исходными данными внутри группы ($p < 0,05$), # достоверность различий с группой сравнения ($p < 0,05$).

Note. * Reliability of differences with baseline data within the group ($p < 0.05$), # Reliability of differences with the comparison group ($p < 0.05$).

Исходно в обеих группах пациентов со скелетно-мышечной неспецифической БНЧС наблюдались резко выраженные нарушения повседневной жизнедеятельности и функциональных способностей по индексу Лекена. Через 2 недели в основной группе индекс Лекена уменьшился с $13,57 \pm 6,26$ балла до $3,24 \pm 2,48$ (лёгкие ограничения жизнедеятельности) (на 76,1%, $p < 0,01$), тест 10-метровой ходьбы снизился на 42,4% ($p < 0,05$) со статистически значимыми отличиями от группы сравнения по обоим показателям ($p < 0,05$); см. табл. 3.

У пациентов обеих групп при включении в исследование наблюдались тревожно-депрессивные расстройства. Через 2 недели комплексной реабилитации, включающей ИГГТ, в основной группе уровень реактивной тревожности по шкале Спилберга–Ханина снизился с $43,83 \pm 14,63$ балла (средний уровень) до $21,71 \pm 15,63$ балла (низкий уровень) (на 50,5%, $p < 0,01$), уровень субклинической депрессии уменьшился с $17,42 \pm 6,33$ балла (умеренная депрессия) до $5,27 \pm 3,15$ балла (отсутствие симптомов депрессии) (на 69,7%, $p < 0,01$); см. табл. 3. При этом через 2 недели наблюдались достоверные различия с группой сравнения по исследуемым показателям психосоциального статуса ($p < 0,05$).

Нежелательные явления

Все пациенты обеих групп завершили двухнедельную программу медицинской реабилитации, каких-либо нежелательных эффектов ИГГТ и других методик, используемых в исследовании, не отмечено.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Результаты проведённого РКИ продемонстрировали, что включение инновационной технологии — индивидуально дозированной ИГГТ — в комплексную двухнедельную программу реабилитации (лазерная и низкочастотная электростатическая терапия, ЛФК) пациентов со скелетно-мышечной неспецифической БНЧС улучшает реабилитационный диагноз по МКФ, функциональные возможности, двигательные способности, функцию ходьбы и оценку общего состояния здоровья организма, снижает боль в спине, уровень реактивной тревожности и симптомы депрессии по сравнению с аналогичным комплексом реабилитации с дыхательной терапией по плацебо-методике. При этом ИГГТ показала себя как безопасная и хорошо переносимая процедура.

Обсуждение основного результата исследования

Полученные результаты согласуются с данными исследований, продемонстрировавших эффективность интервальной гипоксии в решении основных возрастасоцированных проблем (ухудшение функциональных

возможностей, остеоартрит, саркопения, субклиническое системное воспаление, когнитивные нарушения, артериальная гипертензия, увеличение жировой и потеря костной массы), не создавая при этом дополнительной нагрузки на опорно-двигательный аппарат [14–24].

В ряде исследований были изучены патогенетические механизмы влияния гипоксического кондиционирования на снижение уровня системного субклинического воспаления и скорость потери костной массы [14–17]. В РКИ силовые тренировки пожилых людей в условиях гипоксии на высоте 2500 м над уровнем моря улучшали аэробные и силовые возможности, координацию и равновесие, а также способствовали снижению уровня воспалительных маркеров (С-реактивного белка, СРБ), провоспалительного цитокина интерлейкина-8, ИЛ-8) и повышению уровня противовоспалительного цитокина ИЛ-10 по сравнению с аналогичными тренировками при нормоксии [14, 15]. В другом исследовании интервальная гипоксия на высоте 2500 м над уровнем моря снижала жировую массу, уровни СРБ, маркера костной резорбции β -CrossLaps (β Ctx) и повышала уровень маркера костеобразования P1NP (N-терминальный пропептид проколлагена 1-го типа) у пожилых лиц [16, 17]. В другом РКИ ИГГТ в сочетании с аэробными циклическими тренировками на велоэргометре была эффективна в улучшении общих когнитивных функций, физической работоспособности, функциональных способностей и снижении систолического артериального давления у пожилых пациентов (77–94 года) по сравнению с группой аналогичных тренировок с дыхательной терапией по плацебо-методике (нормоксия) [18]. В двух исследованиях было продемонстрировано, что интервальные гипоксические тренировки, в том числе в сочетании с физическими упражнениями на силу и выносливость, способствуют улучшению когнитивных функций и качества жизни у пожилых пациентов по сравнению с дыхательной терапией по плацебо-методике [19, 20].

В РКИ показано также, что ИГГТ в комплексной программе реабилитации (магнитотерапия, хлоридные натриевые ванны, ЛФК) пациентов с остеоартритом и мультиморбидной патологией (постковидный синдром, кардиоваскулярная патология) снижает болевой синдром в суставах, уровень СРБ, одышку при физической нагрузке, симптомы депрессии и тревожности, улучшает двигательные возможности и функциональное состояние регуляторных систем организма по индексу напряжения регуляторных систем (стресс-индексу) по сравнению с группой, получающей аналогичный комплекс реабилитации с дыхательной терапией по плацебо-методике [21–24].

Ограничения исследования

Полученные результаты РКИ ограничены относительно небольшим объёмом выборки и коротким периодом наблюдения, что требует продолжения изучения отдалённых результатов и продолжительности эффекта ИГГТ у пациентов со скелетно-мышечной неспецифической БНЧС,

что позволит определить оптимальную периодичность проведения курсов процедур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В клинических исследованиях продемонстрирована клиническая эффективность интервальных гипоксических тренировок в улучшении функционального статуса, двигательных способностей, аэробных возможностей и функционального состояния регуляторных систем организма, снижении уровня системного субклинического воспаления и когнитивных нарушений. Эти эффекты делают методику ИГГТ перспективной у пациентов со скелетно-мышечной неспецифической БНЧС, которая зачастую имеет хроническое течение и плохо поддаётся терапии. Проведённое РКИ показало, что использование ИГГТ в комплексной программе медицинской реабилитации позволяет значительно повысить эффективность лечения пациентов со скелетно-мышечной неспецифической БНЧС и улучшить реабилитационный диагноз по МКФ, так как достоверно снижает болевой синдром, улучшает функциональный и психоэмоциональный статус, активность в повседневной жизнедеятельности и общее состояние здоровья. В свою очередь, это способствует восстановлению социальной и профессиональной деятельности, снижению уровня нетрудоспособности и повышению качества жизни, что позволяет рекомендовать использование методики в комплексной реабилитации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

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

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

Вклад авторов. Е.В. Орлова — концепция и дизайн, обзор публикаций по теме статьи, проведение исследования, отбор и обследование пациентов, анализ полученных данных, написание текста рукописи; Н.П. Лямина — концепция и дизайн, проведение исследования, утверждение рукописи для публикации; Н.В. Скоробогатых — выбор и обследование пациентов, проведение исследования; И.В. Ксенофонтова — организация и проведение исследования. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. E.V. Orlova — concept and design, review of publications of the article topic, research conducting, selection and examination of patients, analysis of the data obtained, writing the text of the manuscript; N.P. Lyamina — concept and design, research conducting, approval of the manuscript for publication; N.V. Skorobogatyyh — selection and examination of patients, research conducting; I.V. Ksenofontova — organization and research conducting. The authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Диагностика и лечение скелетно-мышечных (неспецифических) болей в нижней части спины.* Клинические рекомендации. Российское межрегиональное общество по изучению боли, 2021. 47 с. EDN: MIUICA
2. Парфенов В.А., Яхно Н.Н., Кукушкин М.Л., и др. Острая неспецифическая (скелетно-мышечная) поясничная боль. Рекомендации Российского общества по изучению боли (РОИБ) // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2018. Т. 10, № 2. С. 4–11. EDN: OUQJKN doi: 10.14412/2074-2711-2018-2-4-11
3. Oliveira C.B., Maher C.G., Pinto R.Z., et al. Clinical practice guidelines for the management of non-specific low back pain in primary care: An updated overview // Eur Spine J. 2018. Vol. 27, N 11. P. 2791–2803. doi: 10.1007/s00586-018-5673-2
4. Urits I., Burshtein A., Sharma M., et al. Low back pain, a comprehensive review: Pathophysiology, diagnosis, and treatment // Curr Pain Headache Rep. 2019. Vol. 23, N 3. P. 23. doi: 10.1007/s11916-019-0757-1
5. Maher C., Underwood M., Buchbinder R. Non-specific low back pain // Lancet. 2017. Vol. 389, N 10070. P. 736–747. doi: 10.1016/S0140-6736(16)30970-9
6. Menezes Costa L.C., Maher C.G., Hancock M.J., et al. The prognosis of acute and persistent low-back pain: A meta-analysis // CMAJ. 2012. Vol. 184, N 11. P. E613–E624. doi: 10.1503/cmaj.111271
7. Jordan K.P., Kadam U.T., Hayward R., et al. Annual consultation prevalence of regional musculoskeletal problems in primary care: an observational study // BMC Musculoskelet Disord. 2010. Vol. 11. P. 144. doi: 10.1186/1471-2474-11-144
8. *Неспецифическая боль в нижней части спины.* Клинические рекомендации для участковых терапевтов и врачей общей практики. Ассоциация ревматологов России, Российское межрегиональное общество по изучению боли; составитель Ш.Ф. Эрдец. Москва: Комплект Сервис, 2008. 70 с. EDN: QLTAWV
9. Яхно Н.Н., Кукушкин М.Л., Чурюканов М.В., Сыровегин А.В. Результаты открытого мультицентрового исследования «МЕРИДИАН» по оценке распространенности болевых синдромов в амбулаторной практике и терапевтических предпочтений врачей // Российский журнал боли. 2012. Т. 3, № 36–37. С. 10–14. EDN: RDEIVB
10. Global Burden of Disease Study 2013 Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 301 acute and chronic diseases and injuries in

188 countries, 1990–2013: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013 // *Lancet*. 2015. Vol. 386, N 9995. P. 743–800. doi: 10.1016/S0140-6736(15)60692-4

11. Давыдов О.С. Распространенность болевых синдромов и их влияние на качество жизни в мире и в России по данным исследования глобального бремени болезней за период с 1990 по 2013 год // *Российский журнал боли*. 2015. Т. 40, № 3–4. С. 11–18. EDN: YLOYRT

12. Pugh C.W., Ratcliffe P.J. New horizons in hypoxia signaling pathways // *Exp Cell Res*. 2017. Vol. 356, N 2. P. 116–121. doi: 10.1016/j.yexcr.2017.03.008

13. Serebrovska T.V., Portnychenko A.G., Drevytska T.I., et al. Intermittent hypoxia training in prediabetes patients: Beneficial effects on glucose homeostasis, hypoxia tolerance and gene expression // *Exp Biol Med* (Maywood). 2017. Vol. 242, N 15. P. 1542–1552. doi: 10.1177/1535370217723578

14. Timon R., Martínez-Guardado I., Camacho-Cardenosa A., et al. Effect of intermittent hypoxic conditioning on inflammatory biomarkers in older adults // *Exp Gerontol*. 2021. Vol. 152. P. 111478. doi: 10.1016/j.exger.2021.111478

15. Timon R., Camacho-Cardenosa M., González-Custodio A., et al. Effect of hypoxic conditioning on functional fitness, balance and fear of falling in healthy older adults: A randomized controlled trial // *Eur Rev Aging Phys Act*. 2021. Vol. 18, N 1. P. 25. doi: 10.1186/s11556-021-00279-5

16. Timon R., Gonzalez-Custodio A., Vasquez-Bonilla A., et al. Intermittent hypoxia as a therapeutic tool to improve health parameters in older adults // *Int J Environ Res Public Health*. 2022. Vol. 19. P. 5339. doi: 10.3390/ijerph19095339

17. Brocherie F., Timon R. Editorial: Long-term effects of hypoxic conditioning on sports performance, health and well-being // *Front Physiol*. 2022. Vol. 13. P. 1112754. doi: 10.3389/fphys.2022.1112754

18. Behrendt T., Bielitzki R., Behrens M., et al. Effects of intermittent hypoxia-hyperoxia exposure prior to aerobic cycling exercise

on physical and cognitive performance in geriatric patients: A randomized controlled trial // *Front Physiol*. 2022. Vol. 13. P. 899096. doi: 10.3389/fphys.2022.899096

19. Serebrovska Z.O., Serebrovska T.V., Kholin V.A., et al. Intermittent hypoxia-hyperoxia training improves cognitive function and decreases circulating biomarkers of Alzheimer's disease in patients with mild cognitive impairment: A pilot study // *Int J Mol Sci*. 2019. Vol. 20, N 21. P. 5405. doi: 10.3390/ijms20215405

20. Schega L., Peter B., Torpel A., et al. Effects of intermittent hypoxia on cognitive performance and quality of life in elderly adults: A pilot study // *Gerontology*. 2013. Vol. 59. P. 316–323. doi: 10.1159/000350927

21. Орлова Е.В., Лямина Н.П., Скоробогатых Н.В., Погонченкова И.В. Клиническая эффективность индивидуально дозированной интервальной гипоксии-гипероксической терапии у пациентов с остеоартритом, имеющих постковидный синдром // *Вестник восстановительной медицины*. 2022. Т. 21, № 2. С. 6–16. EDN: JAXELB doi: 10.38025/2078-1962-2022-21-2-6-16

22. Orlova E., Lyamina N., Pogonchenkova I. Interval hypoxic-hyperoxic training in rehabilitation of patients with osteoarthritis and post-COVID syndrome // *Ann Rheum Dis*. 2022. Vol. 81, Suppl. 1. P. 1071. doi: 10.1136/annrheumdis-2022-eular.3861

23. Орлова Е.В., Лямина Н.П., Скоробогатых Н.В., Погонченкова И.В. Интервальная гипоксии-гипероксическая терапия в комплексной реабилитации пациентов с остеоартритом // *Практическая медицина*. 2022. Т. 20, № 4. С. 81–84. EDN: KEKWMS doi: 10.32000/2072-1757-2022-4-81-84

24. Орлова Е.В., Лямина Н.П., Скоробогатых Н.В., и др. Влияние интервальной гипоксии-гипероксической терапии на индекс напряжения регуляторных систем и воспалительную активность у пациентов с остеоартритом и мультиморбидной патологией // *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2023. Т. 100, № 3-2. С. 158–159. EDN: KQWQME

REFERENCES

1. *Diagnosis and treatment of musculoskeletal (nonspecific) lower back pain*. Clinical recommendations. Russian Association for the Study of Pain; 2021. 47 p. (In Russ). EDN: MIUICA
2. Parfenov VA, Yakhno NN, Kukushkin ML, et al. Acute nonspecific (musculoskeletal) low back pain. Guidelines of the Russian Association for the Study of Pain (RASP). *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2018;10(2):4–11. EDN: OUJJKH doi: 10.14412/2074-2711-2018-2-4-11
3. Oliveira CB, Maher CG, Pinto RZ, et al. Clinical practice guidelines for the management of non-specific low back pain in primary care: an updated overview. *Eur Spine J*. 2018;27(11):2791–2803. doi: 10.1007/s00586-018-5673-2
4. Urits I, Burshtein A, Sharma M, et al. Low back pain, a comprehensive review: Pathophysiology, diagnosis, and treatment. *Curr Pain Headache Rep*. 2019;23(3):23. doi: 10.1007/s11916-019-0757-1
5. Maher C, Underwood M, Buchbinder R. Non-specific low back pain. *Lancet*. 2017;389(10070):736–747. doi: 10.1016/S0140-6736(16)30970-9
6. Menezes Costa LC, Maher CG, Hancock MJ, et al. The prognosis of acute and persistent low-back pain: A meta-analysis. *CMAJ*. 2012;184(11):E613–E624. doi: 10.1503/cmaj.111271

7. Jordan KP, Kadam UT, Hayward R, et al. Annual consultation prevalence of regional musculoskeletal problems in primary care: An observational study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2010;(11):144. doi: 10.1186/1471-2474-11-144
8. *Nonspecific lower back pain*. Clinical guidelines for local physicians and general practitioners. The Association of Rheumatologists of Russia, The Russian Association for the Study of Pain; compiled by Sh.F. Erdes. Moscow: Komplekt Servis; 2008. 70 p. (In Russ). EDN: QLTAWV
9. Yakhno NN, Kukushkin ML, Churyukanov MV, Syroegin AV. The results of open multicenter study Meridian for assessment of pain syndromes prevalence in ambulatory and therapeutic preferences of physicians. *Russ J Pain*. 2012;3(36-37):10–14. EDN: RDEIVB
10. Global Burden of Disease Study 2013 Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 301 acute and chronic diseases and injuries in 188 countries, 1990–2013: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet*. 2015;386(9995):743–800. doi: 10.1016/S0140-6736(15)60692-4

11. Davydov OS. The prevalence of pain syndromes and their impact on quality of life in the world and Russia according to the data of the Global Burden of Disease Study in the period 1990 to 2013. *Russ J Pain*. 2015;40(3-4):11–18. EDN: YLOYRT
12. Pugh CW, Ratcliffe PJ. New horizons in hypoxia signaling pathways. *Exp Cell Res*. 2017;356(2):116–121. doi: 10.1016/j.yexcr.2017.03.008
13. Serebrovska TV, Portnychenko AG, Drevytska TI, et al. Intermittent hypoxia training in prediabetes patients: Beneficial effects on glucose homeostasis, hypoxia tolerance and gene expression. *Exp Biol Med (Maywood)*. 2017;242(15):1542–1552. doi: 10.1177/1535370217723578
14. Timon R, Martínez-Guardado I, Camacho-Cardenosa A, et al. Effect of intermittent hypoxic conditioning on inflammatory biomarkers in older adults. *Exp Gerontol*. 2021;(152):111478. doi: 10.1016/j.exger.2021.111478
15. Timon R, Camacho-Cardenosa M, González-Custodio A, et al. Effect of hypoxic conditioning on functional fitness, balance and fear of falling in healthy older adults: A randomized controlled trial. *Eur Rev Aging Phys Act*. 2021;18(1):25. doi: 10.1186/s11556-021-00279-5
16. Timon R, Gonzalez-Custodio A, Vasquez-Bonilla A, et al. Intermittent hypoxia as a therapeutic tool to improve health parameters in older adults. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;(19):5339. doi: 10.3390/ijerph19095339
17. Brocherie F, Timon R. Editorial: Long-term effects of hypoxic conditioning on sports performance, health and well-being. *Front Physiol*. 2022;(13):1112754. doi: 10.3389/fphys.2022.1112754
18. Behrendt T, Bielitzki R, Behrens M, et al. Effects of intermittent hypoxia-hyperoxia exposure prior to aerobic cycling exercise on physical and cognitive performance in geriatric patients: A randomized controlled trial. *Front Physiol*. 2022;(13):899096. doi: 10.3389/fphys.2022.899096
19. Serebrovska ZO, Serebrovska TV, Kholin VA, et al. Intermittent hypoxia-hyperoxia training improves cognitive function and decreases circulating biomarkers of Alzheimer's disease in patients with mild cognitive impairment: A pilot study. *Int J of Mol Sci*. 2019;20(21):5405. doi: 10.3390/ijms20215405
20. Schega L, Peter B, Torpel A, et al. Effects of intermittent hypoxia on cognitive performance and quality of life in elderly adults: A pilot study. *Gerontology*. 2013;(59):316–323. doi: 10.1159/000350927
21. Orlova EV, Lyamina NP, Skorobogatyth NV, Pogonchenkova IV. Clinical efficacy of individually dosed intermittent hypoxia-hyperoxic therapy in osteoarthritis patients with post-covid syndrome. *Bull Rehab Med*. 2022;21(2):6–16. EDN: JAXELB doi: 10.38025/2078-1962-2022-21-2-6-16
22. Orlova E, Lyamina N, Pogonchenkova I. Interval hypoxic-hyperoxic training in rehabilitation of patients with osteoarthritis and post-COVID syndrome. *Ann Rheum Dis*. 2022;81(Suppl. 1):1071. doi: 10.1136/annrheumdis-2022-eular.3861
23. Orlova EV, Lyamina NP, Skorobogatyth NV, Pogonchenkova IV. Interval hypoxic-hyperoxic therapy in complex rehabilitation of patients with osteoarthritis. *Pract Med*. 2022;20(4):81–84. EDN: KEKWMS doi: 10.32000/2072-1757-2022-4-81-84
24. Orlova EV, Lyamina NP, Skorobogatyth NV, et al. Influence of interval hypoxic-hyperoxic therapy on tension index of regulatory systems and inflammatory activity in patients with osteoarthritis and multimorbid pathology. *Problems Balneology, Physiotherapy Exercise Therapy*. 2023;100(3-2):158–159. EDN: KQWQME

ОБ АВТОРАХ

* Орлова Евгения Владиславовна, д-р мед. наук;
адрес: Россия, 105120, Москва, Земляной вал, д. 53;
ORCID: 0000-0003-2470-8161;
eLibrary SPIN: 4001-7072;
e-mail: yevorlova@mail.ru

Лямина Надежда Павловна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-6939-3234;
eLibrary SPIN: 4347-4426;
e-mail: lyana_n@mail.ru

Скоробогатых Наталья Вячеславовна;
ORCID: 0000-0003-1023-3564;
eLibrary SPIN: 3536-1474;
e-mail: skorobogatyth@list.ru

Ксенофонтова Ирина Васильевна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-8053-5341;
eLibrary SPIN: 2147-8290;
e-mail: irina.ksenofontova.skvl@yandex.ru

AUTHORS' INFO

* Evgeniya V. Orlova, MD, Dr. Sci. (Med.);
address: 53 Zemlyanoy Val, 105120 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0003-2470-8161;
eLibrary SPIN: 4001-7072;
e-mail: yevorlova@mail.ru

Nadezhda P. Lyamina, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: 0000-0001-6939-3234;
eLibrary SPIN: 4347-4426;
e-mail: lyana_n@mail.ru

Natalya V. Skorobogatyth;
ORCID: 0000-0003-1023-3564;
eLibrary SPIN: 3536-1474;
e-mail: skorobogatyth@list.ru

Irina V. Ksenofontova, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0002-8053-5341;
eLibrary SPIN: 2147-8290;
e-mail: irina.ksenofontova.skvl@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab627186>

Применение технологий виртуальной реальности в реабилитации пациентов с поражением правого и левого полушария в остром периоде ишемического инсульта

А.М. Тынтерова

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В настоящее время стандартным компонентом программ раннего восстановительного лечения пациентов с острым очаговым поражением мозга является нейрокогнитивная реабилитация с интеграцией инновационных технологий виртуальной реальности (VR).

Цель исследования — на основании статистической методологии оценить эффективность нейрокогнитивной реабилитации с применением технологий виртуальной реальности у пациентов с поражением правого и левого полушария в остром периоде ишемического инсульта.

Материалы и методы. Обследовано 160 пациентов с диагнозом «Ишемический инсульт в каротидном бассейне», имеющих когнитивные нарушения. В зависимости от локализации инсульта участники исследования разделены на две основные группы: пациенты с поражением левого ($n=80$; группа 1) и правого ($n=80$; группа 2) полушария головного мозга. С 5-го дня госпитализации в дополнение к базисной терапии проводилась реабилитация с применением аппаратно-программного мультимедийного комплекса для дистанционно-контролируемой реабилитации с использованием технологий виртуальной реальности «Девирта – Делфи». Эффективность реабилитации оценивали по результатам тестирования объективно измеряемых количественных показателей точности и координации выполнения движений до и после лечения с помощью системы Kinect Delphi. Оценка динамики когнитивных и психоэмоциональных показателей осуществлялась посредством нейропсихологического тестирования на 2–4-й дни госпитализации и в конце VR-терапии. Математическая статистика выполнена с использованием языка программирования Python и библиотек Pandas и SciPy.

Результаты. Продемонстрированы более высокие показатели эффективности реабилитации у пациентов с правосторонним инсультом. Независимо от латерализации поражения, значимое улучшение отмечено в отношении мнестической, исполнительской функций и идеаторного праксиса, регресса тревожности, депрессии и общей агрессии. У пациентов группы 1 отмечено также улучшение функций речи и снижение уровня общей астении; у пациентов группы 2 — повышение уровня внимания и способности распознавания эмоций. В качестве факторов, негативно влияющих на эффективность реабилитации, у пациентов группы 1 выявлены апатия, тревожность, доинсультное когнитивное снижение, семантическая афазия, снижение внимания; в группе 2 — семантические и зрительно-пространственные нарушения, доинсультное снижение и наличие повторного инсульта.

Заключение. Применение иммерсивной среды в ранней реабилитации пациентов с когнитивными нарушениями способствует улучшению выполнения вербальных и визуальных тестов, отражающих мнестическую, регуляторную и нейродинамическую функции при различной латерализации поражения.

Ключевые слова: ишемический инсульт; когнитивная дисфункция; психоэмоциональные нарушения; виртуальная реальность; нейрокогнитивная реабилитация.

Как цитировать:

Тынтерова А.М. Применение технологий виртуальной реальности в реабилитации пациентов с поражением правого и левого полушария в остром периоде ишемического инсульта // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 2. С. 109–121. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab627186>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab627186>

Application of virtual reality technologies in the rehabilitation of patients with left and right hemisphere lesions in the acute period of ischemic stroke

Anastasiya M. Tynterova

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Currently, neurocognitive rehabilitation with the integration of innovative virtual reality (VR) technologies is the standard component of early rehabilitation treatment programs for patients with acute focal brain damage.

AIM: Based on the statistical methodology, this study aimed to evaluate the efficiency of neurocognitive rehabilitation with the application VR technologies in patients with left and right hemisphere lesions in the acute period of ischemic stroke.

MATERIALS AND METHODS: The study examined 160 patients diagnosed with ischemic stroke exhibiting cognitive impairments. Patients were divided into two groups based on stroke localization: group 1 ($n=80$) had left hemisphere lesions, whereas group 2 ($n=80$) had left hemisphere lesions. Since day 5 of hospitalization, in addition to basic therapy, rehabilitation was performed using a hardware–software multimedia complex based on VR for remote-controlled rehabilitation «Devirta-Delphi». Rehabilitation efficiency (RE) was assessed by testing objectively quantitative measures of accuracy and coordination of movement performance before and after treatment using a Kinect Delphi system. Cognitive and psychoemotional measures were assessed by neuropsychological tests on days 2–4 of hospitalization and at the end of the VR therapy. Mathematical statistics were calculated using Python programming language and its libraries Pandas and SciPy.

RESULTS: Higher RE values were obtained in patients with right-sided stroke. Irrespective of lesion lateralization, significant improvement was noted with respect to mnemonic, executive function, and ideomotor praxis, regression of anxiety, depression, and general aggression. Group 1 also showed an improvement in speech function and a decrease in general asthenia, whereas group 2 showed an increase in attention and emotion recognition ability. Factors that negatively affected RE were identified, namely, apathy, anxiety, prestroke cognitive decline, semantic aphasia, and decreased attention in group 1 and semantic and visual–spatial impairments, prestroke decline, and recurrent stroke in group 2.

CONCLUSION: The application of an immersive environment in the early rehabilitation of patients with cognitive impairment improves the performance of verbal and visual tests reflecting mnemonic, regulatory, and neurodynamic executive functions in lesions with different lateralization.

Keywords: ischemic stroke; cognitive disorders; psychoemotional impairments; virtual reality; neurocognitive rehabilitation.

To cite this article:

Tynterova AM. Application of virtual reality technologies in the rehabilitation of patients with left and right hemisphere lesions in the acute period of ischemic stroke. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(2):109–121. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab627186>

Список сокращений

VR (virtual reality) — виртуальная реальность

ОБОСНОВАНИЕ

Более чем у половины пациентов после перенесённого нарушения мозгового кровообращения сохраняются остаточные проявления различной степени выраженности [1]. Одним из ведущих факторов, затрудняющих социальную адаптацию после инсульта, является полиморфизм когнитивных расстройств, к которым относятся снижение высших мозговых функций, обеспечивающих процессы перцепции, праксиса, речи, памяти, внимания и исполнительной деятельности [2]. Под постинсультными когнитивными нарушениями следует понимать любые когнитивные расстройства, которые выявляются в первые 3 месяца после инсульта (ранние постинсультные когнитивные нарушения) или в более поздние сроки, но не позднее 1 года после инсульта (поздние постинсультные когнитивные нарушения) [3].

В настоящее время стандартным компонентом программ раннего восстановительного лечения пациентов с острым очаговым поражением мозга является нейрокognitive реабилитация с интеграцией инновационных технологий виртуальной реальности (VR, virtual reality), ориентированных на преодоление когнитивного и психоэмоционального дефицита [4]. Продвижение (таргетирование) технологий VR в реабилитацию больных инсультом может быть достигнуто путём соблюдения базисных принципов: персонализированного комплексного подхода, раннего начала, координированной деятельности специалистов различного профиля, преемственности и длительности терапии [5]. Индивидуальный профиль, функциональный ресурс пациента и возможности оценки эффективности реабилитации лежат в основе оптимального планирования восстановительного лечения, ориентированного на достижение краткосрочных и долгосрочных целей согласно принципу целеполагания SMART (specific, measurable, achievable, relevant, time-bound — конкретика, измеримость, достижимость, актуальность и ограниченность по времени) [6].

В Российской Федерации одним из широко используемых продуктов виртуальной реабилитации является отечественный аппаратно-программный мультимедийный комплекс «Девирта — Делфи», предназначенный для дистанционно-контролируемой реабилитации пациентов с когнитивными и двигательными нарушениями (регистрационное удостоверение РЗН 2019/9218 от 13.11.2019). В основе работы программы данного комплекса лежит система распознавания движений с помощью сенсорного датчика, которая реализуется через комплекс упражнений когнитивной и двигательной направленности и позволяет создать полную вовлечённость пациента в процесс

восстановительного лечения. Персонализированная адаптация сценариев с учётом особенностей каждого пациента, разработанная оценочная система, простота использования позволяют рассматривать метод VR как эффективный инструмент для улучшения когнитивных функций, который соответствует важным принципам реабилитации, необходимой пациентам, перенёвшим инсульт [7].

Цель исследования — на основании статистической методологии оценить эффективность нейрокognitive реабилитации с применением технологий виртуальной реальности у пациентов с поражением правого и левого полушария в остром периоде ишемического инсульта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проспективное когортное.

Критерии соответствия

Критерии включения: клинические признаки и симптомы, соответствующие диагнозу «ишемический инсульт в каротидном бассейне»; возраст от 50 до 80 лет; балл по NIHSS ≤ 16 ; ясный уровень сознания пациентов на момент исследования; снижение когнитивной функции (< 25 баллов по шкале MoCA).

Критерии исключения: ранее существующее неврологическое и психиатрическое заболевание, затрудняющее неврологическую и функциональную оценку; декомпенсация коморбидных состояний; геморрагический инсульт и транзиторная ишемическая атака, ишемический инсульт в вертебробазилярном бассейне; грубая моторная и сенсорная афазия.

Критерии невключения: нестабильность общего состояния пациента; мышечная спастичность > 3 баллов по шкале Эшворта; высокий риск падения больного при ходьбе.

Условия проведения

Исследование выполнено на базе неврологического отделения ГБУЗ «Клиническая больница скорой медицинской помощи» (Калининград).

Продолжительность исследования

Исследование проводилось с февраля 2022 по декабрь 2023 года.

Описание медицинского вмешательства

Обследовано 160 пациентов с диагнозом ишемического инсульта, имеющих когнитивное снижение. Локализация

ишемического инсульта оценивалась по данным нейровизуализации.

При поступлении всем пациентам проводилась оценка тяжести инсульта в соответствии со шкалой Национального института здоровья (National Institutes of Health Stroke Scale, NIHSS), степени инвалидизации по модифицированной шкале Рэнкина (Modified Rankin scale, mRS), повседневной активности в соответствии с индексом Бартеля (Barthel Index, BI). В качестве скрининга для оценки наличия когнитивного дефицита использовали Монреальскую когнитивную шкалу (Montreal Cognitive Assessment, MoCA). Начальные ишемические изменения в бассейне средней мозговой артерии оценивались по шкале ASPECTS (Alberta stroke programme early CT score) с использованием метода компьютерной томографии.

Стандартизированные методы обследования включали транскраниальную доплерографию экстра- и интракраниальных сосудов, электрокардиограмму в 12 отведениях, общеклинический и биохимический анализ крови, пульсоксиметрию.

С 5-го дня госпитализации всем пациентам в дополнение к базисной терапии и программе раннего восстановительного лечения (речевая реабилитация) проводилась реабилитация с применением программ аппаратно-программного мультимедийного комплекса для дистанционно-контролируемой реабилитации с использованием VR-технологий «Девирта – Делфи». Нейропсихологическое тестирование с оценкой когнитивного и психоэмоционального статуса проводилось на 2–4-й дни госпитализации и на момент окончания реабилитации.

Программа VR-реабилитации включала выполнение 4 заданий в полуиммерсивном типе погружения, направленных на улучшение психоэмоционального состояния, координации и точности движений, развитие когнитивной сферы, расширение двигательного режима, обучение элементарным двигательным умениям и навыкам. Распознавание движений, возможность выполнения упражнения и контроль положения своего тела, не прибегая к помощи игрового контроллера, реализовывался путём применения визуального сенсора. Все жесты фиксировались с помощью методики «захвата движений» с последующим анализом точности и скорости совершения движений. Блок упражнений предусматривал 5 уровней сложности для пациентов с различной степенью когнитивной и двигательной дисфункции. Уровень подбирался после оценки скринингового выполнения заданий и повышался в процессе прохождения реабилитации в течение 10–11 дней.

Исходы исследования

Основной исход исследования. В качестве исходов настоящего исследования оценивались показатели динамики психоэмоциональных и когнитивных нарушений и параметры объективно измеряемых количественных показателей точности и координации выполнения движений до и после лечения.

Методы регистрации исходов

В начале и в конце исследования проводились контрольные тестирования для оценки изменений основных показателей, произошедших в ходе реабилитации. Использовалось тестирование с помощью системы Kinect Delphi (Девирта) с оценкой объективно измеряемых количественных показателей точности и координации выполнения движений до и после лечения (rehabilitation efficiency, RE).

Оценка динамики нейропсихологических параметров осуществлялась с применением валидных шкал и опросников. Эпизодическая память исследовалась с использованием теста воспроизведения 5 слов, исполнительная функция — с применением теста Струпа, речи — с помощью субшкал MoCA (тесты на повторение двух синтаксически сложных предложений, беглость речи) и оценки семантической афазии (понимание идиом, сложных грамматических конструкций). Для оценки перцепции использовался тест для исследования предметного гнозиса (Бостонский тест называния), тест на распознавание эмоций и оценка симультанной агнозии. С целью оценки праксиса применялись тесты на конструктивный (тест срисовывания 4 геометрических фигур) и идеаторный (выполнение сложных движений, включающих серию простых действий) праксис. Для исследования уровня внимания использовался тест Бурдона. Для выявления когнитивного снижения пациента до инсульта применялся опросник IQCODE (Informant Questionnaire On Cognitive Decline in the Elderly), который позволяет ретроспективно оценить информацию о когнитивных функциях пациента в течение десятилетнего периода. Скрининговое выявление аффективных расстройств осуществлялось с использованием госпитальной шкалы тревоги и депрессии (Hospital Anxiety and Depression Scale, HADS). Для оценки общей астении использовалась шкала MFI-20 (Multidimensional Fatigue Inventory 20), исследование общего уровня постинсультной агрессии проводилось с использованием опросника Басса–Пеппи (Buss–Perry Aggression Questionnaire, BPAQ-24). Уровень апатии исследовался с применением шкалы оценки апатии (Apathy Evaluated Scale, AES).

Этическая экспертиза

Исследование одобрено независимым этическим комитетом Центра клинических исследований ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» (протокол № 2 от 27.04.2021, приложение от 15.01.2022).

Статистический анализ

Размер выборки предварительно не рассчитывался.

Для статистической обработки данных использовали стандартный пакет прикладных программ SPSS Statistics V23.0 for Windows, язык программирования Python, библиотеки Pandas и SciPy. Характер распределения количественных показателей оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка. Количественные показатели, имеющие

нормальное распределение, описывали с помощью средних арифметических величин (М) и стандартных отклонений (SD). Для сравнительного анализа использовался дисперсионный тест ANOVA для зависимых и независимых выборок. Анализ различий частот в двух независимых группах проводили при помощи точного критерия Фишера с двусторонней доверительной вероятностью, критерия χ^2 с поправкой Йейтса. Уровень статистической значимости соответствовал $p < 0,05$. Для множественного сравнения переменных с целью отклонения ложноположительных результатов применяли поправку Бонферрони ($p < 0,0125$). Для оценки связи параметров эффективности реабилитации с нейропсихологическими показателями вычислялся коэффициент корреляции (r) с использованием метода Фехнера. Для данных, имеющих бинарный тип значений, показатели « r » вычисляли при помощи точечно-бисериального метода. Наличие корреляции между величинами подтверждалось, если коэффициент превышал пороговое значение по модулю 0,2. Значимость показателя « r » статистически подтверждалась при помощи вычисления p -значения ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В зависимости от локализации инсульта пациенты ($n=160$) разделены на две основные группы: группа 1 — 80 пациентов с поражением левого полушария головного мозга, из них 38 (47,5%) мужчин, 42 (52,5%) женщины; группа 2 — 80 пациентов с поражением правого полушария головного мозга, из них 36 (45,0%) мужчин, 44 (55,0%) женщины. Средний возраст пациентов составил $66,94 \pm 5,3$ года.

Все пациенты были стандартизированы по демографическим, коморбидным и клинично-функциональным показателям (табл. 1).

На момент проведения исследования состояние всех больных на фоне проведённой базисной терапии расценивалось как удовлетворительное. На момент поступления все пациенты имели умеренную тяжесть инсульта по NIHSS; умеренное ограничение в самообслуживании по IB; умеренное нейрокогнитивное расстройство по шкале

Таблица 1. Клинично-функциональные и демографические показатели ишемического инсульта у пациентов с поражением правого и левого полушария

Table 1. Clinical and demographic parameters of ischemic stroke in patients with right and left hemisphere lesions

Показатель	Группа 1, $n=80$	Группа 2, $n=80$	p
Демографические показатели, n (%), $M \pm \sigma$			
Женщины	42 (52,5)	44 (55,0)	0,751
Мужчины	38 (47,5)	36 (45,0)	0,752
Средний возраст, лет	$66,85 \pm 5,3$	$67,03 \pm 5,6$	0,798
Подтипы ишемического инсульта (критерии TOAST), n (%)			
ИИ вследствие атеросклероза крупных артерий (атеротромботический)	26 (32,5)	28 (35,0)	0,758
ИИ вследствие кардиогенной эмболии (кардиоэмболический)	31 (38,75)	29 (36,25)	0,744
ИИ вследствие окклюзии мелких артерий (лакунарный)	18 (22,5)	10 (12,5)	0,094
ИИ неустановленной этиологии	5 (6,25)	13 (16,25)*	0,045
Нейровизуализация (преморбидный фон), n (%)			
Атрофия коры	16 (20,0)	11 (13,75)	0,299
Лейкоареоз	22 (27,5)	38 (47,5)*	0,0088
Повторный ИИ	9 (11,25)	19 (23,75)*	0,037
Показатели основных клинических шкал, балл, $M \pm \sigma$			
ASPECTS	$8,73 \pm 2,8$	$8,76 \pm 3,1$	0,711
NIHSS	$8,34 \pm 1,8^*$	$5,87 \pm 1,2$	$< 0,0001$
BI	$81,90 \pm 10,9$	$84,70 \pm 9,9$	0,910
IQCODE	$86,50 \pm 9,8^*$	$82,60 \pm 8,9$	0,009
MoCA	$20,89 \pm 2,8$	$21,10 \pm 2,9$	0,568
mRS	$2,74 \pm 1,8$	$2,34 \pm 1,8$	0,087

Примечание. * Различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$). ИИ — ишемический инсульт. TOAST — исследование, на основе которого сформулирована патогенетическая классификация ишемического инсульта с одноименным названием.

Note. * The differences in the indicators are statistically significant ($p < 0.05$). ИИ — ischemic stroke. TOAST (Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment) — a study on the basis of which a pathogenetic classification of ischemic stroke with the same name was formulated.

МоСА. Общий балл по IQCODE в обеих группах соответствовал доинсультным когнитивным нарушениям, выходящим за рамки возрастной нормы. У пациентов с поражением левого полушария отмечался статистически более высокий уровень NIHSS ($p < 0,0001$) и IQCODE ($p = 0,0093$), у пациентов с ишемическим инсультом в правом полушарии чаще встречались неустановленный подтип ишемического инсульта ($p = 0,045$), нейровизуализационные признаки лейкоареоза различной степени ($p = 0,0088$) и повторного ишемического инсульта ($p = 0,0375$). В отношении других признаков статистически значимых отличий по виду инсульта между группами не выявлено ($p > 0,05$).

Основные результаты исследования

У пациентов обеих групп наиболее выраженные изменения отмечались в отношении памяти, перцепции, исполнительной и речевой функции. Сравнительный анализ выявил статистически значимое снижение памяти у пациентов группы 1 ($p = 0,010$) и распознавания эмоций у пациентов группы 2 ($p = 0,038$). Неглект-синдром выявлен у 7 (8,75%) пациентов с ишемическим инсультом в правой гемисфере.

У всех пациентов выявлены умеренный уровень агрессии (41–60%), субклиническая депрессия (8–10 баллов по HADS), умеренный уровень апатии (18–31 балл по AES) и астенический синдром (> 12 баллов по MFI-20). Уровень тревожности расценивался как субклинический (8–10 баллов по HADS) у пациентов группы 2 и как клинический (> 11 баллов по HADS) у пациентов группы 1. Статистически

значимыми признаками отличия ($p < 0,05$) в психоэмоциональной сфере пациентов с различной латерализацией поражения являлся уровень апатии ($p = 0,0030$) и тревожности ($p = 0,0006$) у пациентов группы 1, уровень депрессии ($p = 0,0001$) — у пациентов группы 2 (табл. 2).

При проведении множественного анализа динамики когнитивных нарушений у пациентов с различной латерализацией поражения на фоне проводимой терапии значимое улучшение в отношении памяти ($p < 0,0001$, $p = 0,0048$), исполнительной функции ($p < 0,0001$) и идеаторного праксиса ($p = 0,0004$, $p = 0,0009$) было отмечено в обеих группах. У пациентов с ишемическим инсультом в левой гемисфере улучшение когнитивных функций также было выявлено в сфере речи ($p = 0,0002$), у пациентов с ишемическим инсультом в правой гемисфере — в отношении внимания ($p = 0,0104$) и распознавания эмоций ($p = 0,001$).

Анализ показателей психоэмоционального статуса до и после VR-реабилитации выявил значимый регресс ($p < 0,0001$) тревожности, депрессии и общей агрессии (BPAQ-24) вне зависимости от стороны ишемического инсульта. У пациентов группы 1 также было выявлено значительное снижение общей астении в сравнении как с исходными значениями ($p = 0,0008$), так и показателями пациентов группы 2 на момент окончания терапии ($p = 0,0073$). Показатели эффективности реабилитации (rehabilitation effectiveness, RE) были выше у пациентов группы 2 в отношении динамики внутри группы ($p < 0,0001$) и в сравнении с RE в группе 1 ($p = 0,0122$, табл. 3).

Таблица 2. Показатели нейропсихологического тестирования у пациентов с поражением правого и левого полушария

Table 2. Neuropsychological testing indicators in patients with right and left hemisphere lesions

Домен	Группа 1, n=80	Группа 2, n=80	p
Речь	1,94±0,7	2,04±1,0	0,465
Память	1,28±0,5*	1,54±0,9	0,010
Исполнительная функция	6,79±1,3	7,03±1,3	0,244
Внимание	3,89±1,6	4,20±1,0	0,144
Восприятие	21,35±3,2	21,41±3,0	0,903
Конструктивный праксис	4,35±1,4	4,08±1,6	0,257
Идеаторный праксис	4,06±0,9	4,19±1,1	0,414
Симультанный гнозис	0,65±0,7	0,68±0,8	0,801
Семантическая обработка информации	2,36±1,3	2,02±1,2	0,087
Распознавание эмоций	2,45±1,5	2,03±1,0*	0,038
Депрессия	8,20±1,8	9,68±1,7*	0,0001
Тревожность	11,78±4,3*	9,51±3,9	0,0006
Апатия	22,29±7,9*	18,71±7,1	0,0030
Общая астения	12,03±2,4	12,55±2,2	0,155
Общая агрессия	59,83±9,9	60,99±10,8	0,479

Примечание. * Различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$).

Note. * The differences are statistically significant ($p < 0.05$).

Таблица 3. Динамика показателей когнитивной и психоэмоциональной функции у пациентов с поражением правого и левого полушария, $M \pm \sigma$, балл**Table 3.** Dynamics of cognitive and psychoemotional function indicators in patients with right and left hemisphere lesions, $M \pm \sigma$ (scores)

Показатель	Группа 1, $n=80$		Группа 2, $n=80$		p
	До лечения	После лечения	До лечения	После лечения	
Речь	1,94±0,7	2,53±1,2	2,04±1,0	2,49±1,8	P1=0,0002* P2=0,0524 P3=0,868
Память	1,28±0,5	2,47±1,8	1,54±0,9	2,27±2,1	P1 <0,0001* P2=0,0048* P3=0,518
Исполнительная функция	6,79±1,3	9,74±1,2	7,03±1,3	10,18±1,6	P1 <0,0001* P2 <0,0001* P3=0,0212
Внимание	3,89±1,6	4,43±1,4	4,20±1,0	4,59±0,9	P1=0,0244 P2=0,0104* P3=0,391
Восприятие	21,35±3,2	22,38±3,1	21,41±3,0	22,50±3,5	P1=0,0403 P2=0,0360 P3=0,818
Конструктивный праксис	4,35±1,4	4,74±1,5	4,08±1,6	4,66±1,5	P1=0,091 P2=0,019 P3=0,736
Идеаторный праксис	4,06±0,9	4,64±1,1	4,19±1,1	4,75±1,0	P1=0,0004* P2=0,0009* P3=0,509
Симультанный гнозис	0,65±0,7	0,68±1,4	0,68±0,8	0,69±0,9	P1=0,707 P2=0,839 P3=0,953
Семантическая обработка информации	2,36±1,3	2,63±2,1	2,02±1,2	2,21±1,9	P1=0,329 P2=0,450 P3=0,186
Распознавание эмоций	2,45±1,5	2,63±2,0	2,03±1,0	2,60±0,8	P1=0,520 P2=0,001* P3=0,901
Депрессия	8,20±1,8	4,89±1,8	9,68±1,7	7,39±1,9	P1 <0,0001* P2 <0,0001* P3 <0,0001*
Тревожность	11,78±4,3	5,21±4,3	9,51±3,9	6,05±3,9	P1 <0,0001* P2 <0,0001* P3=0,197
Апатия	22,29±7,9	23,48±7,6	18,71±7,1	17,76±6,9	P1=0,333 P2=0,391 P3=0,0001*
Общая астения	12,03±2,4	11,01±2,4	12,55±2,2	12,02±2,3	P1=0,0080* P2=0,138 P3=0,0073*
Общая агрессия	59,83±9,9	50,74±9,0	60,99±10,8	49,06±7,8	P1 <0,0001* P2 <0,0001* P3=0,458
RE	8,16±7,2	10,45±5,5	9,77±2,3	12,14±2,3	P1=0,0251 P1 <0,0001* P3=0,0122*

Примечание. * Различия показателей статистически значимы ($p < 0,0125$ с поправкой Бонферрони). P1 и P2 — показатель статистического отличия между параметрами до и после лечения в группах 1 и 2; P3 — показатель статистического отличия параметров между группами после лечения. RE — эффективность реабилитации.

Note. * The differences between the parameters are statistically significant ($p < 0.0125$ with Bonferroni correction). P1 and P2 — significant difference between the parameters before and after treatment in groups 1 and 2; P3 — significant difference between the parameters between the groups after treatment. RE — rehabilitation effectiveness.

Корреляционный анализ RE с различными доменами нейропсихологического статуса пациентов группы 1 выявил отрицательную корреляцию с нарушениями речи ($r=-0,472$; $p<0,001$), идеаторной апраксией ($r=-0,364$; $p=0,006$), уровнем апатии ($r=-0,336$; $p<0,001$) и степенью IQCODE ($r=-0,322$; $p<0,001$). Положительные взаимоотношения были продемонстрированы с показателями исполнительной дисфункции ($r=0,315$; $p=0,003$), снижением внимания ($r=0,382$; $p<0,001$) и уровнем общей агрессии ($r=0,315$; $p<0,001$) (рис. 1).

У пациентов группы 2 отрицательная корреляция RE отмечена с нарушением распознавания эмоций ($r=-0,415$; $p<0,001$), зрительной агнозией ($r=-0,215$; $p=0,001$), наличием повторного инсульта в анамнезе ($r=-0,215$; $p<0,001$) и степенью IQCODE ($r=-0,394$; $p<0,001$). Положительная корреляция была выявлена с параметрами симультанного гнозиса ($r=0,294$; $p<0,001$), семантической обработки информации ($r=0,433$; $p=0,02$), конструктивной праксиса ($r=0,349$; $p<0,001$) и уровнем депрессии ($r=0,260$; $p=0,007$) (рис. 2).

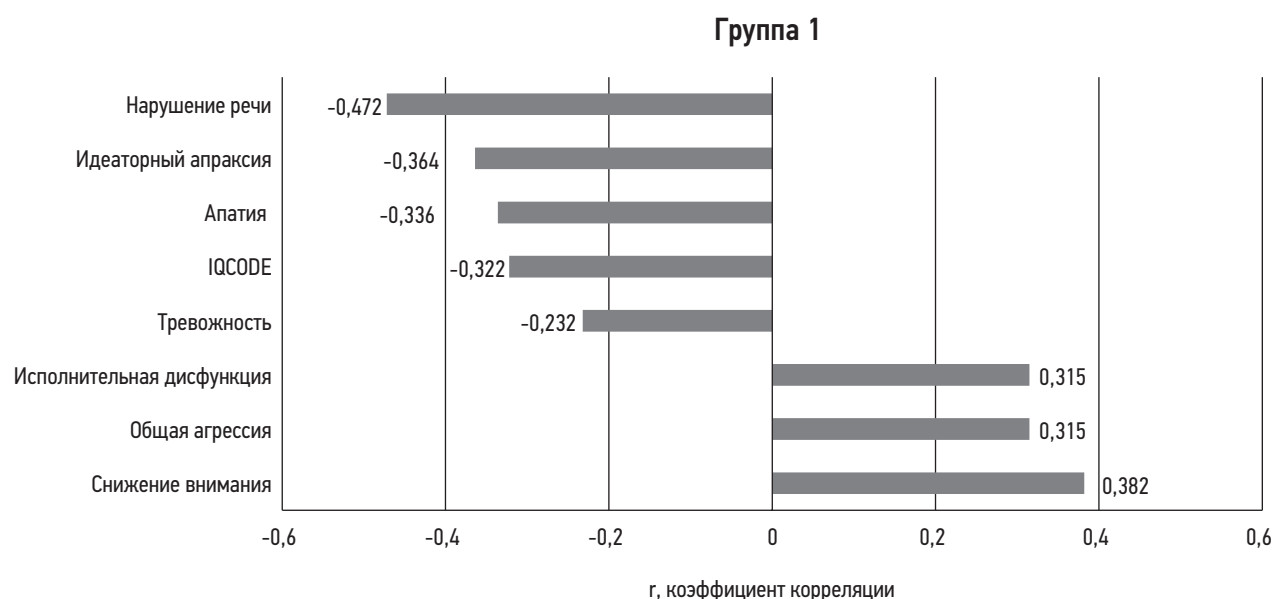


Рис. 1. Корреляция показателя эффективности реабилитации (RE) с нейропсихологическими показателями пациентов с ишемическим инсультом в левой гемисфере.

Fig. 1. Correlation of rehabilitation effectiveness (ER) with neuropsychological indicators in patients with left-sided ischemic stroke.

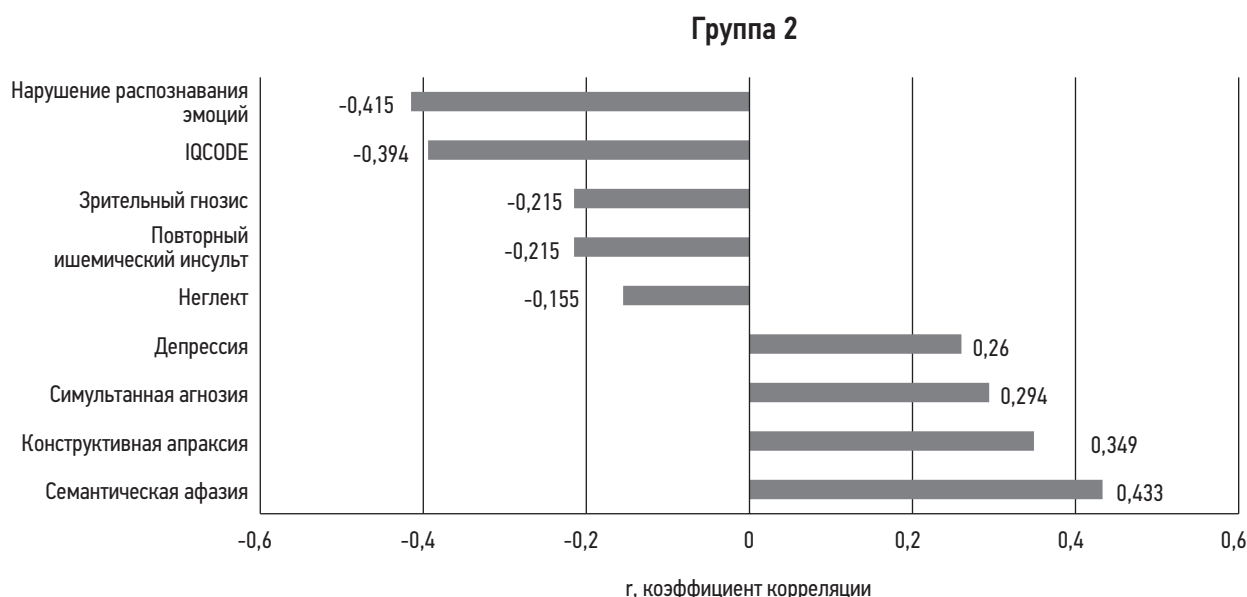


Рис. 2. Корреляция показателя эффективности реабилитации (RE) с нейропсихологическими показателями пациентов с ишемическим инсультом в правой гемисфере.

Fig. 2. Correlation of rehabilitation effectiveness (ER) with neuropsychological indicators of patients with right-sided ischemic stroke.

Нежелательные явления

В ходе исследования развития нежелательных явлений не отмечено.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Данные настоящего исследования демонстрируют гетерогенность когнитивных нарушений и полиморфизм факторов, влияющих на эффективность применения VR-терапии у пациентов с поражением правой и левой гемисферы в остром периоде ишемического инсульта.

Обсуждение основного результата исследования

Одним из признаков когнитивного снижения при локальных поражениях полушарий головного мозга являются афатические нарушения, включающие снижение беглости речи и семантической обработки информации. Незначительное снижение речевой функции связано с поражением структур обоих полушарий, вовлечённых в речевую деятельность. Помимо классических центров левого полушария, в формировании речи важную роль играют и другие области головного мозга, локализованные в правой гемисфере. Поражение правого полушария ведёт к развитию прагматического дефицита, трудностям восприятия образных речевых сигналов и проблемам с языковыми задачами высокого уровня, которые относятся к семантической и лексической обработке [8].

Снижение исполнительной функции и внимания является одним из частых проявлений когнитивного дефицита в остром периоде ишемии, представленным в настоящем исследовании у всех пациентов с постинсультными когнитивными нарушениями. С одной стороны, это связано с поражением передних отделов головного мозга и нарушением лобно-подкорковых взаимоотношений, анатомически и функционально связанных с данными когнитивными функциями [9]. С другой стороны, снижение регуляторных и нейродинамических функций является облигатным компонентом доинсультного когнитивного снижения сосудистой природы, трактуемое в настоящее время как церебральная микроангиопатия или болезнь мелких сосудов [10]. Преимущественное снижение памяти у пациентов с ишемическим поражением доминантного полушария связано с вовлечением в патологический процесс областей, ассоциированных как с модально-неспецифическими, так и модально-специфическими аспектами мнестической функции, в то время как мнестическая дисфункция у пациентов с поражением правого полушария в большей степени носит неспецифический характер и связана с развитием ишемии структур, участвующих в когнитивных процессах формирования произвольной памяти и воспроизведения информации (диэнцефальные, медиобазальные области, гиппокамп) [11].

При оценке реальной распространённости и структуры мнестических нарушений в остром периоде инсульта надо принимать во внимание также преморбидное снижение, что в настоящем исследовании подтверждается уровнем IQCODE, который соответствует наличию доинсультного когнитивного дефицита у пациентов обеих групп [12]. Значимым признаком в структуре когнитивного дефицита у пациентов с поражением правой гемисферы является нарушение зрительного распознавания эмоциональных переживаний преимущественно за счёт узнавания позитивных эмоций по схематическому изображению. Данные результаты соответствуют современным представлениям о дефиците как восприятия позитивных и негативных эмоций в качестве коррелята ишемического поражения правой гемисферы, так и роли субдоминантного полушария в процессах эмоционального контроля [13, 14].

Психоземональные расстройства являются неотъемлемым компонентом ранних постинсультных когнитивных нарушений с превалированием мотивационных нарушений и тревожности у пациентов с левосторонним поражением, депрессии — у пациентов с ишемическим инсультом в правой гемисфере. Настоящие результаты соответствуют данным крупномасштабных популяционных исследований, демонстрирующих высокую распространённость постинсультной депрессии, тревожности, апатии и агрессивного поведения и у пациентов, перенёсших инсульт [15, 16]. В работе отмечено также негативное влияние уровня апатии и тревожности на регресс двигательного и когнитивного дефицита у пациентов с поражением левой гемисферы, что соответствует выявленной отрицательной корреляции.

Результаты демонстрируют улучшение всех исследуемых нейропсихологических параметров на фоне проводимой VR-терапии у пациентов в остром периоде ишемического инсульта. Независимо от латерализации поражения, значимое улучшение было отмечено в отношении мнестической, исполнительной функции и идеаторного праксиса, регресса тревожности, депрессии и общей агрессии. У пациентов с ишемическим инсультом в левой гемисфере также было отмечено улучшение функций речи и снижение уровня общей астении; у пациентов с ишемическим инсультом в правой гемисфере — повышение уровня внимания и способности распознавания эмоций.

Положительная динамика в отношении показателей идеаторного праксиса и исполнительной функции связана с действием кинематической составляющей программ VR, которая обеспечивает стимуляцию моторно-когнитивных и коммуникативных процессов, что даёт возможность пациентам управлять виртуальной средой, инициировать и планировать автоматические целенаправленные двигательные реакции [17, 18]. Мультисенсорная стимуляция, ориентированная на решение задач различной модальности (планирование, смена установок), играет роль в восстановлении исполнительной функции и кратковременной зрительно-пространственной памяти [19]. Интеграция

лингвистической составляющей (поиск слов, понимание инструкций, вербальная коммуникация) в мультисенсорную стимуляцию с использованием программ VR способствует восстановлению речевых навыков [20]. Более значимые показатели эффективности восстановления речевой функции у пациентов с поражением левого полушария связаны с комплексным подходом в ранней нейрокогнитивной реабилитации, включающим, помимо VR-терапии, классические логопедические занятия.

Сочетание различных траекторий восстановительного лечения пациентов с афатическими нарушениями необходимо с учётом формирования структуры речевого дефицита у пациентов с левополушарным инсультом за счёт суммирования поражений речевых центров доминантного полушария и структур, принимающих участие в лексико-семантической обработке информации. Эффективность влияния VR-терапии на восстановление уровня внимания и способность распознавания эмоций у пациентов с правополушарным инсультом имеет ряд объяснений. Во-первых, непосредственное влияние виртуального пространства на сенсорные каналы при полном или частичном погружении пациента в виртуальную среду положительно отражается на функциях внимания и перцепции при выполнении зрительно-проприоцептивных задач [21]. Во-вторых, более низкий уровень апатии у пациентов с поражением правого полушария способствует большей вовлечённости и интересу пациентов к среде виртуальной реальности и активному участию в программе, приводя к улучшению зрительного восприятия и нейродинамических функций. В-третьих, игровая иммерсивная терапия потенцирует позитивные эмоции пациента, что, учитывая коморбидность депрессии и нарушенного распознавания положительных лицевых стимулов у пациентов с поражением правой гемисферы, способствует улучшению настроения и правильного восприятия экспрессии лицевых эмоций [22].

Результаты исследования демонстрируют более высокие показатели эффективности реабилитации у пациентов с правосторонним инсультом, что свидетельствует о влиянии латерализации поражения на процессы восстановления пациента в остром периоде ишемии. В качестве факторов, негативно влияющих на динамику восстановления когнитивных и психоэмоциональных функций у пациентов с левосторонним инсультом, выявлены расстройства внимания, клиническая тревожность, уровень апатии и степень тяжести неврологического дефицита, более выраженные в сравнении с пациентами с поражением правой гемисферы. Постинсультная апатия, тесно связанная с тяжестью ишемического инсульта и когнитивной дисфункцией, проявляется снижением мотивации, интереса и эмоционального ответа, что приводит к потере инициативы, социально-психологической дезадаптации и отрицательно влияет на эффективность восстановительной терапии. Постинсультная тревога затрагивает практически все сферы жизнедеятельности пациента, перенёсшего

инсульт, ухудшает качество социального функционирования пациента, снижает адаптационные возможности и приверженность к терапии [23]. Показатели зрительного внимания являются базовой функцией, определяющей перспективы восстановления при использовании иммерсивных систем. Исходно сниженный уровень внимания у пациентов с поражением левой гемисферы способствовал более низкой концентрации при выполнении задач в рамках заданного сценария, что отразилось на конечной оценке эффективности реабилитации.

С учётом положительной динамики восстановления функций внимания у пациентов обеих групп возможным решением является изменение способа погружения и увеличение сеансов проводимой VR-реабилитации для пациентов с исходным низким уровнем нейродинамических функций.

Отсутствие убедительных данных о влиянии виртуальной среды на степень восстановления синдрома неглекта в настоящем исследовании связано с недостаточностью выборки данных пациентов и стандартным использованием VR-программ без учёта игнорирования у пациентов с ишемическим инсультом в правой теменно-затылочной области. Таким образом, необходимы дальнейшие исследования с внедрением сценариев VR для пациентов с односторонним игнорированием зрительных стимулов с последующей оценкой влияния иммерсивной среды на динамику показателей зрительно-пространственных функций пациентов с синдромом неглекта [24].

Оценка динамики когнитивных нарушений на фоне проводимой VR-терапии выявила недостаточное улучшение в отношении семантической обработки информации, конструктивного праксиса, симультанного и зрительного гнозиса у пациентов обеих групп и негативное влияние данных расстройств в совокупности с показателем IQCODE на эффективность реабилитации. Учитывая значительное место семантических и зрительно-пространственных нарушений в структуре деменций нейродегенеративной природы, подобные результаты можно рассматривать с позиции формирования определённого фенотипа постинсультного когнитивного нарушения в рамках смешанной деменции, в настоящее время рассматриваемой как болезнь Альцгеймера с цереброваскулярным заболеванием и наличием проявлений нейродегенеративного и цереброваскулярного заболевания, тесно связанных между собой [25, 26].

Другим немаловажным предиктором недостаточной эффективности реабилитации у пациентов с поражением правой гемисферы является множественное очаговое поражение серого и белого вещества головного мозга при повторных инсультах, как клинически явных, так и «немых», выявляемых по данным нейровизуализации [27].

Отрицательная корреляция показателя RE с нарушениями речи и идеаторной апраксией у пациентов с поражением в левой гемисфере и нарушениями перцепции (распознавание эмоций, зрительный гнозис) у больных

с ишемическим инсультом в правом полушарии демонстрирует целесообразность применения выбранных программ VR в нейрокогнитивной реабилитации пациентов с различной латерализацией ишемического инсульта, имеющих данный когнитивный дефицит. Полученные результаты также соответствуют показателям положительной динамики данных когнитивных функций. Положительная корреляция RE с психоэмоциональными доменами демонстрирует эффективность использования иммерсионной среды в реабилитации пациентов с депрессией с правосторонним поражением и общей агрессией — с левосторонним инсультом. Полученные результаты соответствуют данным других работ, в которых отражена эффективность использования различных программ VR в терапии аффективных, мотивационных и астенических нарушений [28, 29].

Ограничения исследования

Основным ограничением настоящего исследования являются недостаточная выборка больных с синдромом неглекта и лимитированное применение программ АПК «Девирта – Делфи»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У пациентов с поражением правого и левого полушария в остром периоде ишемического инсульта отмечается амнестический мультифункциональный тип умеренных когнитивных расстройств, характеризующийся нарушением в сферах перцепции и речи, снижением памяти, регуляторных и нейродинамических функций. Латерализация ишемического инсульта отражается на структуре когнитивного дефицита с формированием определённого фенотипа когнитивных нарушений, характеризующегося

преимущественным проявлением мнестических нарушений у пациентов с левосторонним инсультом и снижения распознавания эмоций у больных ишемическим инсультом в правой гемисфере. Применение иммерсивной среды в ранней реабилитации пациентов с когнитивными нарушениями способствует улучшению выполнения вербальных и визуальных тестов, отражающих мнестическую, регуляторную и нейродинамическую функции.

Семантическая афазия, конструктивная апраксия, наличие повторного ишемического инсульта в анамнезе, левосторонняя локализация поражения, тревожность и мотивационные нарушения в совокупности с преморбидным когнитивным снижением негативно отражаются на эффективности VR-терапии. В связи с этим при разработке траекторий VR-реабилитации пациентов с семантическим и зрительно-пространственным дефицитом, имеющих высокий уровень тревожности и апатии, рекомендуется персонализированный подход с коррекцией времени и типа погружения в виртуальную среду.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Исследование проведено в рамках проекта «Приоритет 2030» Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта.

Конфликт интересов. Автор подтверждает отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The study was conducted within the framework of the project "Priority 2030" of the Immanuel Kant Baltic Federal University.

Competing interests. The author declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключихина О.А., Шпрах В.В., Стаховская Л.В., и др. Динамика показателей заболеваемости инсультом и смертности от него за восьмилетний период на территориях, вошедших в федеральную программу реорганизации помощи пациентам с инсультом // *Acta Biomed Sci.* 2021. Т. 6, № 1. С. 75–80. EDN: WPNTHD doi: 10.29413/ABS.2021-6.1.10
2. Вербицкая С.В., Парфенов В.А., Решетников В.А., и др. Постинсультные когнитивные нарушения (результаты 5-летнего наблюдения) // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика.* 2018. Т. 10, № 1. С. 37–42. EDN: URIJOY doi: 10.14412/2074-2711-2018-1-37-42
3. Einstad M.S., Saltvedt I., Lydersen S., et al. Associations between post-stroke motor and cognitive function: A cross-sectional study // *BMC Geriatr.* 2021. Vol. 21, N 1. P. 103. EDN: PYLLQX doi: 10.1186/s12877-021-02055-7
4. Карпов О.Э., Даминов В.Д., Новак Э.В., и др. Технологии виртуальной реальности в медицинской реабилитации как пример современной информатизации здравоохранения // *Вестник Национального медико-хирургического центра*

им. Н.И. Пирогова. 2020. Т. 15, № 1. С. 89–98. EDN: BOJWKM doi: 10.25881/BPNMSC.2020.71.14.017

5. Иванова Г.Е., Бодрова Р.А., Буйлова Т.В., и др. Алгоритм формулирования реабилитационного диагноза с помощью Международной классификации функционирования пациента, перенесшему инсульт: клинический случай // *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация.* 2022. Т. 4, № 1. С. 37–54. EDN: FLURCZ doi: 10.36425/rehab96918

6. Герасимова Г.В., Струкова Н.В., Курдыбайло С.Ф., и др. Применение SMART-подхода, оценка достижения целей в процессе реабилитации пациентов // *Физическая и реабилитационная медицина.* 2021. Т. 3, № 4. С. 41–48. EDN: MNQQTZ doi: 10.26211/2658-4522-2021-3-4-41-48

7. Костенко Е.В., Петрова Л.В., Погонченкова И.В., и др. Виртуальная реальность как технология мультимодальной коррекции постинсультных двигательных и когнитивных нарушений в условиях многозадачности функционирования (обзор литературы) // *Российский медицинский журнал.* 2022. Т. 28, № 5. С. 381–394. EDN: KTQSIM doi: 10.17816/medjrf112059

8. Gajardo-Vidal A., Lorca-Puls D.L., Hope T.M., et al. How right hemisphere damage after stroke can impair speech comprehension // *Brain*. 2018. Vol. 141, N 12. P. 3389–3404. doi: 10.1093/brain/awy270
9. Lugtmeijer S., Lammers N.A., de Haan E.H., et al. Post-stroke working memory dysfunction: A meta-analysis and systematic review // *Neuropsychol Rev*. 2021. Vol. 31, N 1. P. 202–219. EDN: AYQEXS doi: 10.1007/s11065-020-09462-4
10. Локшина А.Б., Гришина Д.А., Захаров В.В. Сосудистые когнитивные нарушения: вопросы диагностики и лечения // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2023. Т. 15, № 2. С. 106–113. EDN: OAXYQT doi: 10.14412/2074-2711-2023-2-106-113
11. O'Sullivan M.J., Li X., Galligan D., Pendlebury S.T. Cognitive recovery after stroke: Memory // *Stroke*. 2023. Vol. 54, N 1. P. 44–54. EDN: KTIPIE doi: 10.1161/STROKEAHA.122.041497
12. Старчина Ю.А. Когнитивные нарушения после инсульта // *Медицинский совет*. 2017. № 15. С. 27–32. EDN: XUYAUR doi: 10.21518/2079-701X-2017-0-27-32
13. Народова Е.А., Шнайдер Н.А., Народова В.В., и др. Роль специализации полушарий головного мозга в эмоциональном контроле // *Доктор Рю*. 2020. Т. 19, № 4. С. 23–28. EDN: HVEPYX doi: 10.31550/1727-2378-2020-19-4-23-28
14. O'Connell K., Marsh A.A., Edwards D.F., et al. Emotion recognition impairments and social well-being following right-hemisphere stroke // *Neuropsychol Rehab*. 2022. Vol. 32, N 7. P. 1337–1355. doi: 10.1080/09602011.2021.1888756
15. Cai W., Mueller C., Li Y.J., et al. Post stroke depression and risk of stroke recurrence and mortality: A systematic review and meta-analysis // *Ageing Res Rev*. 2019. N 50. P. 102–109. doi: 10.1016/j.arr.2019.01.013
16. Tay J., Morris R.G., Markus H.S. Apathy after stroke: Diagnosis, mechanisms, consequences, and treatment // *Int J Stroke*. 2021. Vol. 16, N 5. P. 510–518. doi: 10.1177/1747493021990906
17. Liu Y., Tan W., Chen C., et al. A review of the application of virtual reality technology in the diagnosis and treatment of cognitive impairment // *Front Aging Neurosci*. 2019. N 11. P. 280. doi: 10.3389/fnagi.2019.00280
18. Park W., Kim J., Kim M. Efficacy of virtual reality therapy in ideomotor apraxia rehabilitation: A case report // *Medicine (Baltimore)*. 2021. Vol. 100, N 28. P. e26657. doi: 10.1097/MD.00000000000026657
19. Demeco A., Zola L., Frizziero A., et al. Immersive virtual reality in post-stroke rehabilitation: A systematic review // *Sensors (Basel)*. 2023. Vol. 23, N 3. P. 1712. EDN: JUYXAW doi: 10.3390/s23031712
20. Giachero A., Calati M., Pia L., et al. Conversational therapy through semi-immersive virtual reality environments for language recovery and psychological well-being in post stroke aphasia // *Behav Neurol*. 2020. Vol. 2020. P. 2846046. EDN: BYVAHO doi: 10.1155/2020/2846046
21. Patsaki I., Dimitriadi N., Despoti A., et al. The effectiveness of immersive virtual reality in physical recovery of stroke patients: A systematic review // *Front Syst Neurosci*. 2022. N 16. P. 880447. EDN: JMRIFL doi: 10.3389/fnsys.2022.880447
22. Marín-Morales J., Llinares C., Guixeres J., et al. Emotion recognition in immersive virtual reality: From statistics to affective computing // *Sensors (Basel)*. 2020. Vol. 20, N 18. P. 5163. EDN: AMMKCA doi: 10.3390/s20185163
23. Li W., Xiao W.M., Chen Y.K., et al. Anxiety in patients with acute ischemic stroke: Risk factors and effects on functional status // *Front Psychiatry*. 2019. N 10. P. 257. doi: 10.3389/fpsyt.2019.00257
24. Zhang T., Liu W., Bai Q., et al. Virtual reality technology in the rehabilitation of post-stroke cognitive impairment: An opinion article on recent findings // *Front Psychol*. 2023. N 14. P. 1271458. EDN: VZXBOY doi: 10.3389/fpsyg.2023.1271458
25. Чердак М.А. Смешанная деменция у пациента, перенесшего инсульт // *Российский журнал гериатрической медицины*. 2020. № 3. С. 236–242. EDN: NTHOUX doi: 10.37586/2686-8636-3-2020-236-242
26. Pinho J., Quintas-Neves M., Dogan I., et al. Incident stroke in patients with Alzheimer's disease: Systematic review and meta-analysis // *Sci Rep*. 2021. Vol. 11, N 1. P. 16385. doi: 10.1038/s41598-021-95821-x
27. Парфенов В.А. Сосудистые когнитивные нарушения и хроническая ишемия головного мозга (дисциркуляторная энцефалопатия) // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2019. Т. 11, № S3. С. 61–67. EDN: KWRPMJ doi: 10.14412/2074-2711-2019-3S-61-67
28. Donnelly M.R., Reinberg R., Ito K.L., et al. Virtual reality for the treatment of anxiety disorders: A scoping review // *Am J Occup Ther*. 2021. Vol. 75, N 6. P. 7506205040. doi: 10.5014/ajot.2021.046169
29. De Luca R., Torrisi M., Piccolo A., et al. Improving post-stroke cognitive and behavioral abnormalities by using virtual reality: A case report on a novel use of nirvana // *Appl Neuropsychol Adult*. 2018. Vol. 25, N 6. P. 581–585. doi: 10.1080/23279095.2017.1338571

REFERENCES

1. Klochikhina OA, Shprakh VV, Stakhovskaya LV, et al. Dynamics of stroke incidence and mortality indicators over eight-year period in the territories included into the federal program of reorganization of care for patients with stroke. *Acta Biomed Sci*. 2021;6(1):75–80. EDN: WPNTHD doi: 10.29413/ABS.2021-6.1.10
2. Verbitskaya SV, Parfenov VA, Reshetnikov VA, et al. Post-stroke cognitive impairment (results of a 5-year follow-up). *Neurol Neuropsychiatry Psychosom*. 2018;10(1):37–42. EDN: URIJOY doi: 10.14412/2074-2711-2018-1-37-42
3. Einstad MS, Saltvedt I, Lydersen S, et al. Associations between post-stroke motor and cognitive function: A cross-sectional study. *BMC Geriatr*. 2021;21(1):103. EDN: PYLLQX doi: 10.1186/s12877-021-02055-7
4. Karpov OE, Daminov VD, Novak EV, et al. Virtual reality technologies in medical rehabilitation as an example of modern health informatization. *Bull Pirogov National Med Surg Center*. 2020;15(1): 89–98. EDN: BOJWKM doi: 10.25881/BPNMSC.2020.71.14.017
5. Ivanova GE, Bodrova RA, Builova TV, et al. Algorithm for formulation a rehabilitation diagnosis using the international classification of functioning in a patient with a stroke: Clinical case. *Fizicheskaya i reabilitatsionnaya meditsina, meditsinskaya reabilitatsiya*. 2022;4(1):37–54. EDN: FLURCZ doi: 10.36425/rehab96918
6. Gerasimova GV, Strukova NV, Kurdybailo SF, et al. Application of smart-approach, evaluation of goals in the patients rehabilitation. *Physical Rehabilitation Med*. 2021;3(4):41–48. EDN: MNQQTZ doi: 10.26211/2658-4522-2021-3-4-41-48

7. Kostenko EV, Petrova LV, Pogonchenkova IV, et al. Virtual reality as a technology of multimodal correction of post-stroke motor and cognitive disturbances in conditions of multitasking functioning (literature review). *Med J Russian Federation*. 2022;28(5):381–394. EDN: KTQSIM doi: 10.17816/medjrf112059
8. Gajardo-Vidal A, Lorca-Puls DL, Hope TM, et al. How right hemisphere damage after stroke can impair speech comprehension. *Brain*. 2018;141(12):3389–3404. doi: 10.1093/brain/awy270
9. Lugtmeijer S, Lammers NA, de Haan EH, et al. Post-stroke working memory dysfunction: A meta-analysis and systematic review. *Neuropsychol Rev*. 2021;31(1):202–219. EDN: AYQEXS doi: 10.1007/s11065-020-09462-4
10. Lokshina AB, Grishina DA, Zakharov VV. Vascular cognitive impairment: Issues of diagnosis and treatment. *Neurol Neuropsych Psychosomat*. 2023;15(2):106–113. EDN: OAXYQT doi: 10.14412/2074-2711-2023-2-106-113
11. O'Sullivan MJ, Li X, Galligan D, Pendlebury ST. Cognitive recovery after stroke: Memory. *Stroke*. 2023;54(1):44–54. EDN: KTIPTNE doi: 10.1161/STROKEAHA.122.041497
12. Starchina YA. Cognitive disorder after stroke. *Medical council*. 2017;(1S):27–32. EDN: XUYAUR doi: 10.21518/2079-701X-2017-0-27-32
13. Narodova EA, Shnayder NA, Narodova VV, et al. The role of brain hemispheric specialization in emotional regulation. *Doktor Ru*. 2020; 19(4):23–28. EDN: HVEPYX doi: 10.31550/1727-2378-2020-19-4-23-28
14. O'Connell K, Marsh AA, Edwards DF, et al. Emotion recognition impairments and social well-being following right-hemisphere stroke. *Neuropsychol Rehab*. 2022; 32(7):1337–1355. doi: 10.1080/09602011.2021.1888756
15. Cai W, Mueller C, Li YJ, et al. Post stroke depression and risk of stroke recurrence and mortality: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2019; 50:102–109. doi: 10.1016/j.arr.2019.01.013
16. Tay J, Morris RG, Markus HS. Apathy after stroke: Diagnosis, mechanisms, consequences, and treatment. *Int J Stroke*. 2021; 16(5):510–518. doi: 10.1177/1747493021990906
17. Liu Y, Tan W, Chen C, et al. A review of the application of virtual reality technology in the diagnosis and treatment of cognitive impairment. *Front Aging Neurosci*. 2019;(11):280. doi: 10.3389/fnagi.2019.00280
18. Park W, Kim J, Kim M. Efficacy of virtual reality therapy in ideomotor apraxia rehabilitation: A case report. *Medicine (Baltimore)*. 2021;100(28):e26657. doi: 10.1097/MD.00000000000026657
19. Demeco A, Zola L, Frizziero A, et al. Immersive virtual reality in post-stroke rehabilitation: A systematic review. *Sensors (Basel)*. 2023;23(3):1712. EDN: JUYXAW doi: 10.3390/s23031712
20. Giachero A, Calati M, Pia L, et al. Conversational therapy through semi-immersive virtual reality environments for language recovery and psychological well-being in post stroke aphasia. *Behav Neurol*. 2020;2020:2846046. EDN: BYVAHO doi: 10.1155/2020/2846046
21. Patsaki I, Dimitriadi N, Despoti A, et al. The effectiveness of immersive virtual reality in physical recovery of stroke patients: A systematic review. *Front Syst Neurosci*. 2022;(16):880447. EDN: JMRIFL doi: 10.3389/fnsys.2022.880447
22. Marín-Morales J, Llinares C, Guixeres J, et al. Emotion recognition in immersive virtual reality: From statistics to affective computing. *Sensors (Basel)*. 2020;20(18):5163. EDN: AMMKCA doi: 10.3390/s20185163
23. Li W, Xiao WM, Chen YK, et al. Anxiety in patients with acute ischemic stroke: Risk factors and effects on functional status. *Front Psychiatry*. 2019;(10):257. doi: 10.3389/fpsyt.2019.00257
24. Zhang T, Liu W, Bai Q, et al. Virtual reality technology in the rehabilitation of post-stroke cognitive impairment: An opinion article on recent findings. *Front Psychol*. 2023;(14):1271458. EDN: VZXBOY doi: 10.3389/fpsyg.2023.1271458
25. Cherdak MA. Mixed dementia in stroke patient. *Russ J Geriatric Med*. 2020;(3):236–242. EDN: NTHOUX doi: 10.37586/2686-8636-3-2020-236-242
26. Pinho J, Quintas-Neves M, Dogan I, et al. Incident stroke in patients with Alzheimer's disease: Systematic review and meta-analysis. *Sci Rep*. 2021;11(1):16385. doi: 10.1038/s41598-021-95821-x
27. Parfenov VA. Vascular cognitive impairment and chronic cerebral ischemia (dyscirculatory encephalopathy). *Neurol Neuropsych Psychosomat*. 2019; 11(3S):61–67. EDN: KWRPMJ doi: 10.14412/2074-2711-2019-3S-61-67
28. Donnelly MR, Reinberg R, Ito KL, et al. Virtual reality for the treatment of anxiety disorders: A scoping review. *Am J Occup Ther*. 2021; 75(6):7506205040. doi: 10.5014/ajot.2021.046169
29. De Luca R, Torrisi M, Piccolo A, et al. Improving post-stroke cognitive and behavioral abnormalities by using virtual reality: A case report on a novel use of nirvana. *Appl Neuropsychol Adult*. 2018; 25(6):581–585. doi: 10.1080/23279095.2017.1338571

ОБ АВТОРЕ

Тынтерова Анастасия Михайловна, канд. мед. наук,
доцент;
адрес: Россия, 236041, Калининград, ул. А. Невского, д. 14;
ORCID: 0000-0003-1743-4713;
eLibrary SPIN: 2999-5812;
e-mail: antynterova@mail.ru

AUTHOR'S INFO

Anastasiya M. Tynterova, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate
Professor;
address: 14 Alexander Nevsky street, 236041 Kaliningrad, Russia;
ORCID: 0000-0003-1743-4713;
eLibrary SPIN: 2999-5812;
e-mail: antynterova@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab629104>

Влияние мотивации пациентов на восстановление двигательной функции в восстановительном периоде инсульта. Предварительные результаты клинического исследования

Е.А. Мельникова¹, Г.А. Ткаченко^{2, 3}, Е.М. Цветкова^{1, 2}, Е.Ю. Старкова¹, Н.Н. Владимирова², В.Ю. Литай¹

¹ Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского, Москва, Россия;

² Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации, Москва, Россия;

³ Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Острые нарушения мозгового кровообращения приводят к инвалидизации пациентов. Важнейшей задачей является реабилитация и адаптация этих больных в социуме. Нарушение мотивации снижает эффективность реабилитационных мероприятий.

Цели исследования — провести оценку мотивации пациентов в восстановительном периоде инсульта; выявить взаимосвязи между уровнем мотивации, сроком и типом инсульта, когнитивными и демографическими показателями; определить влияние уровня мотивации на эффективность восстановления двигательной функции, баланса и общей функциональной независимости.

Материалы и методы. Проспективное исследование 36 пациентов с гемипарезом в раннем и позднем восстановительном периоде инсульта. Всем пациентам проведена оценка по Международной классификации функционирования (МКФ), шкале функциональной независимости (FIM); определены индекс мобильности Ривермид, степень пареза по шкале Комитета медицинских исследований (MRC), уровень спастичности по шкале Эшворта; проведена оценка риска падений по шкале Морзе, оценка функции верхней и нижней конечности с помощью теста Фугла–Майера (FM), оценка баланса по шкале Берг. Психологическое тестирование включало определение уровня мотивации с использованием опросника «Мотивация к восстановлению» (Recovery Locus of Controle), когнитивной функции с использованием батареи тестов лобной доли и краткой шкалы оценки психического статуса (MMSE), оценку уровня тревоги и депрессии по госпитальной шкале тревоги и депрессии (HADS). Пациенты в течение 21 дня госпитализации получали стандартное реабилитационное лечение на базе центра реабилитации ЦКБ УДП РФ: ежедневные занятия лечебной физкультурой (дыхательная гимнастика, силовые упражнения, аэробная нагрузка, занятия на тренажёрах с биологической обратной связью).

Результаты. Выявлена значимая положительная корреляция между мотивацией пациента и его когнитивными показателями — интегральным уровнем батареи тестов лобной доли ($r=0,653$; $p=0$) и интегральным показателем краткой шкалы оценки психического статуса (MMSE) ($r=0,536$; $p=0,001$). Убедительных доказательств связи уровня мотивации с такими показателями, как пол, возраст пациента, индекс массы тела, срок с момента инсульта, тип и локализация инсульта, уровень боли, уровень функциональной независимости и двигательных нарушений, не получено. Несмотря на наличие тенденции к более выраженным положительным изменениям функционального восстановления руки, ноги, баланса и общей независимости, достоверной разницы между группами не получено.

Заключение. Выявлена значимая связь между мотивацией и когнитивными функциями. Отмечается тенденция к положительным изменениям функционального восстановления руки, ноги, баланса и общей независимости у пациентов с высоким уровнем мотивации.

Ключевые слова: мотивация; инсульт; гемипарез; реабилитация.

Как цитировать:

Мельникова Е.А., Ткаченко Г.А., Цветкова Е.М., Старкова Е.Ю., Владимирова Н.Н., Литай В.Ю. Влияние мотивации пациентов на восстановление двигательной функции в восстановительном периоде инсульта. Предварительные результаты клинического исследования // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 2. С. 122–130. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab629104>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab629104>

The influence of patient motivation on the motor function restoration during stroke recovery. Preliminary results of a clinical study

Ekaterina A. Melnikova¹, Galina A. Tkachenko^{2, 3}, Evgenia M. Tsvetkova^{1, 2}, Elena Yu. Starkova¹, Nadezhda N. Vladimirova², Vladislav Yu. Litau¹

¹ Moscow Regional Research and Clinical Institute, Moscow, Russia;

² Central Clinical Hospital of the Management Affair of President Russian Federation, Moscow, Russia;

³ Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Acute cerebrovascular accidents lead to disability. The most important task is the rehabilitation and adaptation of these patients to society. Impaired motivation reduces the effectiveness of rehabilitation measures.

AIMS: To assess the motivation of patients during stroke recovery; identify relationships between the level of motivation, duration and type of stroke, and cognitive and demographic indicators; and determine the influence of the patient's initial level of motivation on the effectiveness of the rehabilitation

MATERIALS AND METHODS: This prospective study analyzed 36 patients with hemiparesis in the early and late recovery period of stroke. All patients were assessed according to the international classification of functioning, disability, and health; functional independence scale; Rivermead mobility index; degree of paresis according to the Medical Research Committee scale; level of spasticity according to the Ashford scale; risk of falls assessment according to the Morse scale; assessment of function of the upper and lower extremities using the Fugl–Meyer test; and balance assessment using the Berg scale.

RESULTS: A significant positive correlation was found between the patient's motivation and cognitive indicators: the integral level of the BTLD ($r=0.653$; $p=0$) and the integral indicator of the Mini-Mental State Examination ($r=0.536$; $p=0.001$). No convincing evidence supports the connection between the motivation level and indicators as such sex, age, body mass index, time since stroke, stroke type and location, pain level, functional independence level, and motor impairment. Although a trend toward greater positive changes in functional recovery of the arm, leg, balance, and overall independence was observed, no significant difference was found between groups.

CONCLUSION: A significant relationship was found between motivation and cognitive functions, which can serve as predictors of the motivation level of patients when planning rehabilitation activities. A trend toward positive changes in functional recovery of the arm, leg, balance, and overall independence was found in patients with high motivation levels.

Keywords: motivation; hemiparesis; stroke; rehabilitation.

To cite this article:

Melnikova EA, Tkachenko GA, Tsvetkova EM, Starkova EYu, Vladimirova NN, Litau VYu. The influence of patient motivation on the motor function restoration during stroke recovery. Preliminary results of a clinical study. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(2):122–130. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab629104>

ОБОСНОВАНИЕ

Острые нарушения мозгового кровообращения — распространённые сосудистые заболевания головного мозга, последствия которых приводят к инвалидизации. По разным данным, в мире ежегодно регистрируется около 20 млн инсультов, и только в ~10% случаев больным удаётся восстановиться до прежнего уровня жизни [1, 2]. В последнее время инсульты стали возникать у лиц молодого — 35–40 лет — и даже более молодого возраста [3].

В России острые нарушения мозгового кровообращения занимают второе место в структуре смертности населения, а уровень инвалидизации через год достигает 80%, в то время как в других развитых странах этот показатель не превышает 30% [4, 5]. В связи с этим важнейшей задачей российского здравоохранения является реабилитация больных, перенёвших инсульт, их возвращение и адаптация в социуме.

У большинства больных после инсульта возникает неврологический дефицит, поэтому реабилитация включает в себя комплекс мероприятий, направленных на восстановление или компенсацию нарушенных функций нервной системы (нейрореабилитация). Основными механизмами, лежащими в основе нейрореабилитации, являются возможность нервной ткани к структурно-функциональной перестройке, что обуславливает восстановление повреждённых функций головного мозга [6, 7].

Наиболее частыми последствиями острого нарушения мозгового кровообращения являются когнитивные нарушения (снижение памяти, внимания и других познавательных способностей), что снижает комплаенс больного, а значит, затрудняет процесс восстановления, снижает качество жизни [8–12]. Восстановительные мероприятия по когнитивной реабилитации направлены на улучшение нарушенных после инсульта функций мозга за счёт воздействия на повреждения нейроанатомических структур. Кроме этого, часто нарушается мотивационно-поведенческий компонент, что приводит к ещё более низкой эффективности проводимых реабилитационных мероприятий.

Мотивация имеет достаточно много определений, однако в основе всегда лежит определённая направленность активности личности, т.е. побуждения его поведения, личностный смысл и значимость происходящего. Мотивация к лечению (реабилитации) — это сознательное стремление пациента к выздоровлению, готовность проходить необходимые лечебно-профилактические процедуры и выполнять врачебные рекомендации для улучшения самочувствия [13]. По данным M.G. Maggio и соавт. [14], мотивация к реабилитации играет доминирующую роль в процессе восстановительных мероприятий, т.е. сильное желание пациента пройти курс реабилитации может побудить его к активному самостоятельному поиску реабилитационных упражнений, а также информационного материала, свидетельствующего о снижении уровня инвалидности за счёт выполнения лечебно-профилактических

процедур. О влиянии мотивации на результаты реабилитации после подострого инсульта говорится и в исследовании T. Yoshida и соавт. [15], в котором отмечается её снижение в течение времени после острого нарушения мозгового кровообращения. В исследовании А.А. Светкиной [16] показано, что нарушение мотивации, проявляющееся отказом от выполнения рекомендаций врача, в том числе отказом от реабилитационных мероприятий, достигал 61%.

Таким образом, исследование, направленное на изучение мотивации и её влияния на восстановление двигательной функции у больных в восстановительном периоде инсульта, является актуальным.

Цели исследования — провести оценку мотивации пациентов в раннем и позднем восстановительном периоде инсульта при помощи психологических опросников и тестов; выявить взаимосвязи между уровнем мотивации, сроком и типом инсульта, когнитивными и демографическими показателями; определить влияние исходного уровня мотивации пациента на эффективность проведённых реабилитационных мероприятий по восстановлению двигательной функции, баланса и общей функциональной независимости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

В проспективное одноцентровое исследование включены 36 пациентов с гемипарезом в результате инсульта.

Критерии соответствия

Критерии включения: первичное острое нарушение мозгового кровообращения, длительностью не менее 1 месяца и не более 12 месяцев к моменту госпитализации пациента в реабилитационное отделение; односторонний гемипарез от 0 до 4 баллов по шкале Комитета медицинских исследований (MRC); возможность самостоятельного перемещения в пределах палаты; стабильная гемодинамика; отсутствие выраженных когнитивных нарушений (не менее 16 баллов по краткой шкале оценки психического статуса MMSE с целью эффективного выполнения пациентом инструкций во время тестирования).

Критерии не включения: выраженные речевые и психические нарушения; перенесённые операции на крупных суставах верхней и нижней конечности; острые инфекционные заболевания или обострение соматических заболеваний; нестабильная гемодинамика.

Условия проведения

Исследование проведено сотрудниками ГБУЗ Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского» (ГБУЗ МО МОНИКИ) и ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» Управления делами Президента Российской Федерации (ЦКБ УДП РФ).

Описание медицинского вмешательства

Все пациенты в течение 21 дня госпитализации получали на базе центра реабилитации ЦКБ УДП РФ стандартное реабилитационное лечение, включающее ежедневные занятия лечебной физкультурой (дыхательная гимнастика, силовые упражнения, аэробная нагрузка, занятия на тренажёрах с биологической обратной связью).

Фиксировались общие сведения о пациентах: пол, возраст, индекс массы тела, сторона инсульта, время с момента инсульта до поступления в реабилитационное отделение, тип и локализация инсульта.

Всем пациентам проводили оценку по Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (МКФ), шкале функциональной независимости (Functional Independence Measure, FIM); определяли индекс мобильности Ривермид (Rivermead Mobility Index, RMI), степень пареза по шкале Комитета медицинских исследований (Medical Research Council, MRC), уровень спастичности по модифицированной шкале Эшворта (Modified Ashworth Scale); проводили оценку риска падений по шкале Морзе (Morse Fall Scale), оценку функций верхней и нижней конечности при помощи теста Фугла–Майера (Fugl–Meyer Assessment, FMA), оценку баланса по шкале равновесия Берга (Berg Balance Scale, BBS).

Психологическое тестирование включало определение уровня мотивации с использованием опросника «Мотивация к восстановлению» (Recovery Locus of Control Scale, RLOC) [17], когнитивной функции — с использованием батареи тестов лобной доли (Frontal Assessment Battery, FAB) [18] и краткой шкалы оценки психического статуса (Mini-Mental State Examination, MMSE) [18], а также оценку уровня тревоги и депрессии по госпитальной шкале тревоги и депрессии (Hospital Anxiety and Depression Scale, HADS), разработанной A.S. Zigmond и R.P. Snaith в 1983 году [19] и адаптированной М.Ю. Дробизевым в 1993 году.

Этическая экспертиза

Протокол исследования утверждён независимым комитетом по этике при ГБУЗ МО МОНИКИ от 12 мая 2023 года в рамках проведения научно-исследовательской работы по теме «Ритмическая периферическая магнитная стимуляция в комплексной реабилитации нарушенной функции диафрагмы у пациентов с гемипарезом в результате инсульта» и от 31 августа 2023 года в рамках проведения научно-исследовательской работы по теме «Ритмическая периферическая магнитная стимуляция в комплексной реабилитации биомеханических нарушений баланса у пациентов с гемипарезом после инсульта».

Все пациенты, участвующие в исследовании, подписали информированное согласие.

Статистический анализ

Для анализа результатов исследования использована программа SPSS Statistics 27 (IBM Corporation, Armonk,

NY, США). Количественные данные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения ($M \pm SD$) либо медианы с интерквартильным размахом (Me , 25–75-й процентиля), для категориальных переменных рассчитывалась частота. Для оценки выборки на нормальность распределения использовали критерий нормальности распределения Шапиро–Уилка, для сравнения выборок — непараметрические тесты. Категориальные переменные анализировали с помощью критерия Хи-квадрат либо точного критерия Фишера (FET). Статистическую взаимосвязь проверяли с помощью коэффициента корреляции Спирмена. Значимость была установлена на уровне 0,05. Значение $p < 0,05$ считалось значимым.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

Все участники исследования исходно (в первые 48 часов с момента поступления в реабилитационное отделение) прошли полное физикальное обследование и психологическое тестирование. Финальное обследование пациентов проходило на 20–21-й день их пребывания в стационаре. Все пациенты из 36 изначально включённых в исследование успешно его завершили. Демографические данные пациентов приведены в табл. 1.

Основные результаты исследования

Основные результаты психологического тестирования приведены в табл. 2.

Нами проведён корреляционный анализ для таких параметров, как срок инсульта, возраст на момент инсульта, оценки по шкалам FIM, BBS и FMA, а также когнитивным показателям: FAB, MMSE, HADS, RLOC.

Значимая положительная корреляция выявлена между мотивацией пациента и когнитивными показателями: интегральным уровнем FAB ($r=0,653$; $p=0$) и интегральным показателем MMSE ($r=0,536$; $p=0,001$). Других взаимосвязей уровня мотивации с демографическими и функциональными показателями не выявлено (или связи были слабыми).

При проведении линейного регрессионного анализа были подтверждены достоверные ($p < 0,05$) положительные взаимосвязи между мотивацией и таким показателем психологического тестирования пациента, как сложная реакция выбора (FAB); между уровнем депрессии (HADS) и уровнем динамического праксиса (FAB). Данные показатели могут выступать в качестве предикторов уровня мотивации у реабилитационных пациентов. Убедительных доказательств связи уровня мотивации с такими показателями, как пол, возраст пациента, индекс массы тела, срок с момента инсульта, тип и локализация инсульта, уровень боли, уровень функциональной независимости и двигательных нарушений, мы не получили.

Нами выполнено сравнение функциональных показателей в динамике (до и после курса реабилитационного

Таблица 1. Клинико-демографические показатели участников исследования
Table 1. Clinical and demographic characteristics of the study participants

Параметр		Пациенты, n=36 (%)
Пол	мужской	22 (61)
	женский	14 (39)
Возраст на момент инсульта, полных лет, Me		61,32±12,4
Срок с момента инсульта, дней, M±SD [Me, 25%; 75%]		151,5 [52,6; 175,5]
Ишемический тип инсульта:		27 (75)
• бассейн левой средней мозговой артерии		10 (27,8)
• бассейн правой средней мозговой артерии		12 (33,3)
• вертебрально-базилярный бассейн		5 (13,9)
Геморрагический тип инсульта:		9 (25)
• левое полушарие		3 (8,3)
• правое полушарие		3 (8,3)
• субарахноидальное кровоизлияние		1 (2,8)
• зрительный бугор, внутренняя капсула		1 (2,8)
• ствол мозга		1 (2,8)
Сторона инсульта	правая	21 (58,3)
	левая	15 (41,7)

Таблица 2. Результаты психологического тестирования (n=36)
Table 2. Results of psychological testing (n=36)

Тест	Результат
Интегральный показатель MMSE, Me [25%; 75%]	23,5 [3; 27]
Уровень тревоги, балл по HADS, Me [25%; 75%]	8,0 [4,25; 11]
Уровень депрессии, балл по HADS, Me [25%; 75%]	7,0 [3; 9]
Уровень мотивации, балл по RLOC, Me [25%; 75%]	26,5 [3; 27]
Интегральный показатель FAB, Me [25%; 75%]	14,0 [1; 17,75]
• концептуализация, M±SD	2,86±0,071
• беглость речи, M±SD	2,06±0,143
• динамический праксис, M±SD	2,11±0,148
• простая реакция выбора, M±SD	2±0,149
• усложнённая реакция выбора, M±SD	1,78±0,165
• хватательный рефлекс, M±SD	2,89±0,066

лечения; с разделением исследуемой выборки пациен-
тов на две группы — с умеренным (15–22 балла вклю-
чительно) и высоким (≥23 баллов) уровнем мотива-
ции (табл. 3). Пациентов с низким уровнем мотивации
(<15 баллов) в исследуемой группе не было. Несмотря
на наличие тенденции к более выраженным положи-
тельным изменениям функционального восстановления

руки, ноги, баланса и общей независимости, достовер-
ной разницы между группами не получено (U-критерий
Манна–Уитни).

Нежелательные явления

Нежелательные явления в ходе проведения исследо-
вания не наблюдались.

Таблица 3. Динамика функциональных показателей у пациентов с разным уровнем мотивации в процессе реабилитации
Table 3. Dynamics of functional indicators of patients with different motivation levels in the rehabilitation process

Шкала	Уровень мотивации (балл)		p
	средний (15–22)	высокий (23–31)	
FIM	14,21	22,13	>0,05
BBS	8,0	10,2	
FMA, рука	10,76	13,69	
FMA, нога	5,88	7,15	

ОБСУЖДЕНИЕ

Многие авторы считают, что мотивация пациентов с подобной патологией является важным фактором для успешной реабилитации [20–22]. Низкий уровень мотивации замедляет процесс восстановления всех физических функций [23]. Мотивированные пациенты активнее участвуют в мероприятиях по реабилитации и добиваются большего прогресса, чем те, кто менее мотивирован [24, 25]. M.F. Zulkifly и соавт. [26] показали, что не просто мотивация влияет на результат, а именно внутренняя мотивация, связанная с представлением о влиянии собственных усилий на выздоровление, является значимым предиктором физического функционирования. Таким образом, логично предположить, что больные, которые верят, что выздоровление зависит от их собственных усилий, активнее участвуют в процессе реабилитации и, как следствие, добиваются гораздо лучших результатов, чем те, кто убеждён, что успех зависит от усилий медперсонала.

Согласно результатам исследования A.B. Котельниковой с соавт. [27], оптимальным для достижения максимальной эффективности реабилитационных мероприятий является средний уровень выраженности социальной комплаентности (обусловленной ориентацией на социальное одобрение и мотивации, направленной на преодоление болезни). N. Maclean и соавт. [21] указывают, что мотивация может не влиять напрямую на результаты реабилитации, оцениваемые с помощью показателя функциональной независимости. Мы также не получили убедительных данных за то, что высокий уровень мотивации способствует более выраженным положительным изменениям функционального восстановления руки, ноги, баланса и общей независимости. Возможно, отсутствие связи между уровнем мотивации и восстановлением двигательной функции у больных после инсульта обусловлено другими причинами, которые предстоит исследовать. Например, в работе M. Tap и соавт. [28] показано, что снижение мотивации и функциональных функций у больных связано со страхом перед физическими нагрузками.

Нами также не получены убедительные доказательства связи уровня мотивации с возрастом, хотя, согласно литературным данным [29, 30], увеличение возраста пациентов связано с более низкой мотивацией.

В исследовании M. Kobyłańska и соавт. [31] показано, что срок с момента инсульта влияет на мотивацию больного. По мнению C. Ytterberg и соавт. [32], это связано с тем, что от каждого последующего курса пациенты не ожидают положительного результата, а значит, воспринимают его как неэффективный, что постепенно приводит к потере надежды на восстановление. В нашем исследовании мы не получили убедительных доказательств связи уровня мотивации со сроком с момента инсульта, что, по всей видимости, связано с небольшой разницей в сроках между пациентами.

Ограничения исследования

Ограничением данного исследования является небольшой размер выборки; также в связи с особенностями выборки (невключение пациентов с выраженными когнитивными нарушениями) в результатах отсутствуют пациенты с низким уровнем мотивации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наше исследование показало значимую связь между мотивацией и когнитивными функциями больных, что можно рассматривать в качестве предиктора уровня мотивации у пациентов при планировании реабилитационных мероприятий.

Отмечается тенденция к более выраженным положительным изменениям функционального восстановления руки, ноги, баланса и общей независимости у пациентов с высоким уровнем мотивации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

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

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

Вклад авторов. Е.А. Мельникова — научное обоснование, методология, проверка рукописи, руководство проектом; Г.А. Ткаченко — проведение психологического тестирования, написание черновика рукописи, проверка и редактирование рукописи; Е.М. Цветкова — проведение функциональной оценки пациентов,

написание черновика рукописи, анализ данных, проверка и редактирование рукописи; Е.Ю. Старкова — проведение функциональной оценки пациентов, написание черновика рукописи, анализ данных, проверка и редактирование рукописи; Н.Н. Владимирова — обеспечение материала для исследования, методология, курирование проекта; В.Ю. Литав — научное обоснование. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. Е.А. Melnikova — scientific substantiation, methodology, manuscript review, project management; G.A. Tkachenko — psychological testing, draft manuscript writing, manuscript review and editing; E.M. Tsvetkova — functional assessment of patients, draft manuscript writing, data analysis, manuscript review and editing; E.Y. Starkova — functional assessment of patients, draft manuscript writing, data analysis, manuscript review and editing; N.N. Vladimirova — provision of study materials, methodology, project supervision; V.Y. Litau — scientific substantiation. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алферова В.В., Белкин А.А., Вознюк И.А., и др. *Клинические рекомендации по ведению больных с ишемическим инсультом и транзиторными ишемическими атаками* / под ред. Л.В. Стаховской. Москва: Библиотека практического врача, 2017. 196 с.
2. Нувахова М.Б. Реабилитация пациентов с когнитивными нарушениями после инсульта в позднем восстановительном периоде // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2021. Т. 121, № 8-2. С. 76–85. EDN: VXCXZA doi: 10.17116/jnevro202112108276
3. Каерова Е.В., Журавская Н.С., Козина У.А., Шакирова О.В. Восстановление двигательной функции верхних конечностей после инсульта // Вестник восстановительной медицины. 2021. Т. 20, № 1. С. 21–26. EDN: XZVGJU doi: 10.38025/2078-1962-2021-20-1-21-26
4. Feigin V.L., Norrving B., Mensah G.A. Global burden of stroke // Circulation Res. 2017. Vol. 120, N 3. P. 439–448. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.116.308413
5. Kim A.S., Cahill E., Cheng N.T. Global stroke belt: Geographic variation in stroke burden worldwide // Stroke. 2015. Vol. 46, N 12. P. 3564–3570. EDN: VELBDT doi: 10.1161/STROKEAHA.115.008226
6. Сергеева С.П., Савин А.А., Литвицкий П.Ф. Роль системы FAS в патогенезе ишемического инсульта // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2016. Т. 116, № 2-3. С. 3–8. EDN: WAKNEF doi: 10.17116/jnevro2016116323-8
7. Беляева И.А., Мартынов М.Ю., Гусев Е.И. Основы современной нейрореабилитации // Болезни мозга: от изучения механизмов к диагностике и лечению: национальное руководство / под ред. Е.И. Гусева, А.Н. Коновалова, В.И. Скворцовой, А.Б. Гехт. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2018. Т. 1. С. 821–824.
8. Вербицкая С.В., Парфенов В.А., Решетников В.А., и др. Постинсультные когнитивные нарушения (результаты 5-летнего наблюдения) // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2018. Т. 10, № 1. С. 37–42. EDN: URIJOY doi: 10.14412/2074-2711-2018-1-37-42
9. Емелин А.Ю., Лобзин В.Ю., Воробьев С.В. Когнитивные нарушения: руководство для врачей. Москва, 2019. 414 с.
10. Jokinen H., Melkas S., Ylikoski R., et al. Post-stroke cognitive impairment is common even after successful clinical recovery // Eur J Neurol. 2015. Vol. 22, N 9. P. 1288–1294. doi: 10.1111/ene.12743
11. Боголепова А.Н., Левин О.С. Когнитивная реабилитация пациентов с очаговым поражением головного мозга // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020. Т. 120, № 4. С. 115–122. EDN: HYTCEA doi: 10.17116/jnevro20201200411513
12. Захаров В.В., Вахнина Н.В. Практические алгоритмы ведения пациентов с когнитивными нарушениями // Медицинский совет. 2019. № 6. С. 27–33. EDN: MIFRAN doi: 10.21518/2079-701X-2019-6-27-33
13. Шабанова А.С. Мотивация к лечению у пациентов с различными соматическими заболеваниями // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2015. № 57. С. 130–136. EDN: UHGLDH
14. Maggio M.G., Latella D., Maresca G., et al. Virtual reality and cognitive rehabilitation in people with stroke: An overview // J Neurosci Nurs. 2019. Vol. 51. P. 101–105. doi: 10.1097/JNN.0000000000000423
15. Yoshida T., Otaka Y., Kitamura S., et al. Influence of motivation on rehabilitation outcomes after subacute stroke in convalescent rehabilitation wards // Front Neurol. 2023. N 14. P. 1185813. EDN: SSOBWW doi: 10.3389/fneur.2023.1185813
16. Светкина А.А. Психологическая реабилитация больных с ОНМК // Медицинская психология в России. 2016. Т. 8, № 5. С. 7. EDN: XZCRKX doi: 10.24411/2219-8245-2016-15070
17. Белова Н.А. Шкалы, тесты и опросники в медицинской реабилитации. Москва: Медицина, 2002. 440 с.
18. Dubois B., Slachevsky A., Litvan I., Pillon B. The FAB: A Frontal Assessment Battery at bedside // Neurology. 2000. Vol. 55, N 11. P. 1621–1626. doi: 10.1212/wnl.55.11.1621
19. Zigmond A.S., Snaith R.P. The Hospital anxiety and depression scale // Acta Psychiatr Scand. 1983. Vol. 67, N 6. P. 361–370. doi: 10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x
20. Hallams S., Baker K. The development of a questionnaire to assess motivation in stroke survivors: A pilot study // New Zealand J Psychotherapy. 2009. N 37. P. 55–60.
21. Maclean N., Pound P., Wolfe C., Rudd A. The concept of patient motivation: A qualitative analysis of stroke professionals' attitudes // Stroke. 2002. Vol. 33, N 2. P. 444–448. doi: 10.1161/hs0202.102367

22. Pan L., Song A., Wang S., Duan S. Experimental study on upper-limb rehabilitation training of stroke patients based on adaptive task level: A preliminary study // *Biomed Res Int*. 2019. Vol. 2019. P. 2742595. doi: 10.1155/2019/2742595
23. Lin F.H., Yih D.N., Shih F.M., Chu C.M. Effect of social support and health education on depression scale scores of chronic stroke patients // *Med Baltimore*. 2019. Vol. 98, N 44. P. e17667. doi: 10.1097/MD.00000000000017667
24. Oyake K., Suzuki M., Otaka Y., Tanaka S. Motivational strategies for stroke rehabilitation: A descriptive cross-sectional study // *Front Neurol*. 2020. N 11. P. 553. doi: 10.3389/fneur.2020.00553
25. Zhang Q., Schwade M., Smith Y., et al. Exercise-based interventions for post-stroke social participation: A systematic review and network meta-analysis // *Int J Nurs Stud*. 2020. N 111. P. 103738. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2020.103738
26. Zulkifly M.F. Mohd, Ghazali S.E., et al. The ability of recovery locus of control scale (RLOC) and post-traumatic stress symptoms (PTSS) to predict the physical functioning of stroke patients // *Malaysian J Med Sci*. 2015. Vol. 22, N 5. P. 31–41.
27. Котельникова А.В., Кукшина А.А., Тихонова А.С., Ткаченко Г.А. Приверженность к лечению как предиктор эффективности включения технологий VR и AR в психологическое со-

- провождение пациентов с нарушением двигательных функций в процессе медицинской реабилитации // *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2020. № 3. С. 72–81. EDN: ZSFIDN doi: 10.26269/72cj-dh29
28. Tan M., Li H., Wang X. Analysis of the current status of rehabilitation motivation and its influencing factors in older adults with stroke: A cross-sectional study // *Front Aging Neurosci*. 2023. N 15. P. 1186681. EDN: QNJHQT doi: 10.3389/fnagi.2023.1186681
29. Rapoliene J., Endzelyte E., Jaseviciene I., Savickas R. Stroke patients motivation influence on the effectiveness of occupational therapy // *Rehabil Res Pract*. 2018. Vol. 2018. P. 9367942. doi: 10.1155/2018/9367942
30. Spence D., Barnett HJ. *Stroke prevention, treatment and rehabilitation*. McGraw Hill Professional, 2012. 306 p.
31. Kobylańska M., Kowalska J., Neustein J., et al. The role of biopsychosocial factors in the rehabilitation process of individuals with a stroke // *Work*. 2018. Vol. 61, N 4. P. 523–535. doi: 10.3233/WOR-162823
32. Ytterberg C., Kristensen H.K., Tistad M., von Koch L. Factors related to met needs for rehabilitation 6 years after stroke // *PLoS One*. 2020. Vol. 15, N 1. P. 022786722. doi: 10.1371/journal.pone.0227867

REFERENCES

1. Alferova VV, Belkin AA, Voznyuk IA, et al. *Clinical recommendations for the management of patients with ischemic stroke and transient ischemic attacks*. Ed. by L.V. Stakhovskaya. Moscow: Biblioteka prakticheskogo vracha; 2017. 196 p. (In Russ).
2. Nuvakhova MB. Rehabilitation of patients with cognitive impairment after stroke during the late recovery period. *S.S. Korsakov J Neurol Psychiatry*. 2021;121(8-2):76–85. EDN: VXCXZA doi: 10.17116/jnevro202112108276
3. Kayerova EV, Zhuravskaya NS, Kozina EA, Shakirova OV. Restoration of upper limb motor function after stroke. *Bull Rehab Med*. 2021;20(1):21–26. EDN: XZVGJU doi: 10.38025/2078-1962-2021-20-1-21-26
4. Feigin VL, Norrving B, Mensah GA. Global burden of stroke. *Circulation Res*. 2017;120(3):439–448. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.116.308413
5. Kim AS, Cahill E, Cheng NT. Global stroke belt: Geographic variation in stroke burden worldwide. *Stroke*. 2015;46(12):3564–3570. EDN: VELBDT doi: 10.1161/STROKEAHA.115.008226
6. Sergeeva SP, Savin AA, Litvitsky PF. A role of the fas system in the pathogenesis of ischemic stroke. *S.S. Korsakov J Neurol Psychiatry*. 2016;116(3-2):3–8. EDN: WAKNEF doi: 10.17116/jnevro2016116323-8
7. Belyaeva IA, Martynov MYu, Gusev EI. *Fundamentals of modern neurorehabilitation*. In: Brain diseases: From the study of mechanisms to diagnosis and treatment. National leadership. Ed. by E.I. Guseva, A.N. Konovalova, V.I. Skvortsova, A.B. Geht. Moscow: GEOTAR-Media; 2018. Vol. 1. P. 821–824. (In Russ).
8. Verbitskaya SV, Parfenov VA, Reshetnikov VA, et al. Post-stroke cognitive impairment (results of a 5-year follow-up). *Neurology Neuropsychiatry Psychosomatics*. 2018;10(1):37–42. EDN: URIJOY doi: 10.14412/2074-2711-2018-1-37-42
9. Emelin AYU, Lobzin VYu, Vorobyov SV. *Cognitive impairment: A guide for physicians*. Moscow; 2019. 414 p. (In Russ).
10. Jokinen H, Melkas S, Ylikoski R, et al. Post-stroke cognitive impairment is common even after successful clinical recovery. *Eur J Neurol*. 2015;22(9):1288–1294. doi: 10.1111/ene.12743
11. Bogolepova AN, Levin OS. Cognitive rehabilitation of patients with focal brain damage. *S.S. Korsakov J Neurol Psychiatry*. 2020;120(4):115–122. EDN: HYTCEA doi: 10.17116/jnevro2020120041115
12. Zakharov VV, Vakhnina NV. Practical algorithms for managing patients with cognitive impairments. *Medical Council*. 2019;(6):27–33. EDN: MIFRAN doi: 10.21518/2079-701X-2019-6-27-33
13. Shabanova AS. Motivation to treatment in patients with different somatic diseases. *Bulletin Physiol Pathol Respirat*. 2015;(57):130–136. EDN: UHGLDH
14. Maggio MG, Latella D, Maresca G, et al. Virtual reality and cognitive rehabilitation in people with stroke: An overview. *J Neurosci Nurs*. 2019;51:101–105. doi: 10.1097/JNN.0000000000000423
15. Yoshida T, Otaka Y, Kitamura S, et al. Influence of motivation on rehabilitation outcomes after subacute stroke in convalescent rehabilitation wards. *Front Neurol*. 2023;(14):1185813. EDN: SSOBWW doi: 10.3389/fneur.2023.1185813
16. Svetkina AA. Psychological rehabilitation of patients with stroke. *Med Psihol Ross*. 2016;8(5):7. EDN: XZCRKX doi: 10.24411/2219-8245-2016-15070
17. Belova NA. *Scales, tests and questionnaires in medical rehabilitation*. Moscow: Meditsina; 2002. 440 p. (In Russ).
18. Dubois B, Slachevsky A, Litvan I, Pillon B. The FAB: A Frontal Assessment Battery at bedside. *Neurology*. 2000;55(11):1621–1626. doi: 10.1212/wnl.55.11.1621
19. Zigmond AS, Snaith RP. The Hospital anxiety and depression scale. *Acta Psychiatr Scand*. 1983;67(6):361–370. doi: 10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x
20. Hallams S, Baker K. The development of a questionnaire to assess motivation in stroke survivors: A pilot study. *New Zealand J Psychotherapy*. 2009;(37):55–60.

21. Maclean N, Pound P, Wolfe C, Rudd A. The concept of patient motivation: A qualitative analysis of stroke professionals' attitudes. *Stroke*. 2002;33(2):444–448. doi: 10.1161/hs0202.102367
22. Pan L, Song A, Wang S, Duan S. Experimental study on upper-limb rehabilitation training of stroke patients based on adaptive task level: A preliminary study. *Biomed Res Int*. 2019;2019:2742595. doi: 10.1155/2019/2742595
23. Lin FH, Yih DN, Shih FM, Chu CM. Effect of social support and health education on depression scale scores of chronic stroke patients. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(44):e17667. doi: 10.1097/MD.00000000000017667
24. Oyake K, Suzuki M, Otaka Y, Tanaka S. Motivational strategies for stroke rehabilitation: A descriptive cross-sectional study. *Front Neurol*. 2020;11:553. doi: 10.3389/fneur.2020.00553
25. Zhang Q, Schwade M, Smith Y, et al. Exercise-based interventions for post-stroke social participation: A systematic review and network meta-analysis. *Int J Nurs Stud*. 2020;(111):103738. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2020.103738
26. Zulkifly MF Mohd, Ghazali SE, Che Din N, et al. The ability of recovery locus of control scale (RLOC) and post-traumatic stress symptoms (PTSS) to predict the physical functioning of stroke patients. *Malaysian J Med Sci*. 2015;22(5):31–41.
27. Kotelnikova AV, Kukshina AA, Tihonova AS, Tkachenko GA. Adherence to treatment as a predictor of the effectiveness of including vr and ar technologies in the psychological support of patients with movement disorders in medical rehabilitation. *Kremlin Medicine. Clinical Bulletin*. 2020;(3):72–81. EDN: ZSFIDN doi: 10.26269/72cj-dh29
28. Tan M, Li H, Wang X. Analysis of the current status of rehabilitation motivation and its influencing factors in older adults with stroke: A cross-sectional study. *Front Aging Neurosci*. 2023;15:1186681. EDN: QNJHQT doi: 10.3389/fnagi.2023.1186681
29. Rapoliene J, Endzelyte E, Jaseviciene I, Savickas R. Stroke patients motivation influence on the effectiveness of occupational therapy. *Rehabil Res Pract*. 2018;2018:9367942. doi: 10.1155/2018/9367942
30. Spence JD, Barnett JM. *Stroke prevention, treatment and rehabilitation*. McGraw Hill Professional; 2012. 306 p.
31. Kobylańska M, Kowalska J, Neustein J, et al. The role of biopsychosocial factors in the rehabilitation process of individuals with a stroke. *Work*. 2018;61(4):523–535. doi: 10.3233/WOR-162823
32. Ytterberg C, Kristensen HK, Tistad M, von Koch L. Factors related to met needs for rehabilitation 6 years after stroke. *PLoS One*. 2020;15(1):e022786722. doi: 10.1371/journal.pone.0227867

ОБ АВТОРАХ

* **Ткаченко Галина Андреевна**, канд. псих. наук;
адрес: Россия, 121356, Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15;
ORCID: 0000-0002-5793-7529;
eLibrary SPIN: 1790-3626;
e-mail: mitg71@mail.ru

Мельникова Екатерина Александровна, д-р мед. наук,
профессор;
ORCID: 0000-0002-7498-1871;
eLibrary SPIN: 8558-0908;
e-mail: melkaterina3@yandex.ru

Цветкова Евгения Михайловна;
ORCID: 0009-0000-1761-4859;
eLibrary SPIN: 6093-5064;
e-mail: EMTSvetkova@cchp.ru

Старкова Елена Юрьевна;
ORCID: 0000-0001-9371-5934;
eLibrary SPIN: 5334-7258;
e-mail: elena.starkova@inbox.ru

Владимирова Надежда Николаевна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-8929-3748;
e-mail: nadezhda.vladimirova@gmail.com

Литау Владислав Юрьевич;
ORCID: 0009-0003-6255-405X;
e-mail: lotisen741@gmail.com

AUTHORS' INFO

* **Galina A. Tkachenko**, Cand. Sci. (Psychology);
address: 15 Marshala Timoshenko street, 121356 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-5793-7529;
eLibrary SPIN: 1790-3626;
e-mail: mitg71@mail.ru

Ekaterina A. Melnikova, MD, Dr. Sci. (Med.),
Professor;
ORCID: 0000-0002-7498-1871;
eLibrary SPIN: 8558-0908;
e-mail: melkaterina3@yandex.ru

Evgeniya M. Tsvetkova;
ORCID: 0009-0000-1761-4859;
eLibrary SPIN: 6093-5064;
e-mail: EMTSvetkova@cchp.ru

Elena Yu. Starkova;
ORCID: 0000-0001-9371-5934;
eLibrary SPIN: 5334-7258;
e-mail: elena.starkova@inbox.ru

Nadezhda N. Vladimirova, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0002-8929-3748;
e-mail: nadezhda.vladimirova@gmail.com

Vladislav Yu. Litau;
ORCID: 0009-0003-6255-405X;
e-mail: lotisen741@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab627557>

Связь между половозрастными характеристиками, коморбидным статусом и динамикой восстановления в остром периоде инсульта у пациентов, проживающих в Архангельской области

Е.М. Черных¹, Н.М. Хасанова¹, А.А. Карякин¹, О.Е. Карякина²¹ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия² Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Глобальное бремя инсульта продолжает расти и обуславливает третье место по инвалидизации среди всех причин в мировом масштабе. Оптимизация профилактических и реабилитационных мероприятий требует исследования механизмов восстановления у пациентов с инсультом. Остаются не до конца изученными факторы, влияющие на динамику восстановления и функциональный исход в остром периоде инсульта.

Цель исследования — изучить связь между половозрастными характеристиками, коморбидным статусом и динамикой функционального состояния в остром периоде инсульта у пациентов, проживающих в Архангельской области.

Материалы и методы. В ретроспективном наблюдательном продольном когортном исследовании оценивали половозрастную структуру пациентов, функциональный статус по шкалам NIHSS и mRS на момент поступления в стационар и выписки, а также его динамику за период госпитализации; анализировали связь между функциональным статусом и половозрастными характеристиками, типом инсульта, сопутствующими заболеваниями. Динамику восстановления оценивали с помощью показателя темпа убыли баллов по оценочным шкалам NIHSS и mRs. Применяли логистический регрессионный и двухфакторный дисперсионный анализ.

Результаты. Проанализированы результаты лечения 1617 пациентов с инсультом (средний возраст $63,8 \pm 11,4$ года), выписанных из неврологического отделения (2017–2020 гг.), из них 968 мужчин и 649 женщин. Выявлено, что женщины были более инвалидизированы исходно ($p < 0,001$), но динамика восстановления в остром периоде инсульта была лучше, чем у мужчин ($T_{уб}$ -30,7 против -26,4% по NIHSS и -11,1 против -9,6% по mRs). С увеличением возраста показатель темпа убыли баллов по оценочным шкалам уменьшался. Лучшую динамику восстановления продемонстрировали пациенты с атеротромботическим и лакунарным типом инсульта, пациенты с кардиоэмболическим инсультом восстанавливались медленнее всех. Высокая коморбидная нагрузка была связана с неблагоприятным функциональным исходом. Выявлены независимые связи между наличием фибрилляции предсердий, церебральным атеросклерозом, хронической сердечной недостаточностью и более высоким баллом по mRs на момент поступления в стационар. На момент выписки фибрилляция предсердий, хроническая сердечная недостаточность, артериальная гипертензия и ишемическая болезнь сердца были независимо связаны с высокими баллами по mRs, а наличие церебрального атеросклероза ассоциировалось с меньшими баллами по mRs (ОШ 1,13; 95% ДИ 0,91–1,39).

Заключение. Женщины восстанавливались лучше, несмотря на большую инвалидизацию при поступлении. Возраст и коморбидная нагрузка служили причинами, ограничивающими темп восстановления. Фибрилляция предсердий, хроническая сердечная недостаточность, ишемическая болезнь сердца и артериальная гипертензия были основными сопутствующими проблемами, связанными с худшим функциональным исходом при выписке. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования раннего функционального исхода у больных с инсультом и разработки индивидуализированных программ реабилитации.

Ключевые слова: инсульт; острый период; ранний функциональный исход; динамика восстановления.

Как цитировать:

Черных Е.М., Хасанова Н.М., Карякин А.А., Карякина О.Е. Связь между половозрастными характеристиками, коморбидным статусом и динамикой восстановления в остром периоде инсульта у пациентов, проживающих в Архангельской области // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 2. С. 131–142. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab627557>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab627557>

Relationship between sex and age characteristics, comorbid status, and dynamics of recovery in the acute period of stroke in patients living in the Arkhangelsk region

Ekaterina M. Chernykh¹, Nina M. Khasanova¹, Aleksey A. Karyakin¹, Olga E. Karyakina²¹ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;² Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The global burden of stroke continues to rise and is the third leading cause of disability worldwide. The factors that influence the dynamics of recovery and functional outcomes in the acute period of stroke remain not fully understood.

AIM: To examine the relationship between sex–age characteristics, comorbid status, and dynamics of the functional state in the acute period of stroke in patients living in the Arkhangelsk region.

MATERIALS AND METHODS: A retrospective cohort study was conducted. The sex–age structure of patients, functional status according to the National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS) and modified Rankin scale (mRS) at hospital admission and discharge, and its dynamics during the hospitalization period were assessed. The relationship between FS and sex–age characteristics, stroke type, and concomitant diseases was analyzed. The dynamics of recovery were assessed using the rate of decline in NIHSS and mRs scores.

RESULTS: The treatment results of 1,617 patients with stroke (male, n=968; female, n=649) mean age, 63.8±11.4 years) discharged from the neurological department in 2017–2020 were analyzed. Initially, more women experienced disability ($p < 0.001$); however, their dynamics of recovery in the acute period of stroke were better than those of men. With increasing age, the rate of decline in the scores of the rating scales decreased. The best dynamics of recovery were observed in patients with atherothrombotic and lacunar types of stroke, and patients with cardioembolic stroke recovered the slowest. A high comorbidity burden was associated with poor functional outcomes. Independent associations were identified between the presence of atrial fibrillation, cerebral atherosclerosis, chronic heart failure, and a higher mRs score upon admission. At the time of discharge, atrial fibrillation, chronic heart failure, arterial hypertension, and coronary heart disease were independently associated with high mRs scores, and the presence of cerebral atherosclerosis was associated with lower mRs scores.

CONCLUSION: Women recovered better, despite greater disability upon admission. Age and comorbidity burden served as reasons limiting the rate of recovery. Atrial fibrillation, chronic heart failure, coronary heart disease and arterial hypertension were the main comorbidities associated with worse functional outcomes at discharge. The results can be used to predict early functional outcomes in patients with stroke.

Keywords: stroke; acute period; early functional outcome; recovery dynamics.

To cite this article:

Chernykh EM, Khasanova NM, Karyakin AA, Karyakina OE. Relationship between sex and age characteristics, comorbid status and dynamics of recovery in the acute period of stroke in patients living in the Arkhangelsk region. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(2):131–142. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab627557>

Список сокращений

АГ — артериальная гипертензия
ИБС — ишемическая болезнь сердца
ФП — фибрилляция предсердий

ХСН — хроническая сердечная недостаточность
ЦА — церебральный атеросклероз

ОБОСНОВАНИЕ

Проблема острых цереброваскулярных заболеваний сохраняет свою актуальность в современном здравоохранении. За последние десятилетия глобальное бремя инсульта продолжает расти, оставляя за острыми нарушениями мозгового кровообращения второе место по смертности и третье по инвалидизации среди всех причин в мировом масштабе [1]. Архангельская область, занимающая по площади примерно 1/3 территории Европейского севера России, несёт своё региональное бремя инсульта. Заболеваемость инсультом в Архангельской области в 2020 и 2021 годах составила 3,93 и 3,96 на 1000 населения соответственно, что соответствует уровню заболеваемости по стране выше среднего [2, 3].

Основным маркером исхода инсульта является показатель летальности, но не менее важны параметры, отражающие возможности к восстановлению у выживших пациентов.

На разных этапах инсульта интенсивность восстановления различных функций может отличаться. Традиционно выделяют следующие периоды инсульта: острейший (от начала заболевания до 3 суток); острый (от 3 до 21 суток), ранний восстановительный (от 21 суток до 6 месяцев) и поздний восстановительный период (от 6 месяцев до 2 лет) [4]. Период основного восстановления после инсульта в среднем длится от 3 до 6 месяцев от его начала [5, 6], поэтому результаты восстановления чаще оцениваются в сроки 3, 6 месяцев и через год от начала острого нарушения мозгового кровообращения. Исследований, касающихся особенностей и динамики восстановления в остром периоде инсульта, немного.

Среди факторов, которые изучаются как определяющие качество и исход восстановления после инсульта, в последние годы приобретают всё большую актуальность биомаркеры, такие как нейронспецифическая енолаза [7], отношение нейтрофилов/лимфоцитов в крови [8], факт проведения реперфузионных методик, нейровизуализационно определяемые объём и характер поражения мозговой ткани [9]. Зависимость динамики и результата восстановления после острого нарушения мозгового кровообращения от социально-демографических особенностей, вида инсульта и выраженности коморбидной патологии изучены не полностью, хотя и исследовались ранее.

Понимание механизма и факторов, от которых зависит восстановление конкретных нарушенных функций в определённый постинсультный период, будет способствовать более рациональному планированию и реализации

реабилитационных мероприятий. За последние десятилетия у постинсультных пациентов исследовались особенности восстановления двигательной дисфункции (в частности моторики кисти) [10, 11], чувствительных нарушений (особенно проприоцепции) [12], афатических расстройств [13, 14], гемипарезов и зрительного неглекта [15], когнитивного и нейропсихологического дефицита [6].

Возраст влияет не только на увеличение частоты возникновения инсульта и заболеваний сосудистого риска, но и ухудшает функциональные исходы после инсульта, что связано с патофизиологическими изменениями в нервной системе у пожилых пациентов, которые лежат в основе повышенной восприимчивости головного мозга к повреждению [16]. Сведения по половым различиям и результатам восстановления после инсульта не так однозначны: одни исследования сообщают о худших функциональных исходах у женщин, причём только в более старшей возрастной группе [17–19], другие, наоборот, описывают лучшие результаты у пожилых женщин [20, 21], третьи представляют более значимое восстановление у женщин младше, а у мужчин старше 62 лет [22], также имеются данные об отсутствии половых различий в достижении хорошего функционального результата [23, 24].

Ещё одним фактором, значимым для уровня восстановления после инсульта, является наличие и выраженность коморбидной патологии. Среди заболеваний, потенциально влияющих на постинсультный функциональный исход, рассматривают артериальную гипертензию (АГ), церебральный атеросклероз (ЦА), сахарный диабет, ишемическую болезнь сердца (ИБС), хроническую сердечную недостаточность (ХСН), фибрилляцию предсердий (ФП) [25, 26]. Если говорить про АГ, в последнее время изучается не только влияние факта наличия заболевания на функциональное восстановление, но также уровень и вариабельность АГ в остром периоде инсульта [27, 28]. В случае с сахарным диабетом результаты исследований у пациентов с острым нарушением мозгового кровообращения указывают на худшее восстановление не только при более длительных и выраженных углеводных нарушениях, но и при зафиксированных уровнях гликемии менее 6 ммоль/л в острейшем периоде инсульта [26, 29]. ФП как наиболее частая причина кардиоэмболических инсультов оказывает прямое и опосредованное негативное влияние на функциональный исход у пациентов с инсультом, так как является прогностическим фактором развития обширных зон поражения головного мозга. По данным одних исследований, у пациентов с ХСН на фоне инсульта

отмечается ограничение функциональных возможностей и вынужденное снижение объёма терапии, что негативно сказывается на конечном результате; по данным других работ, статистически значимого отрицательного влияния ХСН на функциональный исход после инсульта не найдено [25].

При изучении литературных источников нами не обнаружено работ, касающихся динамики восстановления постинсультных пациентов, проживающих в районах с аналогичными Архангельской области географическим положением и климатическими условиями (север Европейской части России, расположенной в трёх климатических поясах — арктическом, субарктическом и умеренном континентальном). Гетерогенность ранее проведённых исследований создаёт предпосылки для дальнейшего изучения особенностей восстановления пациентов в остром периоде инсульта.

Цель исследования — изучить связь между половозрастными характеристиками, коморбидным статусом и динамикой функционального состояния в остром периоде инсульта у пациентов, проживающих в Архангельской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Выполнено ретроспективное наблюдательное продольное когортное исследование.

В качестве факторов, вероятно связанных с функциональным исходом и темпом восстановления в остром периоде инсульта, оценивали половозрастные характеристики, функциональный статус при поступлении (с использованием шкалы инсульта Национального института здравоохранения NIHSS — National Institutes of Health Stroke Scale; диапазон баллов 0–42, минимальный балл — лучший; и модифицированной шкалы Рэнкина mRS — Modified Rankin Scale; диапазон баллов 0–6, минимальный балл — лучший), тип инсульта, наличие сопутствующих заболеваний — АГ, ФП, ЦА (стенозы $\geq 50\%$), ИБС, ХСН, сахарный диабет, онкозаболевания.

Критерии соответствия

Критерии включения: все пациенты с инсультом, выписанные из Регионального сосудистого центра государственного бюджетного учреждения здравоохранения Архангельской области «Архангельская областная клиническая больница» (РСЦ АОКБ) с января 2017 по декабрь 2020 года.

Критерии исключения: пациенты с диагнозами аневризматической болезни головного мозга, субарахноидального кровоизлияния; пациенты, в первичной документации которых отсутствовала оценка по шкалам NIHSS и mRS.

Условия проведения

Все пациенты, включённые в исследование, находились на лечении в РСЦ АОКБ.

Продолжительность исследования

Все пациенты были госпитализированы в РСЦ АОКБ в период с января 2017 по декабрь 2020 года. Период наблюдения каждого пациента соответствовал времени пребывания в отделении от момента поступления и до выписки из стационара.

Описание медицинского вмешательства

Все пациенты получали стандартную медикаментозную терапию, проводимую согласно клиническим рекомендациям. Реперфузионные методики не использовались, реабилитационные мероприятия на данном этапе осуществлялись силами специалистов мультидисциплинарной бригады.

Исходы исследования

Основной исход исследования: выявление факторов, связанных с функциональным исходом и/или динамикой восстановления в остром периоде инсульта.

Методы регистрации исходов

Информацию об исходах извлекали из историй болезни.

Этическая экспертиза

Получено положительное этическое заключение об одобрении пакета документов исследования в рамках диссертационной работы «Совершенствование оказания помощи лицам пожилого и старческого возраста с когнитивными нарушениями после острых цереброваскулярных заболеваний, проживающих в Арктическом регионе» (локальный этический комитет СГМУ, Архангельск, протокол заседания № 09/10-2 от 26.10.2022).

Статистический анализ

Размер выборки предварительно не рассчитывался.

Математический и статистический анализ результатов проводился с использованием пакетов Microsoft Excel 2010 (США) и Statistica 7.0 (StatSoft, США).

Проверка законов распределения значений количественных показателей выполнялась с использованием статистического критерия Колмогорова–Смирнова. Числовые характеристики записывали в виде средней арифметической $\pm$ стандартная ошибка средней ($M \pm m$), также определяли 25-й и 75-й перцентили ($Q1$, $Q3$) и показатель медианы (Me).

Предварительно была проведена проверка на принадлежность нормальному закону распределения анализируемых количественных показателей. Результаты расчётов показали, что ни один из анализируемых количественных признаков не подлежал нормальному закону распределения.

Сравнение двух разных групп по количественному признаку выполняли с использованием непараметрического критерия U Манна–Уитни. Для оценки значимости различий количественных показателей в трёх и более группах

при неподчинении нормальному закону распределения применяли непараметрический критерий Н Краскела–Уоллиса с выполнением множественных сравнений рангов.

Для оценки динамики восстановления пациентов на основании средних значений по NIHSS и mRS при поступлении и выписке были определены коэффициенты динамики (темпы убыли баллов, $T_{уб}$, %). При анализе рассчитанных величин темпов убыли значимыми считали только те, которые характеризовали выявленные другими методами достоверно отличающиеся уровни оценок.

Связь наличия коморбидных заболеваний (ФП, ЦА, ХСН, АГ, ИБС) и показателя функционального статуса пациента (mRS) определяли с применением одномерных логистических регрессий. Результаты логистического регрессионного анализа представлены в виде отношения шансов (ОШ) с 95% доверительным интервалом (ДИ).

Для оценки совместного влияния пар факторов пол-возраст, пол-коморбидная нагрузка, возраст-коморбидная нагрузка на функциональный исход инсульта выполняли двухфакторный дисперсионный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В исследование включены 1617 пациентов в остром периоде инсульта в возрасте от 18 до 98 лет. Основные характеристики пациентов представлены в табл. 1.

Основные результаты исследования

При анализе функционального состояния пациентов (оценка по NIHSS, mRS) выявлено, что у женщин при поступлении в стационар эти показатели были статистически значимо выше в сравнении с мужчинами ($p < 0,001$), при выписке также у женщин был статистически значимо выше показатель по mRS ($p = 0,024$) (табл. 2).

Динамика изменения функционального статуса пациентов в остром периоде инсульта представлена в табл. 3. Восстановление у женщин происходило более интенсивно по сравнению с мужчинами ($T_{уб} = -30,7\%$ против $-26,4\%$ при оценке по NIHSS и $T_{уб} = -11,1\%$ против $-9,6\%$ при оценке по mRS).

Таблица 1. Основные характеристики пациентов, включённых в исследование

Table 1. Main characteristics of the patients included in the study

Характеристика	Значение
Возраст, лет, среднее значение, SD	63,8±11,4
Пол, n (%) / возраст, SD	
• женщины	649 (40,1) / 67,4±12,1*
• мужчины	968 (59,9) / 61,3±10,1*
Тип инсульта, n (%)	
• атеротромботический, лакунарный	1029 (63,6)
• кардиоэмболический	322 (19,9)
• криптогенный	63 (3,9)
• внутримозговое кровоизлияние	181 (11,2)
• венозный	22 (1,4)
Число сопутствующих заболеваний, n (%)	
• отсутствуют	22 (1,4)
• 1–3	1023 (63,3)
• 4–6	548 (33,9)
• 7 и более	24 (1,5)
Сопутствующие заболевания, n (%)	
• артериальная гипертензия	1595 (98,6)
• сахарный диабет	242 (15)
• онкозаболевания	27 (1,7)
• фибрилляция предсердий	278 (17,2)
• церебральный атеросклероз	559 (34,6)
• ишемическая болезнь сердца	782 (48,4)
• хроническая сердечная недостаточность	770 (47,6)

* $p < 0,001$.

Таблица 2. Функциональное состояние пациентов при поступлении и выписке из стационара с оценкой по NIHSS и mRS

Table 2. Functional state of patients upon admission and discharge from the hospital using the National Institutes of Health Stroke Scale and modified Rankin scale

Показатель	Пациенты, $M \pm m$ (25%–Me–75%)			Значимость различий по гендерному признаку, p
	Общая выборка	Мужчины	Женщины	
NIHSS_пост	9,81±0,19 (4,0–8,0–14,0)	9,29±0,23 (4,0–7,0–13,0)	10,58±0,31 (4,0–9,0–15,0)	<0,001*
mRS_пост	2,92±0,04 (2,0–3,0–4,0)	2,81±0,05 (2,0–3,0–4,0)	3,07±0,06 (2,0–3,0–4,0)	<0,001*
NIHSS_вып	7,04±0,17 (2,0–5,0–10,0)	6,84±0,21 (2,0–5,0–9,0)	7,33±0,28 (2,0–5,0–10,0)	0,362
mRS_вып	2,62±0,04 (1,0–3,0–4,0)	2,54±0,05 (1,0–3,0–4,0)	2,73±0,06 (1,0–3,0–4,0)	0,024**

* $p < 0,001$; ** $p < 0,05$.

Таблица 3. Динамика изменения баллов по mRS и NIHSS в зависимости от пола, возраста и типа инсульта (темп убыли), %
Table 3. Dynamics of changes in modified Rankin scale and National Institutes of Health Stroke Scale scores depending on sex, age, and stroke type (rate of decline), in %

Пациенты	Темпы восстановления, шкала	
	mRS	NIHSS
Пол		
• женщины	-11,1	-30,7
• мужчины	-9,6	-26,4
Возрастная категория, лет		
• младше 40	-13,2	-46,6
• 41–49	-13,5	-30,0
• 50–69	-11,1	-29,4
• 70–79	-8,1	-27,0
• старше 80	-7,9	-20,6
Тип инсульта		
• атеротромботический, лакунарный	-11,1	-31,4
• кардиоэмболический	-8,8	-23,1
• криптогенный	-9,7	-27,5
• внутримозговое кровоизлияние	-8,8	-27,0
• венозный	-12,0	-24,4

С учётом возрастного критерия динамика восстановления с оценкой по mRS была наиболее выражена у пациентов младше 40 лет ($T_{y6}=-13,2\%$) и в возрасте 41–49 лет ($T_{y6}=-13,5\%$). Применение NIHSS показало, что максимум величин темпа убыли ($T_{y6}=-46,6\%$) определяет восстановление пациентов младше 40 лет. Достаточный темп восстановления выявлен и для пациентов группы 41–49 лет ($T_{y6}=-30,0\%$), а также 50–69 лет ($T_{y6}=-29,4\%$).

В зависимости от типа инсульта динамика восстановления с оценкой по mRS была наиболее выражена у пациентов с венозным ($T_{y6}=-12,0\%$), атеротромботическим и лакунарным типом инсульта ($T_{y6}=-11,1\%$). С оценкой по NIHSS максимальная величина темпа убыли ($T_{y6}=-31,4\%$) определяла восстановление пациентов с атеротромботическим и лакунарным типом инсульта. Высокие значения темпа восстановления с оценкой по NIHSS получены также для лиц с криптогенным инсультом и внутримозговым кровоизлиянием ($T_{y6}=-27,5\%$ и $-27,0\%$ соответственно).

Данные табл. 4 отражают статистически значимо меньшие значения по NIHSS при выписке у пациентов без сопутствующих заболеваний по сравнению с группой пациентов с 4–6 сопутствующими заболеваниями ($p=0,024$), а также группой с 7 заболеваниями и более ($p=0,006$).

С учётом оценки по mRS (табл. 5) выявлены статистически меньшие значения при поступлении у пациентов с отсутствием сопутствующих заболеваний по сравнению с группой пациентов с 4–6 сопутствующими заболеваниями ($p=0,038$), а также группой с 7 заболеваниями и более ($p=0,003$); статистически достоверно различались между собой группа пациентов с 1–3 и 4–6 заболеваниями ($p=0,003$),

Таблица 4. Изменение функционального статуса по шкале NIHSS в остром периоде инсульта в зависимости от количества сопутствующих заболеваний

Table 4. Changes in functional status (National Institutes of Health Stroke Scale and modified Rankin scale) in the acute period of stroke depending on the number of concomitant diseases

Показатель	Сопутствующие заболевания, M±m (25%–Me–75%)					
	отсутствуют	1–3	4–6	≥7		
NIHSS_пост	7,14±1,16 (3,0–5,5–13,0)	9,64±0,24 (4,0–8,0–14,0)	10,09±0,33 (4,0–8,0–14,0)	13,00±1,60 (6,0–13,0–18,0)		
NIHSS_вып	4,00±1,0 (1,0–2,0–6,0)	6,87±0,21 (2,0–5,0–9,0)	7,36±0,30 (2,0–5,0–10,0)	9,54±1,48 (3,5–8,0–16,5)		
p-value	<0,001***	<0,001***	<0,001***	0,001***		
Темп убыли, %	-43,9	-28,7	-27,1	-26,6		
Состояние	p ₁	p ₂	p ₃	p ₄	p ₅	p ₆
При поступлении	0,944	0,468	0,054	0,828	0,146	0,382
При выписке	0,057	0,024*	0,006**	1,000	0,284	0,605

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Примечание. Здесь и в табл. 5: Уровень значимости различий между группами пациентов с отсутствием и наличием 1–3 заболеваний (p_1), 4–6 заболеваний (p_2), 7 и более заболеваний (p_3). Уровень значимости различий между группами с 1–3 и 4–6 заболеваниями (p_4), 1–3 и 7 и более заболеваниями (p_5), 4–6 и 7 и более заболеваниями (p_6).

Note. Here and in Table 5: Significance level of differences between groups of patients with no and 1–3 diseases (p_1), 4–6 diseases (p_2), 7 or more diseases (p_3). Level of significance of differences between groups with 1–3 and 4–6 diseases (p_4), 1–3 and 7 or more diseases (p_5), 4–6 and 7 or more diseases (p_6).

Таблица 5. Изменение функционального статуса по шкале mRS в остром периоде инсульта в зависимости от количества сопутствующих заболеваний**Table 5.** Changes in functional status on the scale mRS in the acute period of stroke depending on the number of concomitant diseases

Показатель	Сопутствующие заболевания, М±m (25%–Ме–75%)			
	отсутствуют	1–3	4–6	≥7
mRs_пост	2,17±0,30 (1,0–2,0–3,0)	2,81±0,05 (1,0–3,0–4,0)	3,09±0,06 (2,0–3,0–4,0)	3,75±0,27 (3,0–4,0–5,0)
mRs_вып	2,00±0,30 (1,0–1,0–3,0)	2,54±0,05 (1,0–3,0–4,0)	2,76±0,06 (1,0–3,0–4,0)	3,21±0,31 (2,0–3,0–5,0)
p-value	0,022*	<0,001***	<0,001***	0,001***
Темп убыли, %	-7,8	-9,6	-10,7	-14,4

Состояние	p ₁	p ₂	p ₃	p ₄	p ₅	p ₆
При поступлении	0,356	0,038*	0,003**	0,003***	0,015*	0,204
При выписке	0,505	0,096	0,041*	0,029*	0,238	1,000

Таблица 6. Ассоциации наличия коморбидных заболеваний и функционального состояния пациента (mRS) при поступлении и выписке из стационара**Table 6.** Associations between the presence of comorbidities and the patient's functional status (modified Rankin scale) upon admission and hospital discharge

Коморбидное заболевание	mRS, балл, ОШ (95% ДИ)			
	при поступлении		при выписке	
	1–3	4–5	1–3	4–5
ФП	0,60 (0,46–0,77)	1,68 (1,29–2,18)	0,61 (0,47–0,80)	1,64 (1,25–2,14)
ЦА	0,74 (0,60–0,91)	1,35 (1,10–1,67)	1,13 (0,91–1,39)	0,89 (0,72–1,10)
ХСН	0,72 (0,59–0,87)	1,39 (1,14–1,70)	0,61 (0,50–0,76)	1,63 (1,32–2,02)
АГ	-	-	0,70 (0,41–0,84)	1,44 (1,19–2,46)
ИБС	-	-	0,75 (0,60–0,92)	1,34 (1,08–1,65)

Примечание. ФП — фибрилляция предсердий; ЦА — церебральный атеросклероз; ХСН — хроническая сердечная недостаточность; АГ — артериальная гипертензия; ИБС — ишемическая болезнь сердца.

Note. ФП — atrial fibrillation; ЦА — cerebral atherosclerosis; ХСН — chronic heart failure; АГ — arterial hypertension; ИБС — coronary heart disease.

с 1–3 и 7 заболеваниями и более ($p=0,015$) при поступлении в стационар. Данные при выписке показали различия значений по mRS между группами пациентов без сопутствующих заболеваний и наличием их более 6 ($p=0,041$), между группами с 1–3 и 4–6 заболеваниями ($p=0,029$).

Величина темпа убыли баллов по NIHSS была максимальной в группе пациентов без сопутствующей патологии (-43,9%). Наибольшее значение темпа убыли баллов по mRs зарегистрировано у пациентов с 7 и более сопутствующими заболеваниями (-14,4%).

Результаты логистического регрессионного анализа для оценки независимых связей между наличием определённых сопутствующих заболеваний и функциональной «тяжестью» пациентов (mRs) показаны в табл. 6. Выявлены независимые связи между наличием ФП (ОШ 0,60; 95% ДИ 0,46–0,77), ЦА (ОШ 0,74; 95% ДИ 0,60–0,91), ХСН (ОШ 0,72; 95% ДИ 0,59–0,87) и более высоким баллом по mRs на момент поступления в стационар.

На момент выписки ФП (ОШ 0,61; 95% ДИ 0,47–0,80), ХСН (ОШ 0,61; 95% ДИ 0,50–0,76) АГ (ОШ 0,70; 95% ДИ 0,41–0,84) и ИБС (ОШ 0,75; 95% ДИ 0,60–0,92) были независимо связаны с высокими баллами по mRs, а наличие ЦА ассоциировалось с меньшими баллами по mRs (ОШ 1,13; 95% ДИ 0,91–1,39). Для других сопутствующих заболеваний (сахарный диабет, онкозаболевания) и значений по шкале NIHSS не удалось получить статистически значимых различий.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Исходя из результатов исследования, выделены факторы, влияющие на динамику функционального восстановления пациентов в остром периоде инсульта. Более значимым было восстановление у женщин и пациентов младших возрастных групп. Менее значимо

восстанавливались пациенты с кардиоэмболическим вариантом инсульта и с большим количеством сопутствующих заболеваний. Основными сопутствующими проблемами у пациентов с тяжёлым функциональным статусом (по mRS) были ФП, ХСН, ИБС и АГ.

Обсуждение основного результата исследования

В ранее проведённых научных работах вопрос гендерных различий в функциональных исходах инсульта рассматривался неоднократно. Полученные нами результаты относительно половых различий согласуются с данными Регистра инсульта Северо-Западной Германии, которые сообщают о большей инвалидизации женщин при поступлении в стационар, но более благоприятном функциональном исходе на момент выписки [21]. Наши результаты оказались противоположными относительно сведений Реестра инсультов Фукуоки (Япония), где у женщин был риск менее благоприятного функционального исхода, но только в возрасте ≥ 70 лет, без чётких различий по полу у пациентов в возрасте младше 70 лет [17].

Исследования, оценивающие функциональное восстановление в раннем и позднем восстановительных периодах инсульта, тоже были неоднозначны по результатам: описано лучшее функциональное восстановление у пожилых женщин, чем у мужчин [20], но выявлен более выраженный риск функциональной зависимости у пациенток старше 75 лет [18], в том числе не наблюдалось существенной разницы в абсолютном восстановлении или скорости достижения хорошего функционального результата между женщинами и мужчинами [24].

Фактор возраста в нашем исследовании был связан со снижением темпа восстановления у лиц более старших возрастных групп, что согласуется с данными предыдущих исследований [16], но у нас не было получено статистически значимых различий по «тяжести» функционального исхода на момент выписки у мужчин и женщин в разных возрастных группах. Учитывая более старший возраст госпитализированных женщин (см. табл. 1), но лучшую динамику восстановления в остром периоде, можно предположить существование совокупности неучтённых факторов, таких, например, как приверженность к лечению, когнитивный статус, обременённость вредными привычками или наличие определённых адаптационных механизмов в остром периоде инсульта у женщин, которые «не работают» у лиц мужского пола [20].

При анализе темпа убыли среди всех видов инсульта наименьшие значения с оценкой по обоим шкалам (NIHSS, mRS) продемонстрировал кардиоэмболический вариант. Эти результаты согласуются с данными других исследований о более тяжёлом течении этого вида, большем объёме поражения мозговой ткани и более частой геморрагической трансформации зоны ишемии при кардиоэмболическом инсульте [25]. Интерпретация значений темпа восстановления при внутримозговом кровоизлиянии

отличалась в зависимости от оценочной шкалы. Так, использование NIHSS, которая отражает неврологический дефицит, показало лучшую динамику восстановления при внутримозговом кровоизлиянии относительно mRS, указывающую на уровень функциональной независимости в повседневной жизни.

Коморбидная нагруженность у пациентов нашего исследования была связана с более высоким баллом по обоим оценочным шкалам как при поступлении, так и при выписке, что подтверждает результаты предыдущих работ [25, 27], но не было выявлено статистически значимого взаимодействия при оценке совместного влияния пар показателей пол-коморбидная нагрузка и возраст-коморбидная нагрузка на изменение балла по оценочным шкалам на момент выписки из стационара. Направление изменения показателей темпа убыли баллов по оценочным шкалам отличалось в зависимости от использованной шкалы: так, NIHSS в данной ситуации более наглядно отражала лучшую динамику восстановления у пациентов с отсутствием и меньшим количеством сопутствующих заболеваний.

При изучении литературы нами не найдено сведений, указывающих на использование показателя темпа убыли/прироста для оценки динамики восстановления пациентов после инсульта, хотя он применяется в биомедицинских исследованиях [30]. Мы считаем, что использование этого инструмента уместно для отражения динамических изменений уровней оценки по NIHSS и mRS в определённом временном интервале.

Среди сопутствующих заболеваний, которые ассоциировались с более тяжёлым функциональным статусом (mRS) на момент госпитализации, были выделены ФП, ЦА и ХСН. При выписке наличие ФП и ХСН также были связаны с риском неблагоприятного функционального исхода. Ранее было показано, что ФП — одна из основных причин развития кардиоэмболического инсульта — связана с риском развития обширных инфарктов и, как следствие, худших функциональных исходов [25]. Описано также влияние ХСН на ограничение функциональных возможностей к реабилитационным мероприятиям у таких пациентов с последующим вынужденным уменьшением объёма проводимой терапии и отрицательным воздействием на конечный функциональный результат, хотя, по данным других исследователей, не найдено статистически значимого отрицательно влияния ХСН на функциональный исход после инсульта [25].

Наличие у пациентов АГ и ИБС показало статистически значимую связь с худшим функциональным исходом только на момент выписки. Наши результаты подтверждают ранее известные факты об АГ как основном модифицируемом факторе риска развития инсульта, встречающемся не менее чем у 75% больных с острым нарушением мозгового кровообращения. АГ вызывает эндотелиальную дисфункцию и ангиопатию крупных и мелких сосудов, резко увеличивая ишемическое повреждение головного мозга, и ухудшает исход инсульта [16, 27, 28].

Несмотря выявленную связь факта наличия ЦА у пациентов с более высоким показателем по mRS при поступлении, при выписке ЦА был ассоциирован с лучшим функциональным исходом. Полученный результат согласуется с рассчитанным показателем темпа убыли баллов по оценочным шкалам у пациентов с атеротромботическим и лакунарным вариантом инсульта, так как ЦА является фоновым заболеванием для атеротромботического варианта. Пациенты этой группы демонстрировали лучший темп убыли баллов по NIHSS и mRS по сравнению с другими видами инсульта.

В нашем исследовании наличие сахарного диабета у пациентов не показало связи с более тяжёлым функциональным статусом (NIHSS, mRS) ни при поступлении, ни при выписке. Хотя на сегодняшний день продемонстрирована роль метаболических нарушений в качестве фактора риска развития инсульта и худших функциональных исходов при длительной гипергликемии, высоком уровне гликозилированного гемоглобина, остаётся неопределённость в оценке динамики восстановления пациентов с инсультом и сахарным диабетом [26].

Учитывая, что используемые для сравнения данные литературных источников были получены нами на основании регистровых исследований Японии, Китая, Северо-Западной Германии и Италии, сведения о функциональных изменениях в остром периоде инсульта, полученные в нашем наблюдении, уникальны для жителей Русского Севера.

Ограничения исследования

При сравнении нагрузки сопутствующей заболеваемости мы не использовали коэффициенты коморбидности (например, индекс коморбидности Чарлсона, Charlson Comorbidity Index; кумулятивная шкала оценки болезней, CIRS), так как не могли получить достаточного количества информации для их расчёта из первичной документации. Применение этих инструментов поможет более наглядно демонстрировать коморбидную нагрузку в дальнейших исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены потенциальные факторы, влияющие на функциональный исход и динамику восстановления

пациентов в остром периоде инсульта. Выявлено, что женщины восстанавливались лучше, несмотря на большую инвалидизацию при поступлении. Возраст и бремя коморбидности служили причинами, ограничивающими темп восстановления. ФП, ХСН, ИБС и АГ были основными сопутствующими проблемами, связанными с худшим функциональным исходом при выписке. Таким образом, полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования раннего функционального исхода у больных с инсультом и разработки индивидуализированных программ реабилитации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Исследование и публикации статьи осуществлены на личные средства авторского коллектива.

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

Вклад авторов. Н.М. Хасанова — разработка концепции, общее руководство, редактирование текста рукописи; Е.М. Черных — сбор, обработка данных, анализ данных, статистическая обработка, написание текста рукописи; А.А. Карякин, О.Е. Карякина — анализ данных, статистическая обработка, написание текста рукописи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. N.M. Khasanova — concept development, general guidance, manuscript editing; E.M. Chernykh — data collection, data processing, data analysis, statistical processing, manuscript writing; A.A. Karyakin, O.E. Karyakina — data analysis, statistical processing, manuscript writing. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. GBD 2019 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 // *Lancet Neurol*. 2021. Vol. 20, N 10. P. 795–820. EDN: ZWOYDK doi: 10.1016/S1474-4422(21)00252-0
2. МИАЦ: Единое информационное и организационное пространство системы здравоохранения Архангельской области [Интернет]. *Документы*. Режим доступа: <https://miac29.ru/docs/56/>. Дата обращения: 15.03.2024.

3. Ключихина О.А., Шпрах В.В., Стаховская Л.В., и др. Показатели заболеваемости инсультом и смертности от него на территориях, вошедших в Федеральную программу реорганизации помощи пациентам с инсультом // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2021. Т. 121, № 3-2. С. 22–28. EDN: NXKVSA doi: 10.17116/jnevro202112103222
4. Гусев Е.И., Коновалов А.Н., Скворцова В.И., Гехт А.Б. *Неврология*. Национальное руководство. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 1035 с.

5. Kwakkel G., Kollen B.J. Predicting activities after stroke: What is clinically relevant? // *Int J Stroke*. 2013. Vol. 8, N 1. P. 25–32. EDN: RJUXLJ doi: 10.1111/j.1747-4949.2012.00967.x
6. Майорова Л.А., Гречко А.В., Фатеева В.В. Двухлетнее проспективное продольное исследование динамики когнитивных функций в различные периоды инсульта // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2023. Т. 123, № 12-2. С. 36–42. EDN: SEIZNW doi: 10.17116/jnevro202312312236
7. Куракина А.С., Семенова Т.Н., Гузанова Е.В., и др. Прогностическое значение исследования нейронспецифической енолазы у пациентов с ишемическим инсультом // *Современные технологии в медицине*. 2021. Т. 13, № 2. С. 68–73. EDN: GAATSE doi: 10.17691/stm2021.13.2.08
8. Хайруллин А.Т., Кутлубаев М.А., Рахматуллин А.Р., Сафуанова Г.Ш. Клинико-лабораторные предикторы неблагоприятного исхода геморрагического инсульта // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2022. Т. 122, № 3-2. С. 17–21. EDN: QFRNKP doi: 10.17116/jnevro202212203217
9. Курепина И.С., Зорин Р.А., Жаднов В.А., Сорокин О.А. Геморрагический инсульт: нейрофизиологические предикторы острого периода // *Acta Biomedica Scientifica*. 2020. Т. 5, № 5. С. 47–52. EDN: AMIHLE doi: 10.29413/ABS.2020-5.5.6
10. Reale G., Giovannini S., Iacovelli C., et al. Actigraphic measurement of the upper limbs for the prediction of ischemic stroke prognosis: An observational study // *Sensors (Basel)*. 2021. Vol. 21, N 7. P. 2479. EDN: PGNBGI doi: 10.3390/s21072479
11. Семенова Т.Н., Григорьева В.Н., Новосадова О.А. Дисфункция руки и ее восстановление в остром периоде лакунарного ишемического инсульта // *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2020. Т. 16, № 1. С. 380–383. EDN: JSUQKE
12. Kenzie J.M., Rajashekar D., Goodyear B.G., Dukelow S.P. Resting state functional connectivity associated with impaired proprioception post-stroke // *Hum Brain Mapp*. 2024. Vol. 45, N 1. P. e26541. doi: 10.1002/hbm.26541
13. Алферова В.В., Шкловский В.М., Иванова Е.Г., и др. Прогноз постинсультной афазии // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018. Т. 118, № 4. С. 20–29. EDN: XQXPWN doi: 10.17116/jnevro20181184120-29
14. Wilson S.M., Eriksson D.K., Brandt T.H., et al. Patterns of recovery from aphasia in the first 2 weeks after stroke // *J Speech Lang Hear Res*. 2019. Vol. 62, N 3. P. 723–732. doi: 10.1044/2018_JSLHR-L-18-0254
15. Шурупова М.А., Айзенштейн А.Д., Иванова Г.Е. Гомонимная гемианопсия и зрительный неглект. Часть II — реабилитация // *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2023. Т. 5, № 3. С. 237–254. EDN: QMUMHI doi: 10.36425/rehab516531
16. Candelario-Jalil E., Paul S. Impact of aging and comorbidities on ischemic stroke outcomes in preclinical animal models: A translational perspective // *Exp Neurol*. 2021. N 335. P. 113494. EDN: ZXOCHT doi: 10.1016/j.expneurol.2020.113494
17. Irie F., Kamouchi M., Hata J., et al.; FSR Investigators. Sex differences in short-term outcomes after acute ischemic stroke: The Fukuoka stroke registry // *Stroke*. 2015. Vol. 46, N 2. P. 471–476. doi: 10.1161/STROKEAHA.114.006739
18. Irie F., Matsuo R., Nakamura K., et al.; Fukuoka Stroke Registry Investigators. Sex differences in long-term functional decline after ischemic stroke: A longitudinal observational study from the Fukuoka stroke registry // *Cerebrovasc Dis*. 2023. Vol. 52, N 4. P. 409–416. EDN: RKFSFK doi: 10.1159/000526940
19. Wang M., Wang C.J., Gu H.Q., et al. Sex differences in short-term and long-term outcomes among patients with acute ischemic stroke in China // *Stroke*. 2022. Vol. 53, N 7. P. 2268–2275. EDN: BICSHP doi: 10.1161/STROKEAHA.121.037121
20. Poggesi A., Insalata G., Papi G., et al. Gender differences in post-stroke functional outcome at discharge from an intensive rehabilitation hospital // *Eur J Neurol*. 2021. Vol. 28, N 5. P. 1601–1608. doi: 10.1111/ene.14769
21. Bonkhoff A.K., Karch A., Weber R., et al. Female stroke: Sex differences in acute treatment and early outcomes of acute ischemic stroke // *Stroke*. 2021. Vol. 52, N 2. P. 406–415. doi: 10.1161/STROKEAHA.120.032850
22. Hawe R.L., Cluff T., Dowlathshahi D., et al. Assessment of sex differences in recovery of motor and sensory impairments poststroke // *Neurorehabil Neural Repair*. 2020. Vol. 34, N 8. P. 746–757. doi: 10.1177/1545968320935811
23. Renoux C., Coulombe J., Li L., et al.; Oxford Vascular Study. Confounding by pre-morbid functional status in studies of apparent sex differences in severity and outcome of stroke // *Stroke*. 2017. Vol. 48, N 10. P. 2731–2738. doi: 10.1161/STROKEAHA.117.018187
24. Scrutinio D., Battista P., Guida P., et al. Sex differences in long-term mortality and functional outcome after rehabilitation in patients with severe stroke // *Front Neurol*. 2020. N 11. P. 84. EDN: YHAPSC doi: 10.3389/fneur.2020.00084
25. Бархатов Ю.Д., Кадыков А.С. Прогностические факторы восстановления нарушенных в результате ишемического инсульта двигательных функций // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2017. Т. 11, № 1. С. 80–89. EDN: YJJZGB
26. Танащян М.М., Максимова М.Ю., Антонова К.В., и др. Восстановление после ишемического инсульта пациентов с сахарным диабетом 2 типа // *Фарматека*. 2019. Т. 26, № 3. С. 65–70. EDN: YZCLUL doi: 10.18565/pharmateca.2019.3.65-70
27. Cipolla M.J., Liebeskind D.S., Chan S.L. The importance of comorbidities in ischemic stroke: Impact of hypertension on the cerebral circulation // *J Cereb Blood Flow Metab*. 2018. Vol. 38, N 12. P. 2129–2149. doi: 10.1177/0271678X18800589
28. Ефремова О.А., Бондаренко Е.В., Камышникова Л.А., и др. Динамика восстановления пациентов с ишемическим инсультом в зависимости от показателей артериального давления и его вариабельности // *Архив внутренней медицины*. 2023. Т. 1, № 3. С. 46–56. EDN: LMZZMT doi: 10.20514/2226-6704-2023-13-1-46-56
29. Бондарь И.А., Краснопевцева И.П. Влияние уровня гликемии на динамику восстановления неврологического статуса при остром нарушении мозгового кровообращения у больных сахарным диабетом // *Сибирский медицинский вестник*. 2018. № 2. С. 3–7. EDN: YOCKBV
30. Карякина О.Е., Добродеева Л.К. Взаимосвязь шеддинга рецепторов лимфоцитов с параметрами иммунологической реактивности у жителей Севера // *Экология человека*. 2016. № 11. С. 29–34. EDN: WYQLYR doi: 10.33396/1728-0869-2016-11-29-34

REFERENCES

1. GBD 2019 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Neurol.* 2021;20(10):795–820. EDN: ZWOYDK doi: 10.1016/S1474-4422(21)00252-0
2. MIAC: Unified information and organisational space of the Arkhangelsk Oblast health care system [Internet]. *Documents.* (In Russ). Available from: <https://miac29.ru/docs/56/>. Accessed: 15.03.2024.
3. Klochikhina OA, Shprakh VV, Stakhovskaya LV, et al. Indicators of stroke morbidity and mortality from stroke in the territories included in the federal program of caring for patients with stroke. *S.S. Korsakov J Neurol Psychiatry.* 2021;121(3-2):22–28. EDN: NXKVSA doi: 10.17116/jnevro202112103222
4. Gusev EI, Konovalov AN, Skvortsova VI, Gekht AB. *Neurology. National Guidelines.* Moscow: GEOTAR-Media; 2009.1035 p. (In Russ).
5. Kwakkel G, Kollen BJ. Predicting activities after stroke: What is clinically relevant? *Int J Stroke.* 2013;8(1):25–32. EDN: RJUJLJ doi: 10.1111/j.1747-4949.2012.00967.x
6. Mayorova LA, Grechko AV, Fateeva VV. A two-year prospective longitudinal study of the dynamics of cognitive functions during different periods of stroke. *S.S. Korsakov J Neurol Psychiatry.* 2023;123(12-2):36–42. EDN: SEIZNW doi: 10.17116/jnevro202312312236
7. Kurakina AS, Semenova TN, Guzanova EV, et al. Prognostic value of investigating neuron-specific enolase in patients with ischemic stroke. *Modern Tech Med.* 2021;13(2):68–73. EDN: GAATSE doi: 10.17691/stm2021.13.2.08
8. Khayrullin AT, Kutlubaev MA, Rakhmatullin AR, Safuanova GS. Clinical and laboratory predictors of unfavorable outcome in hemorrhagic stroke. *S.S. Korsakov J Neurol Psychiatry.* 2022;122(3-2):17–21. EDN: QFRNKP doi: 10.17116/jnevro202212203217
9. Kurepina IS, Zorin RA, Zhadnov VA, Sorokin OA. Hemorrhagic stroke: Neurophysiological predictors of the acute period. *Acta Biomed Sci.* 2020;5(5):47–52. EDN: AMIHLE doi: 10.29413/ABS.2020-5.5.6
10. Reale G, Giovannini S, Iacovelli C, et al. Actigraphic measurement of the upper limbs for the prediction of ischemic stroke prognosis: An observational study. *Sensors (Basel).* 2021;21(7):2479. EDN: PGNBGI doi: 10.3390/s21072479
11. Semenova TN, Grigorieva VN, Novosadova OA. Hand dysfunction and its recovery in the acute period of lacunar ischemic stroke. *Saratov J Med Sci Res.* 2020;16(1):380–383. EDN: JSUQKE
12. Kenzie JM, Rajashekar D, Goodyear BG, Dukelow SP. Resting state functional connectivity associated with impaired proprioception post-stroke. *Hum Brain Mapp.* 2024;45(1):e26541. doi: 10.1002/hbm.26541
13. Alferova VV, Shklovsky VM, Ivanova EG., et al. Prognosis of post-stroke aphasia. *S.S. Korsakov J Neurol Psychiatry.* 2018;122(4):20–29. EDN: QXQPHW doi: 10.17116/jnevro20181184120-29
14. Wilson SM, Eriksson DK, Brandt TH, et al. Patterns of recovery from aphasia in the first 2 weeks after stroke. *J Speech Lang Hear Res.* 2019;62(3):723–732. doi: 10.1044/2018_JSLHR-L-18-0254
15. Shurupova MA, Aizenshtein AD, Ivanova GE. Homonymous hemianopsia and visual neglect. Part II: Rehabilitation. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation.* 2023;5(3):237–254. EDN: QMUMHI doi: 10.36425/rehab516531
16. Candelario-Jalil E, Paul S. Impact of aging and comorbidities on ischemic stroke outcomes in preclinical animal models: A translational perspective. *Exp Neurol.* 2021;(335):113494. EDN: ZXOCHT doi: 10.1016/j.expneurol.2020.113494
17. Irie F, Kamouchi M, Hata J, et al.; FSR Investigators. Sex differences in short-term outcomes after acute ischemic stroke: The Fukuoka stroke registry. *Stroke.* 2015;46(2):471–476. doi: 10.1161/STROKEAHA.114.006739
18. Irie F, Matsuo R, Nakamura K, et al.; Fukuoka Stroke Registry Investigators. Sex differences in long-term functional decline after ischemic stroke: A longitudinal observational study from the Fukuoka stroke registry. *Cerebrovasc Dis.* 2023;52(4):409–416. EDN: RKFSFK doi: 10.1159/000526940
19. Wang M, Wang CJ, Gu HQ, et al. Sex differences in short-term and long-term outcomes among patients with acute ischemic stroke in china. *Stroke.* 2022;53(7):2268–2275. EDN: BICSHP doi: 10.1161/STROKEAHA.121.037121
20. Poggesi A, Insalata G, Papi G, et al. Gender differences in post-stroke functional outcome at discharge from an intensive rehabilitation hospital. *Eur J Neurol.* 2021;28(5):1601–1608. doi: 10.1111/ene.14769
21. Bonkhoff AK, Karch A, Weber R, et al. Female stroke: Sex differences in acute treatment and early outcomes of acute ischemic stroke. *Stroke.* 2021;52(2):406–415. doi: 10.1161/STROKEAHA.120.032850
22. Hawe RL, Cluff T, Dowlatshahi D, et al. Assessment of sex differences in recovery of motor and sensory impairments poststroke. *Neurorehabil Neural Repair.* 2020;34(8):746–757. doi: 10.1177/1545968320935811
23. Renoux C, Coulombe J, Li L, et al.; Oxford Vascular Study. Confounding by pre-morbid functional status in studies of apparent sex differences in severity and outcome of stroke. *Stroke.* 2017;48(10):2731–2738. doi: 10.1161/STROKEAHA.117.018187
24. Scrutinio D, Battista P, Guida P, et al. Sex differences in long-term mortality and functional outcome after rehabilitation in patients with severe stroke. *Front Neurol.* 2020;(11):84. EDN: YHAPSC doi: 10.3389/fneur.2020.00084
25. Barkhatov YuD, Kadykov AS. Prognostic factors for recovery of motor dysfunction following ischemic stroke. *Ann Clin Exp Neurol.* 2017;11(1): 80–89. EDN: YJJZGB
26. Tanashyan MM, Maksimova MYu, Antonova KV, et al. Recovery after ischemic stroke in patients with type 2 diabetes mellitus. *Pharmateka.* 2019;26(3):65–70. EDN: YZCLUL doi: 10.18565/pharmateka.2019.3.65-70
27. Cipolla MJ, Liebeskind DS, Chan SL. The importance of comorbidities in ischemic stroke: Impact of hypertension on the cerebral circulation. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2018;38(12): 2129–2149. doi: 10.1177/0271678X18800589
28. Efremova OA, Bondarenko EV, Kamyshnikova LA, et al. Recovery dynamics in patients with ischemic stroke depending on the blood pressure indicators and its variability. *Russ Arch Int Med.* 2023;13(1): 46–56. EDN: LMZZMT doi: 10.20514/2226-6704-2023-13-1-46-56
29. Bondar IA, Krasnopevtseva IP. Influence of glycemic level on the dynamics of recovery of neurological status in acute cerebrovascular accident in patients with diabetes mellitus. *Sibirskii meditsinskii vestnik.* 2018;(2):3–7. EDN: YOCKBV
30. Karyakina OE, Dobrodeeva LK. Correlation of the shedding of lymphocytes receptors with parameters of immunologic reactivity in residents of the north. *Human Ecology.* 2016;11:29–34. EDN: WYQLYR doi: 10.33396/1728-0869-2016-11-29-34

ОБ АВТОРАХ

*** Черных Екатерина Михайловна;**

адрес: Россия, 163001, Архангельск, пр. Троицкий, д. 51;

ORCID: 0000-0002-6523-7071;

eLibrary SPIN: 8296-2286;

e-mail: raduga0302@mail.ru

Хасанова Нина Минувалиевна, канд. мед. наук, доцент;

ORCID: 0000-0003-0729-3726;

eLibrary SPIN: 6834-6281;

e-mail: khasanovanina@rambler.ru

Карякин Алексей Андреевич, канд. тех. наук, доцент;

ORCID: 0009-0002-4458-8702;

eLibrary SPIN: 7296-3303;

e-mail: biophysica@yandex.ru

Карякина Ольга Евгеньевна, канд. биол. наук, доцент;

ORCID: 0000-0003-0781-0164;

eLibrary SPIN: 3269-1935;

e-mail: o.travnikova@narfu.ru

AUTHORS' INFO

*** Ekaterina M. Chernykh;**

address: 51 Troitsky prospect, 163001 Arkhangelsk, Russia;

ORCID: 0000-0002-6523-7071;

eLibrary SPIN: 8296-2286;

e-mail: raduga0302@mail.ru

Nina M. Khasanova, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor;

ORCID: 0000-0003-0729-3726;

eLibrary SPIN: 6834-6281;

e-mail: khasanovanina@rambler.ru

Aleksey A. Karyakin, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor;

ORCID: 0009-0002-4458-8702;

eLibrary SPIN: 7296-3303;

e-mail: biophysica@yandex.ru

Olga E. Karyakina, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor;

ORCID: 0000-0003-0781-0164;

eLibrary SPIN: 3269-1935;

e-mail: o.travnikova@narfu.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab626484>

Постуральный баланс и когнитивные функции: взаимодействие и значение для реабилитации (научный обзор)

Ю.П. Зверев¹, Т.В. Буйлова^{1, 2}, А.А. Туличев²¹ Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия;² Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена обобщению закономерностей постурально-когнитивного взаимодействия и их практического использования в физической реабилитации. Рассматриваются морфофункциональные основы взаимосвязи между постуральным балансом и когнитивными функциями, в частности роль вестибулярной системы в когнитивных процессах и участие когнитивных функций в поддержании равновесия. Проанализированы закономерности взаимодействия между постуральным балансом и когнитивными функциями, включая глобальный характер постурально-когнитивного взаимодействия, влияние многозадачности, типа двигательной задачи (статическая или динамическая), её сложности, новизны и вариативности.

В обзоре представлены перспективы практического применения концепции постурально-когнитивного взаимодействия в физической реабилитации. К ним можно отнести использование в программах реабилитации методов когнитивного тренинга, которые за счёт положительного переноса эффекта тренировки улучшают не только когнитивные функции, но и постуральную устойчивость, а также повышают способность выполнять двойные и многозадачные действия, в том числе относящиеся к активностям повседневной жизни. Ещё одним перспективным направлением практического применения взаимосвязи когнитивных функций и постурального баланса являются вестибулярные тренировки, которые за счёт вестибулярно-когнитивного взаимодействия способствуют улучшению когнитивного статуса.

Учитывая социальную значимость нейрокогнитивных расстройств и важность их ранней диагностики, рассматриваются вопросы, связанные с выявлением объективных коррелятов и предикторов снижения когнитивных функций, в частности базовых пространственных и пространственно-временных параметров статической стабиллометрии, а также расчётных стабиллометрических индексов.

Ключевые слова: постуральный баланс; когнитивные функции; стабиллометрия; реабилитация.

Как цитировать:

Зверев Ю.П., Буйлова Т.В., Туличев А.А. Постуральный баланс и когнитивные функции: взаимодействие и значение для реабилитации (научный обзор) // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 2. С. 143–156. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab626484>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab626484>

Postural balance and cognitive functions: interaction and significance for rehabilitation (scientific review)

Yury P. Zverev¹, Tatyana V. Builova^{1, 2}, Alexander A. Tulichev²

¹ Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhni Novgorod, Russia;

² Privolzhsky Research Medical University, Nizhni Novgorod, Russia

ABSTRACT

The study analyses the patterns of postural-cognitive interaction and their possible application in physical rehabilitation. The morphofunctional basis of the relationship between postural balance and cognitive functions is considered, particularly the role of the vestibular system in cognitive processes and the participation of cognitive functions in the regulation of equilibrium. The interaction patterns between postural balance and cognitive functions were analyzed, including the global nature of postural-cognitive interaction, influence of multitasking, and type of motor task (static or dynamic), its complexity, novelty and variability.

The review presents the prospects and advantages of the practical application of the concept of postural-cognitive interaction in physical rehabilitation. These include the use of cognitive training methods in rehabilitation programs, which, due to the positive transfer of the effect of training, improves cognitive functions and postural stability and increases the ability to perform two or more tasks, including those related to activities of daily living. Vestibular training is another promising area of practical application of interaction between cognitive functions and postural balance; accordingly, vestibular-cognitive interaction contributes to the improvement of cognitive status.

Considering the social significance of neurocognitive disorders and the importance of their early diagnosis, issues related to the identification of objective correlates and predictors of cognitive decline, particularly the basic spatial and spatiotemporal parameters of static posturography and stabilometric indices, are taken into account.

Keywords: postural balance; cognitive functions; stabilometry; rehabilitation.

To cite this article:

Zverev YuP, Builova TV, Tulichev AA. Postural balance and cognitive functions: interaction and significance for rehabilitation (scientific review). *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(2):143–156. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab626484>

Список сокращений

ОЦД — общий центр давления

DSM-V (Diagnostic and statistical manual of mental diseases) — рекомендация по диагностике и статистике психических расстройств

IPS (Index of Postural Stability) — индекс постуральной стабильности

MoCA (Montreal Cognitive Assessment) — Монреальский тест когнитивной оценки

VPS (Visual Dependency Index of Postural Stability) — индекс визуальной зависимости постуральной стабильности

ВВЕДЕНИЕ

Представления о связи моторных функций, в частности постурального баланса, и когнитивных доменов претерпели существенные изменения от рассмотрения их абсолютно независимыми процессами, обособленно развивающимися и вовлекающими различные нервные субстраты, до современных концепций взаимосвязи моторики и когнитивных функций [1–3]. В соответствии с системной моделью, постуральный контроль не является отдельной морфофункциональной системой [3]. Для эффективного поддержания постуральной ориентации и устойчивости необходимы динамическое взаимодействие и координация между центральной нервной системой, сенсорными системами, а также опорно-двигательным аппаратом с привлечением различных ресурсов — биомеханических, когнитивных, сенсорных и двигательных [3].

В последнее время вырос интерес к когнитивному компоненту системы постурального контроля. Несмотря на то, что в хорошо освоенных положениях тела и двигательных действиях равновесие поддерживается автоматически, когнитивные функции необходимы для всех видов постурального баланса, и чем сложнее двигательное действие, тем больше требуется когнитивных ресурсов [1, 2]. Вовлечённость когнитивных функций в постуральный контроль наглядно прослеживается в условиях многозадачности, например, при выполнении двойных заданий или при смене заданий [2, 4]. Дефицит внимания ограничивает способность человека получать информацию об окружающей среде, своевременно обнаруживать изменения в ближайшем окружении, что уменьшает возможности проактивного и реактивного постурального контроля [5]. Когнитивные проблемы снижают также способность человека обучаться или восстанавливать навыки постурального баланса, уменьшают эффективность постурального контроля, что приводит к снижению функциональной мобильности и возможности самообслуживания и повышает риск падений [6].

Проведённые исследования по постурально-когнитивному взаимодействию дали противоречивые результаты: от полного отсутствия связи между показателями постурального контроля и когнитивных функций до наличия значимой связи различной степени выраженности [1, 2]. Отчасти такое противоречие может объясняться гетерогенностью и многокомпонентностью как когнитивных функций, так и постурального баланса [3]. Кроме того, постуральный баланс часто рассматривался не как самостоятельный компонент,

а как часть мобильности или крупной моторики, чаще всего в комплексе с ходьбой [1].

Учёт постурально-когнитивного взаимодействия имеет как теоретическое, так и практическое значение и может быть полезен в подборе наиболее эффективных реабилитационных программ по восстановлению или развитию моторных и/или когнитивных функций, а также в выявлении постуральных коррелятов когнитивных функций, в том числе для ранней диагностики когнитивных нарушений [1, 2].

ОБОБЩЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПОСТУРАЛЬНО-КОГНИТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

Критерии поиска и включения литературных источников

Подбор литературных источников проводился в августе-сентябре 2023 года в базах данных PubMed, eLibrary, Google Scholar, Cochrane. Использовались следующие ключевые слова и их комбинации на русском и английском языках: постуральный контроль (postural control), баланс (balance), когнитивные функции (cognitive functions), реабилитация (rehabilitation), постурография (posturography), когнитивные нарушения (cognitive disorders), постурально-когнитивное взаимодействие (posture-cognitive interaction), вестибулярная система (vestibular system). Глубина поиска составила 20 лет. В обзор включены также несколько более ранних классических публикаций, содержащих концептуальную информацию. Всего найдено 132 источника. После анализа исследований для обзора было отобрано 68 источников.

Критерии включения: научные обзоры литературы и метаанализы, оригинальные статьи, клинические руководства, монографии. Критерии исключения: низкое методологическое качество, отсутствие полного текста, материалы конференций.

Гетерогенность постурального баланса и когнитивных функций

Понятие постурального баланса, как и когнитивных функций, является обобщённым и гетерогенным. Под постуральным балансом человека понимают способность

поддерживать и управлять положением общего центра тяжести тела в пределах базы опоры в целях предотвращения падения или потери равновесия при статическом или динамическом положении [7]. Исходя из определения, в постуральном балансе выделяют статический, динамический (реактивный и проактивный), а также произвольный компоненты.

В клинической практике для оценки постурального баланса кроме инструментальных методов используют также простые или комбинированные клинические шкалы с применением статических и динамических заданий [8]. Наиболее доступным инструментальным методом является стабилметрия, которая оценивает устойчивость вертикального положения тела по пространственным, пространственно-временным и спектральным характеристикам колебаний проекции общего центра тяжести тела на плоскость опоры [9].

Когнитивные функции являются наиболее сложными (высшими) психическими (познавательными) функциями головного мозга, с помощью которых осуществляется рациональное познание мира и целенаправленное взаимодействие с ним [10]. Это широкий термин, который относится к психическим процессам, участвующим в приобретении знаний, манипулировании информацией и рассуждении [11]. Хотя центральная нервная система является морфологической основой познания, различие между мозгом и познанием сравнивается с отношением между компьютерным оборудованием и компьютерным программным обеспечением [11].

Для анализа когнитивные функции разделяются на группы или домены. В клинической практике широко используется классификация, изложенная в международных рекомендациях по диагностике и статистике психических расстройств (Diagnostic and statistical manual of mental diseases, DSM-V) [12]. В ней на основе клинико-диагностического подхода выделено 6 основных доменов когнитивных функций, которые соответствуют группам различных клинических когнитивных нарушений.

1. Комплексное внимание, включающее сосредоточенное, распределённое и избирательное внимание.
2. Управляющие (executive) функции, или когнитивный контроль, — когнитивные способности высшего уровня, необходимые для координации и управления другими когнитивными способностями и поведением. К ключевым управляющим функциям относят торможение (тормозной контроль, включая самоконтроль и контроль помех (избирательное внимание и когнитивное торможение), рабочую (оперативную) память, когнитивную гибкость. На основе этих функций строятся управляющие функции более высокого порядка — рассуждение, решение проблем и планирование [13].
3. Обучение и память: сенсорная (непосредственная), оперативная, долговременная память и скрытое (бессознательное) обучение (процедурное обучение).
4. Речевые функции: экспрессивная речь и рецептивная речь.

5. Восприятие и перцептивно-моторные (психомоторные) функции, включая способность воспринимать сенсорную информацию, зрительно-конструктивные способности, гнозис, праксис.

6. Социальный интеллект — узнавание и понимание эмоций, логики и мотивов поведения других людей.

Детально когнитивные функции классифицированы также в Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья [14].

Для оценки когнитивных функций в клинической практике применяют нейропсихологическое тестирование и инструментальные методы (нейровизуализация — компьютерная или магнитно-резонансная томография головного мозга, электроэнцефалография и др.). Нейропсихологические тесты и пробы достаточно разнообразны и оценивают один или несколько доменов когнитивных функций человека независимо от медицинского диагноза [15]. Простейшими нейропсихологическими методиками являются скрининговые шкалы, которые не занимают много времени и не вызывают затруднений при интерпретации результатов.

Природа взаимосвязи между постуральным балансом и когнитивными функциями

Предлагается несколько объяснений связи между когнитивными и двигательными навыками [16]. Морфофункциональной основой взаимодействия между когнитивными процессами и постуральным контролем являются различные структуры головного мозга, которые коактивируются при выполнении двигательных и когнитивных задач. К этим структурам относятся префронтальная кора и гиппокамп (важны для высших когнитивных функций), базальные ганглии и мозжечок (важны для комплексных и координированных движений) [13]. Коактивация более выражена при выполнении сложных, новых или высокоскоростных задач [16]. Кроме того, взаимосвязь между постуральным балансом и когнитивными функциями обуславливают временной фактор (их формирование имеет сходные временные рамки) и общность базовых процессов, таких как выработка и закрепление определённой последовательности, мониторинг и планирование [17, 18].

Связь между вестибулярной системой и когнитивными функциями:

вестибулярно-когнитивное взаимодействие

Роль вестибулярной системы в постуральном контроле хорошо известна. В последние годы возросло внимание уделяется взаимному влиянию вестибулярной системы и когнитивной сферы — вестибулярно-когнитивному взаимодействию. С одной стороны, показано влияние вестибулярной системы на способность к когнитивной обработке информации и переключению внимания, пространственное восприятие и память, управляющие когнитивные функции [19, 20]. С другой стороны, имеются доказательства участия когнитивных процессов в регуляции равновесия за счёт влияния на обработку сенсорных сигналов от вестибулярной системы

(вестибулярного сенсорного входа) [21]. Эпидемиологические исследования также косвенно подтверждают наличие взаимосвязи между двумя системами: в частности, отмечается высокая распространённость вестибулярных расстройств среди пациентов с когнитивными нарушениями по сравнению со здоровыми людьми [22].

Морфофункциональной основой вестибулярно-когнитивного взаимодействия может являться корковая нейронная сеть, используемая обеими системами [23]. Показано, что вестибулярная система активирует обширную кортикальную область, включающую верхнюю височную извилину, гиппокамп, нижнюю теменную область и другие структуры [19]. Эти же корковые структуры участвуют в механизмах памяти, зрительно-пространственного восприятия и других когнитивных функций. Такое совместное использование различными функциями одних и тех же структур (вестибулярно-когнитивная нейронная сеть) является основой не только их взаимодействия, но и потенциальной конкуренции [19].

Влияние вестибулярной системы на когнитивные функции особенно заметно при различных вестибулярных дисфункциях, которые часто сочетаются с когнитивными расстройствами (сочетанные вестибулярно-когнитивные нарушения) [19, 24]. Когнитивные дисфункции также влияют на вестибулярную систему. Предполагается наличие единых патогенетических механизмов развития когнитивной дисфункции и нарушения равновесия [19, 25]. Например, атрофия гиппокампа в результате вестибулярной патологии часто приводит к снижению пространственной памяти [26]. Атрофия гиппокампа развивается также в результате нарушения процессов нейрогенеза, вызванного болезнью Альцгеймера — наиболее частой причиной деменции, что отражается как на когнитивных, так и вестибулярных функциях [27, 28]. Именно поэтому атрофия гиппокампа может рассматриваться как пример вестибулярно-когнитивного взаимодействия в случае патологии, приводящего к сочетанным вестибулярно-когнитивным нарушениям [29–31].

Модель многозадачности как показатель связи моторных и когнитивных функций

Взаимосвязь когнитивных функций и постурального баланса прослеживается в условиях многозадачности или при выполнении двойных заданий, в которых к двигательной задаче по поддержанию статического или динамического равновесия добавляется когнитивная задача, связанная с беглой речью, рабочей памятью, мысленным отслеживанием, распознаванием образов, принятием решения и др. [30, 31]. При этом вторая задача не связана с первой и реализуется и оценивается отдельно от неё [31]. К двойным заданиям относятся многие рутинные действия повседневной жизни, поэтому их использование в качестве модели моторно-когнитивного взаимодействия является обоснованным. Механизм взаимодействия между двойными задачами объясняет модель совместного использования центральных ресурсов [32]. Согласно данной модели, одновременное выполнение двух или более задач требует взаимодействия между

ними (когнитивно-моторное взаимодействие) и привлечения внимания ко всем задачам. Предполагается, что когнитивная и моторная системы реципрокно (взаимно) или конкурентно используют совместные перекрывающиеся или параллельные ресурсы внимания для переработки и интеграции информации. Данные ресурсы функционально ограничены. Простые двойные задания, выполняемые автоматически, не перегружают когнитивные возможности человека [32]. Сложные задания, требующие существенного когнитивного контроля, могут привести к перегрузке внимания и конкуренции между заданиями или к когнитивно-моторному вмешательству (cognitive-motor interference), снижающему эффективность выполнения одной или обеих задач [32]. В этих условиях необходима приоритизация одной из задач. Существует предположение, что более приоритетным является поддержание постуральной стабильности, а не обеспечение когнитивных функций (принцип «устойчивость прежде всего») [24]. Такая приоритизация является адаптивным ответом, поскольку позволяет сохранить постуральную устойчивость и уменьшить риск падения и травматизации [19]. Двойные задания демонстрируют важность фокусировки внимания и участия других когнитивных процессов, таких как торможение и рабочая память, для поддержания постурального баланса [32].

Общие закономерности связи и взаимодействия между постуральным балансом и когнитивными функциями (постурально-когнитивного взаимодействия)

В анализе связи когнитивных функций и постурального контроля выделяют три взаимосвязанных аспекта: наличие и выраженность взаимосвязи между отдельными когнитивными доменами и постуральным балансом; зависимость постурально-когнитивного взаимодействия от выполняемой задачи и различия между когнитивным вовлечением в статический и динамический постуральный баланс [30, 33].

Глобальный характер постурально-когнитивного взаимодействия

Результаты систематических анализов и отдельных исследований позволяют предположить, что связь между когнитивными функциями и постуральным балансом не ограничивается единичным когнитивным доменом или видом постурального баланса, а является глобальной [34, 35]. О глобальном характере постурально-когнитивного взаимодействия свидетельствует вовлечённость когнитивной сферы даже в высокоавтоматизированные действия повседневной жизни, выполняемые здоровыми молодыми людьми [36]. Однако, несмотря на глобальный характер связи, вклад отдельных когнитивных доменов в постурально-когнитивное взаимодействие различен [34]. Одни домены вовлечены в постуральный контроль в большей степени, чем другие. Из шести когнитивных доменов, приведённых в DSM-V, основное значение в плане постурально-когнитивного взаимодействия отводится трём — комплексному вниманию,

управляющим функциям и обучению и памяти. Это не означает, что другие домены не участвуют в постуральном балансе, просто их вклад менее изучен.

Нейропсихологические исследования показали, что более сложные и комплексные движения, требующие существенного вовлечения когнитивной сферы, особенно высших когнитивных функций (например, мелкая моторика или билатеральная координация), имеют более выраженную ассоциацию с когнитивными функциями, чем более простые автоматизированные двигательные функции (например, постуральный баланс) [16, 37].

Исследования, целенаправленно посвящённые изучению взаимосвязи постурального баланса и когнитивных функций, немногочисленны, поскольку постуральный баланс часто рассматривался в комплексе с другими компонентами мобильности, например ходьбой. Результаты исследований достаточно противоречивы. Так, недавний систематический обзор и метаанализ взаимосвязи некоторых когнитивных функций (регулирующие функции, память, быстрота когнитивного ответа — домен внимание, глобальный когнитивный статус) и постурального баланса у здоровых пожилых людей показал, что все анализируемые когнитивные функции имели значимую корреляцию с постуральным балансом [34]. Однако сила ассоциации была различна: управляющие функции, в частности тормозной контроль, глобальный когнитивный статус и быстрота обработки информации (когнитивного ответа), имели наиболее сильную положительную корреляцию с постуральным балансом, а память — наименьшую. Это означает, что люди с лучшими показателями постурального баланса также имели более хорошие показатели вышеперечисленных когнитивных функций, и наоборот. Более раннее исследование также показало значимую взаимосвязь между общим когнитивным статусом и статическим балансом у пожилых людей [38]. Противоположные результаты приведены в систематическом обзоре взаимосвязи мобильности и когнитивных функций у пожилых людей — отсутствие значимой связи между постуральным компонентом мобильности и когнитивными показателями (общий когнитивный статус, память, управляющие функции, скорость обработки информации — домен внимание) [35]. Однако результаты этого обзора могут быть генерализованы или интерпретированы с определённой осторожностью из-за небольшого количества исследований, проведённых по данной тематике.

Следует отметить, что многие исследования постурально-когнитивного взаимодействия имели ограничения. Например, отсутствовало разделение на статический и динамический баланс, поскольку измерительные инструменты, в частности клинические шкалы, оценивали оба компонента [34]. Другое ограничение связано с «эффектом потолка»: тесты на оценку баланса были достаточно простыми, и пациенты легко набирали максимальные баллы [35]. Данный факт акцентирует необходимость комплексной оценки баланса с использованием тестов достаточной сложности, поскольку постурально-когнитивная взаимосвязь лучше проявляется в более сложных заданиях [34, 35, 39].

На постурально-когнитивное взаимодействие влияет не только тип задачи, но и её сложность, новизна и вариативность

Важными факторами, определяющими силу связи между когнитивными функциями и постуральным балансом, являются не только тип выполняемой задачи, но и её сложность, новизна и вариативность [34, 36, 40, 41]. Простые, хорошо освоенные действия (например, поддержание баланса в стабильных условиях) выполняются автоматически и не требуют существенного когнитивного вовлечения. Для успешного выполнения сложных, новых (не освоенных) и вариативных действий необходим когнитивный контроль (управляющие функции) [13, 36, 42]. Данный тезис подтверждается исследованиями с применением нейровизуализации, которые показали, что только новые и сложные моторные задания вызывают активацию дорсолатеральной префронтальной коры головного мозга и неocerebellума, которые играют критическую роль в моторном и когнитивном контроле [13, 36, 42]. С. Stuhr и соавт. [36] предположили, что именно сложность и вариативность двигательного действия определяют степень вовлечения когнитивного контроля в его выполнение. По их мнению, тип задания и его сложность/вариативность вовлекают разные уровни когнитивных функций [36]. Тип моторного задания активирует базовые когнитивные процессы, необходимые для его выполнения. Например, задания на балансировку активируют тормозной контроль, а мелкая моторика — операционную память. При увеличении сложности и вариативности задания привлекается другой уровень когнитивных процессов, обеспечивающий выполнение задания в условиях высокой вариативности.

Отличия постурально-когнитивного взаимодействия в статике и динамике

Поддержание статического и динамического постурального баланса имеет несколько отличные двигательные задачи. Статический постуральный баланс направлен на поддержание постуральной устойчивости и ориентации при неизменной базе опоры. При динамических условиях необходимо реагировать на различные пертурбации (реактивный контроль) или предупреждать возможные отклонения (проактивный контроль) [43]. Базируясь на принципе влияния типа задания, а также его сложности и вариативности на постурально-когнитивное взаимодействие, можно предположить, что динамический постуральный контроль требует большего вовлечения когнитивной сферы, чем статический. Низкая согласованность показателей статического и динамического баланса по данным инструментальных исследований или оценке по клиническим шкалам также подтверждает наличие различий между ними [30, 44].

Несмотря на то что оба типа постурального баланса контролируются одними и теми же мозговыми структурами, вклад этих структур в поддержании статического или динамического постурального баланса отличается [45]. При спокойном стоянии постуральная устойчивость в основном обеспечивается за счёт стабилизирующего эффекта тонических сокращений

антигравитационных мышц [46]. Данный механизм является автоматическим, реализуется в основном нейрональными цепями более низкого уровня сенсомоторной системы спинного мозга и ствола мозга с привлечением модулирующих влияний мозжечка и базальных ганглиев [45, 47], поэтому не требует существенного привлечения сферы сознания. Для поддержания равновесия в более сложных динамических условиях, в которых увеличиваются сенсорный поток и необходимость в сенсорной интеграции, проактивном и произвольном контроле и целенаправленных движениях, увеличивается вовлечение более высоких уровней головного мозга (кора, включая префронтальные отделы и задние парietальные зоны) и когнитивных ресурсов [45, 48].

Таким образом, динамический баланс в целом является более сложным и комплексным, чем статический, нуждается в большем вовлечении когнитивных ресурсов, однако независимо от двигательной задачи (статическая или динамическая), когнитивный вклад в постуральный баланс возрастает по мере увеличения сложности задания, добавления другого задания или изменения окружения, что отражается в увеличении кортикальной активности [49].

Перспективы практического применения концепции постурально-когнитивного взаимодействия в практике физической реабилитации

Тренировка постурально-когнитивного взаимодействия

Исследования показали, что перспективным методом повышения постуральной устойчивости, особенно у пожилых людей, являются когнитивные тренировки, направленные на улучшение когнитивных функций, таких как внимание и управляющие функции [33]. Комплексные когнитивные тренировки, включающие задания на память и внимание, улучшают не только тренируемые функции, но и оказывают положительное влияние на другие когнитивные домены, которые не были вовлечены в тренировку, что обозначается как положительный перенос эффекта [50, 51]. Положительный перенос возможен как между близкими когнитивными функциями (например, вербальная рабочая память и пространственно-зрительная память), так и несвязанными когнитивными доменами (например, память и когнитивное торможение или скорость обработки информации) [50]. Перенесённый положительный эффект сохраняется несколько месяцев после тренировок.

Показано, что положительный перенос эффекта тренировки также происходит при использовании двойных заданий и с когнитивных функций на постуральные [33, 52]. При этом улучшается общая способность выполнять двойные и многозадачные действия, относящиеся в том числе к активностям повседневной жизни. Теоретической основой улучшения функции постурального баланса с позиции переноса положительного эффекта когнитивной тренировки является улучшение способности совместного использования

ресурсов внимания в постурально-когнитивных заданиях, а также увеличение скорости обработки информации, улучшение тормозного контроля, распределённого и избирательного внимания [33].

Таким образом, улучшение когнитивных способностей с помощью персонализированных программ когнитивной реабилитации может оказать положительное влияние на постуральный баланс [33]. Реабилитационные программы, основанные на улучшении когнитивных способностей, являются хорошей альтернативой для людей с низкой физической работоспособностью. Дополнительные исследования необходимы для уточнения содержания и применения таких программ, а также возможных ограничений и длительности эффектов.

В настоящее время влияние физической активности на когнитивные функции, включая память, обработку информации и управляющие функции, не вызывает сомнений [53, 54]. Большинство исследований влияния физической активности на когнитивную сферу фокусировалось на аэробных тренировках, поскольку считалось, что именно данный тип физических упражнений оказывает наибольшее положительное влияние на когнитивные функции человека. Однако метаанализ, проведённый J. Young и соавт. [55], показал отсутствие чётких доказательств причинно-следственных связей между улучшением когнитивных функций и аэробной физической активностью. Другими направлениями улучшения/восстановления когнитивных функций является применение мультимодальных упражнений, мультикомпонентных функциональных тренировок, йоги и других техник, сочетающих когнитивную тренировку с упражнениями на постуральный баланс. Наблюдаемый при этом синергичный положительный эффект на постуральную устойчивость и когнитивные функции понятен и ожидаем.

Ещё одним методом реабилитации, основанном на постурально-когнитивном взаимодействии, являются вестибулярные тренировки, направленные на улучшение когнитивного статуса. Проведённые исследования показали улучшение когнитивных функций при применении монотренировок, включающих только упражнения на постуральный баланс, стимулирующие вестибулярную систему. Так, результаты 12-недельных круговых вестибулярных тренировок с упражнениями на реактивный постуральный баланс показали улучшение памяти и пространственного восприятия у здоровых взрослых в возрасте от 18 до 65 лет [53]. Другое недавнее исследование также продемонстрировало улучшение глобального когнитивного статуса у пожилых людей с хронической сердечной недостаточностью в результате домашних тренировок на баланс [56]. Результаты этих исследований подтверждают предположение J. Young и соавт. [55] о том, что аэробная тренировка и улучшение физической работоспособности не является фактором, опосредующим эффект физической активности на когнитивные функции.

Теоретической основой эффекта вестибулярной тренировки на когнитивные функции является описанное выше нейрональное взаимодействие между вестибулярной

и когнитивной системой. Имеется предположение, что вызванное движениями тела увеличение потока информации между вестибулярными ядрами и мозжечком, гиппокампом, префронтальной и париетальной корой, а также другими структурами мозга (вестибулярно-когнитивное взаимодействие) является своеобразным посредником между двигательными и когнитивными функциями [57]. Существенную роль в вестибулярно-когнитивном взаимодействии играет гиппокамп. Вестибулярная информация, получаемая гиппокампом, критична для формирования пространственной памяти [57]. Мультиmodalность вестибулярных проводящих путей вследствие конвергенции вестибулярной, соматосенсорной и зрительной информации в ядрах ствола мозга и мозжечка также является важным фактором, участвующим в обучении, формировании памяти и пространственном восприятии [58].

Таким образом, вестибулярные монотренировки без дополнения их аэробными или другими нагрузками способны улучшить состояние когнитивной сферы и такие когнитивные функции, как память и пространственное восприятие.

Стабилометрические предикторы когнитивных нарушений

Исследования корреляции стабиллометрических параметров и показателей когнитивных функций немногочисленны, но они представляют как теоретический, так и практический интерес для раннего выявления когнитивных нарушений и подбора наиболее эффективных реабилитационных вмешательств [59]. Ранняя диагностика особенно важна при нейрокогнитивных расстройствах, поскольку длительное время они протекают латентно, без формирования очерченных клинических синдромов, и часто диагностируются на поздних стадиях, когда лечение малоэффективно [29, 59]. Согласно DSM-V, категория нейрокогнитивных расстройств включает группу состояний, при которых первичным клиническим проявлением выступает нарушение когнитивных функций [12]. Хотя когнитивный дефицит присутствует при многих психических и неврологических заболеваниях, к нейрокогнитивным отнесены только расстройства, основными признаками которых являются приобретённое нарушение когнитивных функций, которое представляет собой снижение ранее достигнутого уровня функционирования [12]. В DSM-IV нейрокогнитивные расстройства обозначались как деменция, делирий, амнестические и другие когнитивные расстройства.

Выявление объективных стабиллометрических коррелятов снижения когнитивных функций на ранних субклинических стадиях нейрокогнитивных расстройств является крайне важным, поскольку позволяет начать своевременное лечение и реабилитацию и затормозить развитие болезни [60]. Практическая значимость раннего выявления когнитивных нарушений возросла в последние годы в связи с регистрацией адуканумаба (aducanumab) — препарата для лечения и замедления течения болезни Альцгеймера [61]. Применение данного препарата наиболее

эффективно на ранних стадиях болезни, в том числе при её преклинических формах.

Наиболее часто в качестве возможных предикторов когнитивных нарушений рассматриваются базовые пространственные и пространственно-временные параметры статической стабиллометрии, включающие площадь и длину статокинезиограммы, положение и девиацию общего центра давления (ОЦД) в сагиттальной (переднезадней) и фронтальной (медиолатеральной) плоскостях, скорость перемещения ОЦД, которые регистрируются с открытыми и закрытыми глазами пациента [59, 62, 63]. Стабиллометрия позволяет объективно оценить параметры постуральных колебаний тела как показателя способности поддерживать баланс: чем меньше постуральные колебания, тем лучше постуральная устойчивость и тем меньше нужно прилагать физических усилий и когнитивных ресурсов для сохранения равновесия [64].

Несколько исследований оценивали величину отклонений ОЦД в медиолатеральном и переднезаднем направлении у разных категорий людей. Так, систематический обзор и метаанализ постурографических показателей у пациентов с умеренными нейрокогнитивными расстройствами (mild neurocognitive disorders) выявил увеличение амплитуды колебаний ОЦД в переднезаднем и медиолатеральном направлениях при стоянии с открытыми, но не закрытыми глазами (размер эффекта от небольшого до среднего) [65]. Авторы предположили, что увеличение постуральных колебаний с открытыми глазами является результатом нарушения центральной обработки зрительной информации, наблюдаемой при умеренных нейрокогнитивных расстройствах, а отсутствие эффекта при стоянии с закрытыми глазами — недостаточной надёжностью тестирования в этих условиях. Амплитуда и скорость колебаний ОЦД в переднезаднем направлении были существенно выше, чем в медиолатеральном. Было высказано предположение, что колебания ОЦД в переднезадней плоскости могут являться наиболее чувствительным постурологическим коррелятом умеренных нейрокогнитивных расстройств, поскольку движения в этой плоскости (голеностопная стратегия) наиболее часто используются для поддержания постуральной устойчивости в статическом положении [62]. Однако в работе S.F. Alsubaie [63] получены другие результаты — большая амплитуда колебаний ОЦД в медиолатеральной, но не в переднезадней плоскости, что может объясняться различными протоколами проведения исследований. В исследовании приводилась корреляция между стабиллометрическими показателями постуральных колебаний (линейные отклонения ОЦД) и когнитивными способностями, которые оценивались с помощью Монреальского теста когнитивной оценки (Montreal Cognitive Assessment, MoCA) [63]. Обнаружена значимая положительная корреляция только между величиной медиолатеральных отклонений ОЦД при стоянии с закрытыми глазами на мягкой поверхности и MoCA. В данном положении система постурального контроля использует в основном вестибулярный сенсорный вход, возможности которого ограничены при когнитивных нарушениях, в частности в результате болезни

Альцгеймера [19, 25]. Следует отметить, что большинство участников исследования набрали высокие баллы по тесту МоСА (эффект потолка), что уменьшает значимость корреляции. Ещё одно исследование с применением шкалы МоСА выявило ассоциацию между общим баллом МоСА и площадью статокенизограммы у пациентов старше 50 лет с умеренными нейрокогнитивными расстройствами [66].

Исследование постурографических параметров у пациентов с умеренными нейрокогнитивными расстройствами с применением «Клинического теста сенсорной интеграции для баланса» (Clinical Test of Sensory Integration and Balance) показало ухудшение индекса стабильности в переднезаднем и медиолатеральном направлениях в 2 положениях — стоя с открытыми глазами на твёрдой опорной поверхности и на мягкой поверхности [67], при этом степень неустойчивости зависела от выраженности когнитивных нарушений. Различия между индексами стабильности в медиолатеральной и переднезадней плоскостях не достигали уровня статистической значимости.

В недавнем исследовании Y. Suzuki и соавт. [29] предложены новые расчётные стабилметрические индексы для оценки постурального баланса — индекс визуальной зависимости постуральной стабильности (Visual Dependency Index of Postural Stability, VPS) и индекс постуральной стабильности (Index of Postural Stability, IPS) в качестве скринингового инструмента и предиктора ранних когнитивных нарушений при доклинических формах нейрокогнитивных расстройств. IPS рассчитывался на основе стабилметрически измеренной области постуральных отклонений и области стабильности при стоянии на стабилметрической платформе и наклонах тела влево, вправо, вперёд и назад. VPS является отношением IPS, рассчитанным при стоянии на мягкой поверхности с закрытыми и открытыми глазами. По сути, он оценивает вклад вестибулярного анализатора в постуральную устойчивость и основан на концепции вестибулярно-когнитивного взаимодействия. Результаты показали, что пациенты с доклиническими формами когнитивных нарушений имели значительно большие величины VPS, чем контроль, что свидетельствует о снижении постуральной устойчивости. Кроме того, значения VPS имели значимую отрицательную корреляцию с величинами МоСА как показателя когнитивных функций.

Таким образом, анализ литературных источников показал, что, несмотря на немногочисленность публикаций, можно предположить перспективность применения базовых пространственных и пространственно-временных параметров статической постурографии, а также интегральных показателей стабилметрии в качестве предикторов когнитивных нарушений. Однако данный вопрос требует дальнейшего исследования с участием здоровых людей и пациентов с различными видами нейрокогнитивных расстройств. Для выбора надёжных стабилметрических коррелятов снижения когнитивных функций важно решение вопроса о том, является ли нарушение постурального баланса результатом снижения когнитивных способностей или его можно рассматривать предиктором когнитивных нарушений [68].

Кроме того, важен системный анализ связи специфических параметров стабилметрии с различными когнитивными доменами [59].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Актуальность анализа механизмов и форм постурально-когнитивного взаимодействия продиктована необходимостью подбора наиболее эффективных реабилитационных программ по восстановлению или развитию моторных и/или когнитивных функций и в выявлении постуральных коррелятов когнитивных функций, в том числе для ранней диагностики нейрокогнитивных нарушений.

Связь между постуральным контролем и когнитивными функциями имеет глобальный характер, однако вклад отдельных когнитивных доменов в постурально-когнитивное взаимодействие различен и зависит от вида задания (статика или динамика) и модулируется его сложностью, новизной и вариативностью.

Перспективным методом повышения постуральной устойчивости, особенно у пожилых людей, являются когнитивные тренировки, которые улучшают не только тренируемые когнитивные функции, но и оказывают положительное влияние на другие когнитивные домены (положительный перенос эффекта тренировки). При этом положительный перенос эффекта также происходит и с когнитивных функций на постуральные, что повышает как постуральную устойчивость, так и общую способность выполнять двойные и многозадачные действия, относящиеся в том числе к активностям повседневной жизни. Реабилитационные программы, основанные на улучшении когнитивных способностей, являются хорошей альтернативой или дополнением для людей, которые по разным причинам имеют низкую физическую работоспособность. Дополнительные исследования необходимы для уточнения содержания и применения таких программ, а также возможных ограничений и длительности эффектов. Ещё одним направлением физической реабилитации, основанном на постурально-когнитивном взаимодействии, являются вестибулярные тренировки, направленные на улучшение когнитивного статуса. Поскольку статический и динамический постуральный баланс имеют отличные двигательные задачи и степень сложности, оба компонента должны оцениваться и включаться в тренировки.

Выявление объективных коррелятов снижения когнитивных функций на ранних субклинических стадиях нейрокогнитивных расстройств является крайне важным, поскольку позволяет начать своевременное лечение и реабилитацию и затормозить или даже реверсировать развитие болезни. Перспективным является применение базовых пространственных и пространственно-временных параметров статической постурографии, а также интегральных показателей стабилметрии в качестве индикаторов и предикторов когнитивных нарушений, однако данный вопрос требует дальнейших исследований с участием здоровых людей и пациентов с различными видами нейрокогнитивных расстройств.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Исследовательская работа проведена на личные средства авторского коллектива.

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

Вклад авторов. Ю.П. Зверев — разработка дизайна исследования, анализ и интерпретация литературных источников, написание текста рукописи, утверждение рукописи для публикации; Т.В. Буйлова — разработка дизайна исследования, научная редакция текста рукописи, проверка содержания, формулирование заключения; утверждение рукописи для публикации; А.А. Туличев — подбор литературных источников, анализ публикаций по тематике статьи, написание текста рукописи, утверждение рукописи для публикации. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. Yu.P. Zverev — development of research design, analysis and interpretation of data; review of publications on the topic of the article, writing the text of the manuscript, approval of the manuscript for publication; T.V. Builova — development of research design, scientific revision of the text of the manuscript, verification of the content, formulation of the conclusion; approval of the manuscript for publication; A.A. Tulichev — selection of literary sources, analysis of publications on the subject of the article, collection and processing of data, statistical analysis, writing the text of the manuscript, approval of the manuscript for publication. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xiao T., Yang L., Smith L., et al. Correlation between cognition and balance among middle-aged and older adults observed through a tai chi intervention program // *Front Psychol.* 2020. N 11. P. 668. doi: 10.3389/fpsyg.2020.00668
2. Базанова О.М., Ковалева А.В. Исследования психофизиологических показателей пострального контроля. Вклад российской научной школы. Часть I // *Физиология человека.* 2022. Т. 48, № 2. С. 113–136. EDN: KGLQBE doi: 10.31857/S0131164622020023
3. Horak F.B. Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? // *Age Ageing.* 2006. Vol. 35, Suppl. 2. P. ii7–ii11. EDN: IKEUWF doi: 10.1093/ageing/af1077
4. Stephan D.N., Hensen S., Fintor E., et al. Influences of postural control on cognitive control in task switching // *Front Psychol.* 2018. N 9. P. 1153. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01153
5. Woollacott M., Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research // *Gait Posture.* 2002. Vol. 16, N 1. P. 1–14. doi: 10.1016/S0966-6362(01)00156-4
6. Парфенов В.А., Захаров В.В., Преображенская И.С. *Когнитивные расстройства.* Москва: Ремедиум, 2014. 192 с.
7. Horak F.B., Nashner L.M. Central programming of posture control: Adaptation to altered support surface configurations // *J Neurophysiol.* 1986. Vol. 55, N 6. P. 1369–1381. doi: 10.1152/jn.1986.55.6.1369
8. Иванова Г.Е., Скворцов Д.В., Климов Л.В. Оценка постральной функции в клинической практике // *Вестник восстановительной медицины.* 2014. № 1. С. 19–25. EDN: SPLBTF
9. Гаже П.М., Вебер Б. *Постурология. Регуляция и нарушения равновесия тела человека.* Санкт-Петербург: Издательский дом СПбМАПО, 2008. 314 с.
10. *Когнитивные расстройства у лиц пожилого и старческого возраста: клинические рекомендации.* Москва: Перо; 2021. 344 с.
11. Kiely K.M. *Cognitive function.* In: A.C. Michalos, editor. *Encyclopedia of quality of life and well-being research.* Dordrecht: Springer, 2014. P. 974–978. doi: 1007/978-94-007-0753-5_426
12. *Diagnostic and statistical manual of mental diseases.* V ed. (DSM-V). London: American Psychiatric Association, 2013. 947 p.
13. Diamond A. Executive functions // *Ann Rev Psychol.* 2013. N 64. P. 135–168. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750
14. *Международная классификация функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья: МКФ* [интернет-ресурс]. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2001. 351 с. Режим доступа: <https://skssrc.ru/files/2022/mkf.pdf>. Дата обращения: 15.01.2024.
15. Соловьева А.П., Горячев Д.В., Архипов В.В. Критерии оценки когнитивных нарушений в клинических исследованиях // *Вестник научного центра экспертизы средств медицинского применения.* 2018. Т. 8, № 4. С. 218–230. EDN: YQDKHR doi: 10.30895/1991-2919-2018-8-4-218-230
16. Van der Fels I.M., Wierike S.C., Hartman E., et al. The relationship between motor skills and cognitive skills in 4–16 year old typically developing children: A systematic review // *J Sci Med Sport.* 2015. Vol. 18, N 6. P. 697–703. doi: 10.1016/j.jsams.2014.09.007
17. Anderson V., Anderson P., Northam E., et al. Development of executive functions through late childhood and adolescence: An Australian sample // *Dev Neuropsychol.* 2001. Vol. 20, N 1. P. 385–406. doi: 10.1207/S15326942DN2001_5
18. Roebers C.M., Kauer M. Motor and cognitive control in a normative sample of 7-year-olds // *Dev Sci.* 2009. Vol. 12, N 1. P. 175–181. doi: 10.1111/j.1467-7687.2008.00755.x
19. Bigelow R.T., Agrawal Y. Vestibular involvement in cognition: Visuospatial ability, attention, executive function, and memory // *J Vestib Res.* 2015. Vol. 25, N 2. P. 73–89. EDN: UWTAFI doi: 10.3233/VES-150544
20. Dobbels B., Peetermans O., Boon B., et al. Impact of bilateral vestibulopathy on spatial and nonspatial cognition: A systematic review // *Ear Hear.* 2019. Vol. 40, N 4. P. 757–765. EDN: ORGLJZ doi: 10.1097/AUD.0000000000000679
21. Mast F.W., Preuss N., Hartmann M., Grabherr L. Spatial cognition, body representation and affective processes: The role of vestibular information beyond ocular reflexes and control of posture // *Front Integr Neurosci.* 2014. Vol. 27, N 8. P. 44. EDN: VJFCRF doi: 10.3389/fnint.2014.00044

22. Agrawal Y., Smith P.F., Rosenberg P.B. Vestibular impairment, cognitive decline and Alzheimer's disease: Balancing the evidence // *Aging Ment Health*. 2020. Vol. 24, N 5. P. 705–708. doi: 10.1080/13607863.2019.1566813
23. Ventre-Dominey J. Vestibular function in the temporal and parietal cortex: Distinct velocity and inertial processing pathways // *Front Integr Neurosci*. 2014. N 8. P. 53. doi: 10.3389/fnint.2014.00053
24. Gresty M.A., Golding J.F. Impact of vertigo and spatial disorientation on concurrent cognitive tasks // *Ann NY Acad Sci*. 2009. N 1164. P. 263–267. doi: 10.1111/j.1749-6632.2008.03744.x
25. Hüfner K., Stephan T., Hamilton D.A., et al. Gray-matter atrophy after chronic complete unilateral vestibular deafferentation // *Ann NY Acad Sci*. 2009. N 1164. P. 383–385. doi: 10.1111/j.1749-6632.2008.03719.x
26. Kamil R.J., Jacob A., Ratnanather J.T., et al. Vestibular function and hippocampal volume in the Baltimore longitudinal study of aging (BLSA) // *Otol Neurotol*. 2018. Vol. 39, N 6. P. 765–771. doi: 10.1097/MAO.0000000000001838
27. Lazarov O., Hollands C. Hippocampal neurogenesis: Learning to remember // *Prog Neurobiol*. 2016. N 138–140. P. 1–18. doi: 10.1016/j.pneurobio.2015.12.006
28. Tighilet B., Chabbert C. Adult neurogenesis promotes balance recovery after vestibular loss // *Prog Neurobiol*. 2019. N 174. P. 28–35. doi: 10.1016/j.pneurobio.2019.01.001
29. Suzuki Y., Tsubaki T., Nakaya K., et al. New balance capability index as a screening tool for mild cognitive impairment // *BMC Geriatrics*. 2023. Vol. 23, N 1. P. 74. EDN: IPNXXV doi: 10.1186/s12877-023-03777-6
30. Rizzato A., Paoli A., Andretta M., et al. Are static and dynamic postural balance assessments two sides of the same coin? A cross-sectional study in the older adults // *Front Physiol*. 2021. N 12. P. 681370. doi: 10.3389/fphys.2021.681370
31. McIsaac T.L., Lamberg E.M., Muratori L.M. Building a framework for a dual task taxonomy // *BioMed Res Int*. 2015. Vol. 2015. P. 591475. doi: 10.1155/2015/591475
32. Tombu M., Jolicoeur P. A central capacity sharing model of dual-task performance // *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2003. Vol. 29, N 1. P. 3–18. EDN: GXKDLQ doi: 10.1037/0096-1523.29.1.3
33. Borel L., Alescio-Lautier B. Posture and cognition in the elderly: Interaction and contribution to the rehabilitation strategies // *Neurophysiol Clin*. 2014. Vol. 44, N 1. P. 95–107. doi: 10.1016/j.neucli.2013.10.129
34. Divandari N., Bird M.L., Vakili M., Jaberzadeh S. The association between cognitive domains and postural balance among healthy older adults: A systematic review of literature and meta-analysis // *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2023. Vol. 23, N 11. P. 681–693. EDN: WFFPPN doi: 10.1007/s11910-023-01305-y
35. Demnitz N., Patrick E., Helen D., et al. A systematic review and meta-analysis of cross-sectional studies examining the relationship between mobility and cognition in healthy older adults // *Gait Posture*. 2016. N 50. P. 164–174. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.08.028
36. Stühr C., Hughes C.M., Stöckel T. Task-specific and variability driven activation of cognitive control processes during motor performance // *Sci Rep*. 2018. Vol. 8, N 1. P. 10811. EDN: YJECQH doi: 10.1038/s41598-018-29007-3
37. Best J.R. Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise // *Dev Rev*. 2010. Vol. 30, N 4. P. 331–351. doi: 10.1016/j.dr.2010.08.001
38. Rosano C., Simonsick E.M., Harris T.B., et al. Association between physical function and cognitive function in healthy elderly: The health, aging and body composition study // *Neuroepidemiology*. 2005. Vol. 24, N 1–2. P. 8–14. doi: 10.1159/000081043
39. Heaw Y.C., Singh D.K., Tan M.P., Kumar S. Bidirectional association between executive and physical functions among older adults: A systematic review // *Austral J Ageing*. 2022. Vol. 41, N 1. P. 20–41. doi: 10.1111/ajag.13008
40. Stöckel T., Wunsch K., Hughes C.M. Age-related decline in anticipatory motor planning and its relation to cognitive and motor skill proficiency // *Front Aging Neurosci*. 2017. N 9. P. 283. doi: 10.3389/fnagi.2017.00283
41. Bayot M., Dujardin K., Tard C., et al. The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning // *Neurophysiol Clin*. 2018. Vol. 48, N 6. P. 361–375. doi: 10.1016/j.neucli.2018.10.003
42. Chein J.M., Schneider W. Neuroimaging studies of practice-related change: fMRI and meta-analytic evidence of a domain general control network for learning // *Cogn Brain Res*. 2005. Vol. 25, N 3.P. 607–623. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.08.013
43. Winter D.A. *Biomechanics and motor control of human movement*. 4th ed. New York: John Wiley, 2009. 384 p.
44. Muehlbauer T., Besemer C., Wehrle A., et al. Relationship between strength, power and balance performance in seniors // *Gerontology*. 2012. Vol. 58, N 6. P. 504–512. doi: 10.1159/000341614
45. Takakusaki K., Takahashi M., Obara K., Chiba R. Neural substrates involved in the control of posture // *Adv Robot*. 2016. Vol. 31, N 1–2. P. 2–23. doi: 10.1080/01691864.2016.1252690
46. Morasso P., Cherif A., Zenzeri J. Quiet standing: the single inverted pendulum model is not so bad after all // *PLoS One*. 2019. Vol. 14, N 3. P. e0213870. doi: 10.1371/journal.pone.0213870
47. Sargent O.J., Dadalco O.I., Pickett K.A., Travers B.G. Balance and the brain: A review of structural brain correlates of postural balance and balance training in humans // *Gait Posture*. 2019. N 71. P. 245–252. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.05.011
48. Bolton D.A. The role of the cerebral cortex in postural responses to externally induced perturbations // *Neurosci Biobehav Rev*. 2015. N 57. P. 142–155. EDN: VGEUIZ doi: 10.1016/j.neubiorev.2015.08.014
49. Edwards A.E., Guven O., Furman M.D., et al. Electroencephalographic correlates of continuous postural tasks of increasing difficulty // *Neuroscience*. 2018. N 395. P. 35–48. EDN: PUTJGV doi: 10.1016/j.neuroscience.2018.10.040
50. Borella E., Carretti B., Ribo F., De Beni R. Working memory training in older adults: Evidence of transfer and maintenance effects // *Psychol Aging*. 2010. Vol. 25, N 4. P. 767–778. doi: 10.1037/a0020683
51. Levine B., Stuss D.T., Winocur G., et al. Cognitive rehabilitation in the elderly: Effects on strategic behaviour in relation to goal management // *J Int Neuropsychol Soc*. 2007. Vol. 13, N 1. P. 143–152. EDN: HWGCIT doi: 10.1017/S1355617707070178
52. Bherer L., Kramer A.F., Peterson M.S., et al. Transfer effects in task-set cost and dual-task cost after dual-task training in older and younger adults: Further evidence for cognitive plasticity in attentional control in late adulthood // *Exp Aging Res*. 2008. Vol. 34, N 3. P. 188–219. doi: 10.1080/03610730802070068
53. Rogge A.K., Röder B., Zech A., et al. Balance training improves memory and spatial cognition in healthy adults // *Sci Rep*. 2017. Vol. 7, N 1. P. 572. doi: 10.1038/s41598-017-06071-9

54. Chapman S.B., Aslan S., Spence J.S., et al. Shorter term aerobic exercise improves brain, cognition, and cardiovascular fitness in aging // *Front Aging Neurosci.* 2013. N 5. P. 75. doi: 10.3389/fnagi.2013.00075
55. Young J., Angevare M., Rusted J., Tabet N. Aerobic exercise to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment // *Cochrane Database Syst Rev.* 2015. Vol. 2015, N 4. P. CD005381. doi: 10.1002/14651858.CD005381.pub4
56. Gholami M., Salari Z., Yarahmadi R., et al. Effects of balance training on cognitive function and activities of daily living in older adult patients with heart failure: A randomized controlled trial // *Ir J Med Sci.* 2023. Vol. 193, N 1. P. 111–121. EDN: NDFSDD doi: 10.1007/s11845-023-03436-0
57. Smith P.F., Darlington C.L., Zheng Y. Move it or lose it: Is stimulation of the vestibular system necessary for normal spatial memory? // *Hippocampus.* 2010. Vol. 20, N 1. P. 36–43. doi: 10.1002/hipo.20588
58. Angelaki D.E., Cullen K.E. Vestibular system: The many facets of a multimodal sense // *Annu Rev Neurosci.* 2008. N 31. P. 125–150. doi: 10.1146/annurev.neuro.31.060407.125555
59. Bahureksa L., Najafi B., Saleh A., et al. The impact of mild cognitive impairment on gait and balance: A systematic review and meta-analysis of studies using instrumented assessment // *Gerontology.* 2017. Vol. 63, N 1. P. 67–83. doi: 10.1159/000445831
60. Livingston G., Huntley J., Sommerlad A., et al. Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the lancet commission // *Lancet.* 2020. Vol. 396, N 10248. P. 413–446. EDN: VAADCC doi: 10.1016/S0140-6736(20)30367-6
61. Mullard A. FDA approval for Biogen's aducanumab sparks Alzheimer disease firestorm // *Nat Rev Drug Discov.* 2021. Vol. 20, N 7. P. 496. doi: 10.1038/d41573-021-00099-3
62. Leandri M., Cammisuli S., Cammarata S., et al. Balance features in Alzheimer's disease and amnesic mild cognitive impairment // *J Alzheimer's Dis.* 2009. Vol. 16, N 1. P. 113–120. doi: 10.3233/JAD-2009-0928
63. Alsubaie S.F. the postural stability measures most related to aging, physical performance, and cognitive function in healthy adults // *BioMed Res Int.* 2020. Vol. 2020. P. 5301534. doi: 10.1155/2020/5301534
64. Johansson J., Nordström A., Gustafson Y., et al. Increased postural sway during quiet stance as a risk factor for prospective falls in community-dwelling elderly individuals // *Age Ageing.* 2017. Vol. 46, N 6. P. 964–970. doi: 10.1093/ageing/afx083
65. Lindsay B., Najafi B., Saleh A., et al. The impact of mild cognitive impairment on gait and balance: A systematic review and meta-analysis of studies using instrumented assessment // *Gerontology.* 2017. Vol. 63, N 1. P. 67–83. doi: 10.1159/000445831
66. Quialheiro A., Thaynara M., Zimmermann T.A., et al. Stabilometric analysis as a cognitive function predictor in adults over the age of 50: A cross-sectional study conducted in a memory clinic // *J Bodyw Mov Ther.* 2021. N 27. P. 640–646. doi: 10.1016/j.jbmt.2021.04.007
67. Kuan Y.C., Huang L.K., Wang Y.H., et al. Balance and gait performance in older adults with early-stage cognitive impairment // *Eur J Phys Rehabil Med.* 2021. Vol. 57, N 4. P. 560–567. doi: 10.23736/S1973-9087.20.06550-8
68. Deary I.J., Whalley L.J., Batty G.D., Starr J.M. Physical fitness and lifetime cognitive change // *Neurology.* 2006. Vol. 67, N 7. P. 1195–2000. doi: 10.1212/01.wnl.0000238520.06958.6a

REFERENCES

1. Xiao T, Yang L, Smith L, et al. Correlation between cognition and balance among middle-aged and older adults observed through a tai chi intervention program. *Front Psychol.* 2020;(11):668. doi: 10.3389/fpsyg.2020.00668
2. Bazanova OM, Kovaleva AV. Psychophysiological indicators of postural control. Contribution of the Russian scientific school. Part I. *Human Physiol.* 2022;48(2):113–136. EDN: KGLQBE doi: 10.31857/S0131164622020023
3. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing.* 2006;35(Suppl 2):ii7–ii11. EDN: IKEUWF doi: 10.1093/ageing/af077
4. Stephan DN, Hensen S, Fintor E, et al. Influences of postural control on cognitive control in task switching. *Front Psychol.* 2018;(9):1153. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01153
5. Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research. *Gait Posture.* 2002;16(1):1–14. doi: 10.1016/S0966-6362(01)00156-4
6. Parfenov VA, Zakharov VV, Preobrazhenskaya IS. *Cognitive disorders.* Moscow: Remedium; 2014.192 p. (In Russ).
7. Horak FB, Nashner LM. Central programming of posture control: Adaptation to altered support surface configurations. *J Neurophysiol.* 1986;55(6):1369–1381. doi: 10.1152/jn.1986.55.6.1369
8. Ivanova GE, Skvortsov DV, Klimov LV. Postural function evaluation in clinical practice. *Bulletin Rehabil Med.* 2014;(1): 19–25. EDN: SPLBTF
9. Gazhe PM, Veber B. *Posturology. Regulation and disorders of human body equilibrium.* Saint Petersburg: Publishing House St. Petersburg Medical Academy of Postgraduate Education; 2008. 314 p. (In Russ).
10. *Cognitive disorders in the elderly and senile: clinical recommendations.* Moscow: Pero Publishing House; 2021. 344 p. (In Russ).
11. Kiely KM. *Cognitive function.* In: A.C. Michalos, editor. Encyclopedia of quality of life and well-being research. Dordrecht: Springer; 2014. P. 974–978. doi: 1007/978-94-007-0753-5_426
12. *Diagnostic and statistical manual of mental diseases.* ed. (DSM-V). London: American Psychiatric Association; 2013. 947 p.
13. Diamond A. Executive functions. *Ann Rev Psychol.* 2013;(64): 135–168. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750
14. *International Classification of Functioning, Disability and Health: ICF* [Internet resource]. Geneva: World Health Organisation; 2001. 351 p. (In Russ). Available from: <https://skssrc.ru/files/2022/mkf.pdf>. Accessed: 15.01.2024.
15. Solovyova AP, Goryachev DV, Arkhipov VV. Criteria for assessing cognitive impairment in clinical trials. *Bulletin Sci Center Examinat Med Products.* 2018;8(4):218–230. EDN: YQDKHR doi: 10.30895/1991-2919-2018-8-4-218-230
16. Van der Fels IM, Wierike SC, Hartman E, et al. The relationship between motor skills and cognitive skills in 4–16 year old typically developing children: A systematic review. *J Sci Med Sport.* 2015;18(6):697–703. doi: 10.1016/j.jsams.2014.09.007

17. Anderson V, Anderson P, Northam E, et al. Development of executive functions through late childhood and adolescence: An Australian sample. *Dev Neuropsychol*. 2001;20(1):385–406. doi: 10.1207/S15326942DN2001_5
18. Roebers CM, Kauer M. Motor and cognitive control in a normative sample of 7-year-olds. *Dev Sci*. 2009;12(1):175–181. doi: 10.1111/j.1467-7687.2008.00755.x
19. Bigelow RT, Agrawal Y. Vestibular involvement in cognition: Visuospatial ability, attention, executive function, and memory. *J Vestib Res*. 2015;25(2):73–89. EDN: UWTAIF doi: 10.3233/VES-150544
20. Dobbels B, Peetermans O, Boon B, et al. Impact of bilateral vestibulopathy on spatial and nonspatial cognition: A systematic review. *Ear Hear*. 2019;40(4):757–765. EDN: ORGLJZ doi: 10.1097/AUD.0000000000000679
21. Mast FW, Preuss N, Hartmann M, Grabherr L. Spatial cognition, body representation and affective processes: The role of vestibular information beyond ocular reflexes and control of posture. *Front Integr Neurosci*. 2014;27(8):44. EDN: VJFCRF doi: 10.3389/fnint.2014.00044
22. Agrawal Y, Smith PF, Rosenberg PB. Vestibular impairment, cognitive decline and Alzheimer's disease: Balancing the evidence. *Aging Ment Health*. 2020;24(5):705–708. doi: 10.1080/13607863.2019.1566813
23. Ventre-Dominey J. Vestibular function in the temporal and parietal cortex: Distinct velocity and inertial processing pathways. *Front Integr Neurosci*. 2014;(8):53. doi: 10.3389/fnint.2014.00053
24. Gresty MA, Golding JF. Impact of vertigo and spatial disorientation on concurrent cognitive tasks. *Ann NY Acad Sci*. 2009;(1164):263–267. doi: 10.1111/j.1749-6632.2008.03744.x
25. Hüfner K, Stephan T, Hamilton DA, et al. Gray-matter atrophy after chronic complete unilateral vestibular deafferentation. *Ann NY Acad Sci*. 2009;(1164):383–385. doi: 10.1111/j.1749-6632.2008.03719.x
26. Kamil RJ, Jacob A, Ratnanather JT, et al. Vestibular function and hippocampal volume in the Baltimore longitudinal study of aging (BLSA). *Otol Neurotol*. 2018;39(6):765–771. doi: 10.1097/MAO.0000000000001838
27. Lazarov O, Hollands C. Hippocampal neurogenesis: Learning to remember. *Prog Neurobiol*. 2016;(138–140):1–18. doi: 10.1016/j.pneurobio.2015.12.006
28. Tighilet B, Chabbert C. Adult neurogenesis promotes balance recovery after vestibular loss. *Prog Neurobiol*. 2019;(174):28–35. doi: 10.1016/j.pneurobio.2019.01.001
29. Suzuki Y, Tsubaki T, Nakaya K, et al. New balance capability index as a screening tool for mild cognitive impairment. *BMC Geriatrics*. 2023;23(1):74. EDN: IPNXXV doi: 10.1186/s12877-023-03777-6
30. Rizzato A, Paoli A, Andretta M, et al. Are static and dynamic postural balance assessments two sides of the same coin? A cross-sectional study in the older adults. *Front Physiol*. 2021;(12):681370. doi: 10.3389/fphys.2021.681370
31. McIsaac TL, Lamberg EM, Muratori LM. Building a framework for a dual task taxonomy. *BioMed Res Int*. 2015;2015:591475. doi: 10.1155/2015/591475
32. Tombu M, Jolicoeur PA. Central capacity sharing model of dual-task performance. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2003;29(1):3–18. EDN: GXKQDL doi: 10.1037/0096-1523.29.1.3
33. Borel L, Alescio-Lautier B. Posture and cognition in the elderly: Interaction and contribution to the rehabilitation strategies. *Neurophysiol Clin*. 2014;44(1):95–107. doi: 10.1016/j.neucli.2013.10.129
34. Divandari N, Bird ML, Vakili M, Jaberzadeh S. The association between cognitive domains and postural balance among healthy older adults: A systematic review of literature and meta-analysis. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2023;23(11):681–693. EDN: WFFPPN doi: 10.1007/s11910-023-01305-y
35. Demnitz N, Patrick E, Helen D, et al. A systematic review and meta-analysis of cross-sectional studies examining the relationship between mobility and cognition in healthy older adults. *Gait Posture*. 2016;(50):164–174. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.08.028
36. Stuh C, Hughes CM, Stöckel T. Task-specific and variability driven activation of cognitive control processes during motor performance. *Sci Rep*. 2018;8(1):10811. EDN: YJECQH doi: 10.1038/s41598-018-29007-3
37. Best JR. Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Dev Rev*. 2010;30(4):331–351. doi: 10.1016/j.dr.2010.08.001
38. Rosano C, Simonsick EM, Harris TB, et al. Association between physical function and cognitive function in healthy elderly: The health, aging and body composition study. *Neuroepidemiology*. 2005;24(1-2):8–14. doi: 10.1159/000081043
39. Heaw YC, Singh DK, Tan MP, Kumar S. Bidirectional association between executive and physical functions among older adults: A systematic review. *Austral J Ageing*. 2022;41(1):20–41. doi: 10.1111/ajag.13008
40. Stöckel T, Wunsch K, Hughes CM. Age-related decline in anticipatory motor planning and its relation to cognitive and motor skill proficiency. *Front Aging Neurosci*. 2017;(9):283. doi: 10.3389/fnagi.2017.00283
41. Bayot M, Dujardin K, Tard C, et al. The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning. *Neurophysiol Clin*. 2018;48(6):361–375. doi: 10.1016/j.neucli.2018.10.003
42. Chein JM, Schneider W. Neuroimaging studies of practice-related change: fMRI and meta-analytic evidence of a domain general control network for learning. *Cogn Brain Res*. 2005;25(3):607–623. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.08.013
43. Winter DA. *Biomechanics and motor control of human movement*. 4th ed. New York: John Wiley; 2009. 384 p.
44. Muehlbauer T, Besemer C, Wehrle A, et al. Relationship between strength, power and balance performance in seniors. *Gerontology*. 2012;58(6):504–512. doi: 10.1159/000341614
45. Takakusaki K, Takahashi M, Obara K, Chiba R. Neural substrates involved in the control of posture. *Adv Robot*. 2016;31(1-2):2–23. doi: 10.1080/01691864.2016.1252690
46. Morasso P, Cherif A, Zenzeri J. Quiet standing: the single inverted pendulum model is not so bad after all. *PLoS One*. 2019;14(3):e0213870. doi: 10.1371/journal.pone.0213870
47. Sargent OJ, Dadalko OI, Pickett KA, Travers BG. Balance and the brain: A review of structural brain correlates of postural balance and balance training in humans. *Gait Posture*. 2019;(71):245–252. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.05.011
48. Bolton DA. The role of the cerebral cortex in postural responses to externally induced perturbations. *Neurosci Biobehav Rev*. 2015;(57):142–155. EDN: VGEUIZ doi: 10.1016/j.neubiorev.2015.08.014
49. Edwards AE, Guven O, Furman MD, et al. Electroencephalographic correlates of continuous postural tasks of increasing difficulty. *Neuroscience*. 2018;(395):35–48. EDN: PUTJGV doi: 10.1016/j.neuroscience.2018.10.040

50. Borella E, Carretti B, Ribo F, De Beni R. Working memory training in older adults: Evidence of transfer and maintenance effects. *Psychol Aging*. 2010;25(4):767–778. doi: 10.1037/a0020683
51. Levine B, Stuss DT, Winocur G, et al. Cognitive rehabilitation in the elderly: Effects on strategic behaviour in relation to goal management. *J Int Neuropsychol Soc*. 2007;13(1):143–152. EDN: HWGCIT doi: 10.1017/S1355617707070178
52. Bherer L, Kramer AF, Peterson MS, et al. Transfer effects in task-set cost and dual-task cost after dual-task training in older and younger adults: Further evidence for cognitive plasticity in attentional control in late adulthood. *Exp Aging Res*. 2008;34(3):188–219. doi: 10.1080/03610730802070068
53. Rogge AK, Röder B, Zech A, et al. Balance training improves memory and spatial cognition in healthy adults. *Sci Rep*. 2017;7(1):572. doi: 10.1038/s41598-017-06071-9
54. Chapman SB, Aslan S, Spence JS, et al. Shorter term aerobic exercise improves brain, cognition, and cardiovascular fitness in aging. *Front Aging Neurosci*. 2013;5(5):75. doi: 10.3389/fnagi.2013.00075
55. Young J, Angevare M, Rusted J, Tabet N. Aerobic exercise to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;2015(4):CD005381. doi: 10.1002/14651858.CD005381.pub4
56. Gholami M, Salari Z, Yarahmadi R, et al. Effects of balance training on cognitive function and activities of daily living in older adult patients with heart failure: A randomized controlled trial. *Ir J Med Sci*. 2023;193(1):111–121. EDN: NDFSDD doi: 10.1007/s11845-023-03436-0
57. Smith PF, Darlington CL, Zheng Y. Move it or lose it: Is stimulation of the vestibular system necessary for normal spatial memory? *Hippocampus*. 2010;20(1):36–43. doi: 10.1002/hipo.20588
58. Angelaki DE, Cullen KE. Vestibular system: The many facets of a multimodal sense. *Ann Rev Neurosci*. 2008;31(1):125–150. doi: 10.1146/annurev.neuro.31.060407.125555
59. Bahureksa L, Najafi B, Saleh A, et al. The impact of mild cognitive impairment on gait and balance: A systematic review and meta-analysis of studies using instrumented assessment. *Gerontology*. 2017;63(1):67–83. doi: 10.1159/000445831
60. Livingston G, Huntley J, Sommerlad A, et al. Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the lancet commission. *Lancet*. 2020;396(10248):413–446. EDN: VAADCC doi: 10.1016/S0140-6736(20)30367-6
61. Mullard A. FDA approval for Biogen's aducanumab sparks Alzheimer disease firestorm. *Nat Rev Drug Discov*. 2021;20(7):496. doi: 10.1038/d41573-021-00099-3
62. Leandri M, Cammisuli S, Cammarata S, et al. Balance features in Alzheimer's disease and amnesic mild cognitive impairment. *J Alzheimer's Dis*. 2009;16(1):113–120. doi: 10.3233/JAD-2009-0928
63. Alsubaie SF. the postural stability measures most related to aging, physical performance, and cognitive function in healthy adults. *BioMed Res Int*. 2020;2020:5301534. doi: 10.1155/2020/5301534
64. Johansson J, Nordström A, Gustafson Y, et al. Increased postural sway during quiet stance as a risk factor for prospective falls in community-dwelling elderly individuals. *Age Ageing*. 2017;46(6):964–970. doi: 10.1093/ageing/afx083
65. Lindsay B, Najafi B, Saleh A, et al. The impact of mild cognitive impairment on gait and balance: A systematic review and meta-analysis of studies using instrumented assessment. *Gerontology*. 2017;63(1):67–83. doi: 10.1159/000445831
66. Quialheiro A, Thaynara M, Zimmermann TA, et al. Stabilometric analysis as a cognitive function predictor in adults over the age of 50: A cross-sectional study conducted in a memory clinic. *J Bodyw Mov Ther*. 2021;27(2):640–646. doi: 10.1016/j.jbmt.2021.04.007
67. Kuan YC, Huang LK, Wang YH, et al. Balance and gait performance in older adults with early-stage cognitive impairment. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2021;57(4):560–567. doi: 10.23736/S1973-9087.20.06550-8
68. Deary IJ, Whalley LJ, Batty GD, Starr JM. Physical fitness and lifetime cognitive change. *Neurology*. 2006;67(7):1195–2000. doi: 10.1212/01.wnl.0000238520.06958.6a

ОБ АВТОРАХ

* **Зверев Юрий Павлович**, канд. мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 603950, Нижний Новгород, пр-т Гагарина, д. 23;
ORCID: 0000-0003-4477-748X;
eLibrary SPIN: 1793-4555;
e-mail: yzverev@yahoo.com

Буйлова Татьяна Валентиновна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-0282-7207;
eLibrary SPIN: 6062-2584;
e-mail: tvbuilova@list.ru

Туличев Александр Алексеевич, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-3157-2218;
eLibrary SPIN: 9647-5272;
e-mail: mr.tulichev@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Yury P. Zverev**, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor;
address: 23 Gagarin avenue, 603950 Nizhni Novgorod, Russia;
ORCID: 0000-0003-4477-748X;
eLibrary SPIN: 1793-4555;
e-mail: yzverev@yahoo.com

Tatyana V. Builova, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: 0000-0003-0282-7207;
eLibrary SPIN: 6062-2584;
e-mail: tvbuilova@list.ru

Alexander A. Tulichev, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0002-3157-2218;
eLibrary SPIN: 9647-5272;
e-mail: mr.tulichev@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab624889>

Нейропсихологическая интерпретация нарушений сознания с привлечением данных инструментальных методов диагностики мозговой активности

Л.И. Седова¹, Е.В. Ерохина^{2, 3}, Е.А. Баранова^{2, 4}, В.М. Ериков⁵, А.А. Никулин⁵,
Г.Е. Иванова^{2, 3, 6}, Ю.В. Микадзе^{2, 7}

¹ Национальный медицинский исследовательский центр «Лечебно-реабилитационный центр», Москва, Россия;

² Федеральный центр мозга и нейротехнологий, Москва, Россия;

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

⁴ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия;

⁵ Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Рязань, Россия;

⁶ Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Москва, Россия;

⁷ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность рассматриваемой проблемы определяется необходимостью развития и совершенствования междисциплинарных подходов к диагностике и реабилитации пациентов с нарушениями сознания вследствие патологий головного мозга. Целью статьи является аналитический обзор методов нейропсихологической и инструментальной диагностики пациентов, находящихся в сниженном состоянии сознания.

Отмечаются недостаточная разработанность нейропсихологического содержания понятия «сознания», а также отсутствие единой точки зрения на мозговую основу сознания, ограничения методологического и процедурного характера, возникающие при работе нейропсихолога с пациентами в вегетативном состоянии/с синдромом ареактивного бодрствования и в состоянии минимального сознания. Рассматривается проблема согласованности результатов поведенческих (нейропсихологических) и инструментальных (нейрофизиологических и нейровизуализационных) методов оценки уровня сознания, проводимых разными специалистами (нейропсихологами, неврологами, нейрофизиологами, нейрорадиологами), входящими в состав мультидисциплинарной бригады. Анализируется возможность сочетания процедуры нейропсихологического обследования и инструментальных методов при диагностике пациентов в вегетативном состоянии/с синдромом ареактивного бодрствования и в состоянии минимального сознания, в том числе с целью формирования прогноза восстановления уровня сознания. Подтверждается возможность комплексного подхода к диагностике состояния сознания, связанного с сочетанием поведенческих (основанных на наблюдении) и объективных (инструментальных) методов исследования, и рассматриваются возможные пути его реализации.

Ключевые слова: нарушения сознания; нейропсихологическая диагностика; нейрореабилитация; электроэнцефалография; функциональная магнитно-резонансная томография; позитронно-эмиссионная томография.

Как цитировать:

Седова Л.И., Ерохина Е.В., Баранова Е.А., Ериков В.М., Никулин А.А., Иванова Г.Е., Микадзе Ю.В. Нейропсихологическая интерпретация нарушений сознания с привлечением данных инструментальных методов диагностики мозговой активности // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 2. С. 157–171. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab624889>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab624889>

Neuropsychological interpretation of disorders of consciousness using data from instrumental (neurophysiological) methods for diagnosing brain activity

Lubov I. Sedova¹, Ekaterina V. Erokhina^{2, 3}, Elena A. Baranova^{2, 4}, Vladimir M. Erikov⁵, Alexey A. Nikulin⁵, Galina E. Ivanova^{2, 3, 6}, Yury V. Mikadze^{2, 7}

¹ National Medical Research Centre "Treatment and Rehabilitation Centre", Moscow, Russia;

² Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies, Moscow, Russia;

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

⁴ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia;

⁵ Ryazan State University S.A. Esenin, Ryazan, Russia;

⁶ Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitation, Moscow, Russia;

⁷ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

ABSTRACT

The relevance of the problem under consideration is determined by the need to develop and improve interdisciplinary approaches to the diagnosis and rehabilitation of disorders of consciousness in patients with brain pathology. The purpose of the article is an analytical review of the methods of neuropsychological and neurophysiological diagnostics and rehabilitation work with patients in reduced states of consciousness.

It is noted that the neuropsychological content of the concept of "consciousness" is insufficiently developed and there is no unified point of view on the brain basis of consciousness, as well as on methodological and procedural limitations that arise when a neuropsychologist works with patients in a vegetative state of consciousness and in a state of minimal consciousness. The problem of consistency of the results of behavioral (neuropsychological) and instrumental (neurophysiological) methods for assessing the level of states of consciousness conducted by different specialists (neuropsychologists, neurologists, neurophysiologists) who are part of a multidisciplinary team is considered. The possibility of combining the procedure of neuropsychological examination and instrumental (neurophysiological) methods in the diagnosis of patients in a vegetative state of consciousness, in a state of minimal consciousness) and the prognosis of restoring the level of consciousness is analyzed. The possibility of an integrated approach to the diagnosis of a state of consciousness associated with a combination of behavioral (observation-based) and objective (instrumental) research methods is confirmed, and possible ways of its implementation are considered.

Keywords: consciousness disorders; neuropsychological tests; neurorehabilitation; electroencephalography; magnetic resonance imaging; positron-emission tomography.

To cite this article:

Sedova LI, Erokhina EV, Baranova EA, Erikov VM, Nikulin AA, Ivanova GE, Mikadze YuV. Neuropsychological interpretation of disorders of consciousness using data from instrumental (neurophysiological) methods for diagnosing brain activity. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(2):157–171. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab624889>

Список сокращений

ВС/САБ — вегетативное состояние /
синдром ареактивного бодрствования

ВП — вызванные потенциалы

ПЭТ — позитронно-эмиссионная томография

СМС — состояние минимального сознания

ТМС — транскраниальная магнитная стимуляция

фМРТ — функциональная магнитно-резонансная
томография

ЭЭГ — электроэнцефалография

ВВЕДЕНИЕ

При проведении реабилитационной работы с пациентами с нарушением сознания отмечается недостаточная разработанность нейропсихологических и инструментальных диагностических средств оценки сниженных состояний сознания, обусловленная рядом причин методологического и практического характера.

В современной нейропсихологии нет однозначно сформулированного представления о содержании, структуре и компонентном составе сознания как интегративного образования, в том числе недостаточно проработан вопрос о взаимосвязи сознания с функционированием отдельных мозговых зон и головного мозга в целом. Это становится одной из причин возникновения существенных ограничений в диагностической и реабилитационной работе нейропсихолога с пациентами с хроническими нарушениями сознания.

Выделяют следующие виды хронического нарушения сознания [1]:

- продлённое нарушение сознания;
- вегетативное состояние/синдром ареактивного бодрствования (ВС/САБ);
- состояние минимального сознания (СМС);
- состояние минимального сознания «минус»;
- состояние минимального сознания «плюс»;
- выход из состояния минимального сознания.

В литературе встречаются также термины «скрытое сознание» (указывает на наличие у пациентов церебральной активности, выявляемой инструментальными методами, при отсутствии клинических признаков сознания [2, 3]) и «когнитивно-моторное разобщение» (указывает на способность пациентов в ВС или СМС выполнять инструкции, что выявляется инструментальными методами [4, 5]).

Л.С. Выготский [6] предполагал, что психологическую структуру сознания следует рассматривать как сложную интегрированную взаимосвязь отдельных функций, образующую целое, от которого зависит судьба каждой функциональной части. Содержание сознания определяется наличием обобщения, посредством которого через придание значения предметам и явлениям окружающего мира совершается его осмысление и осознание [6, 7]. В вопросе о мозговой основе сознания также

нет единой точки зрения. Например, Дж. Эдельман [8] рассматривает в качестве интеграционного центра сознания определённую (таламокортикальную) область, в отечественной традиции сознание связывается с функциональными системами, имеющими широкую мозговую локализацию [8, 9]. Основным недостатком нейробиологических теорий сознания, как отмечает К.В. Анохин [10], является отсутствие «ясной нейробиологической концепции носителя субъективного опыта — той системы, в которой протекают процессы сознания».

В отечественной нейропсихологии содержание сознания рассматривается как высшая форма отражения человеком внешнего (объективного) и внутреннего (субъективного) мира, как интегративный обобщённый «образ мира» и «образ своего Я», представленный в виде символов (слов, знаков) и образов [9, 11].

Можно предположить, что в нейропсихологическом обследовании для поиска свидетельств, указывающих на наличие структурных и содержательных признаков сознания в соответствии с этими определениями, ведущей становится диагностика сохранности структуры психических функций (внутрифункциональных связей) и сохранности связей между ними (межфункциональных связей). В этом случае состояние структуры сознания как интегративного целого определяется степенью сохранности образующих его частей. Уровень сохранности отдельных психических функций и их взаимодействия детерминирует доступную степень осмысления и осознания пациентом содержания его взаимодействия с окружающим миром.

На первый взгляд, в арсенале нейропсихологической диагностики присутствуют методические средства, позволяющие оценить состояние отдельных психических функций и связей между ними. В то же время при обследовании пациентов с нарушениями сознания специалист сталкивается с трудностями в использовании классических проб нейропсихологического обследования, которые в значительной степени определяются спецификой взаимодействия между пациентом и нейропсихологом, характерной для нарушений сознания [9, 12].

В качестве критериев оценки состояния сознания в первую очередь рассматриваются поведенческие проявления, фиксируемые у пациента в ответ на оказанное

воздействие. Часто участие пациента в обследовании становится пассивным, и нейропсихологу без обратной связи от пациента трудно выявить системную произвольную реакцию на предлагаемые стимулы. Вопрос о степени осознанности пациентом тех или иных демонстрируемых им форм поведения решается на основе анализа степени соответствия между предлагаемой пациенту инструкцией и его реакцией. В этом случае оценка степени осмысленности выполняемых по инструкции действий будет выступать критерием поведенческой оценки уровня сознания. Именно эти параметры и учитываются в шкалах для оценки уровня сознания у пациентов с хроническим нарушением сознания [13, 14].

В то же время возможны ситуации, когда поведенческий ответ на стимулирование отсутствует в явном виде, либо фиксируется наличие поведенческих проявлений пациента, содержание которых сложно интерпретировать (например, не очевидно, какая составляющая стимульной ситуации вызывает ответ). В таких случаях для нейропсихолога возникает необходимость поиска дополнительной информации, прямо связанной с проводимой процедурой тестирования пациента.

Трудность интерпретации поведенческих проявлений и их идентификации с активностью конкретных зон головного мозга может быть разрешена на основе включения в обследование встречного анализа, который проводится с помощью сопоставления выявляемой мозговой активности с теми действиями, которые способен выполнять пациент при её наличии. Нейропсихологическая диагностика основана на возможности сопоставления наблюдаемых симптомов с определённой локализацией мозгового поражения. Резонным становится вопрос о возможности рассмотрения активности определённых зон мозга как индикатора, указывающего на наличие инициации соответствующих психических функций до их поведенческого проявления.

В этом случае полезно участие специалистов, работающих с применением инструментальных методов, ориентированных на выявление активности головного мозга (например, нейрорадиолога, нейрофизиолога), для оценки заинтересованности тех или иных зон при восприятии и обработке афферентной информации, поступающей к пациенту в ходе нейропсихологического обследования, а также при попытках пациента выполнить те или иные инструкции.

Проблема разработки критериев определения уровня сознания является ведущей в клинической практике при работе с пациентами с хроническим нарушением сознания. В настоящее время созданы общие системы отсчёта, по которым на основе поведенческих проявлений определяется граница между сознанием и бессознательным состоянием. Тем не менее исследования диагностической точности показывают, что от 30 до 40% пациентов, не способных говорить или выполнять команды, имеют

ошибочный диагноз ВС/СAB [15]. Диагностическая ошибка у пациентов с нарушениями сознания может иметь серьёзные последствия, особенно в ситуации, когда важно как можно скорее поставить правильный диагноз, подобрать программу лечения, жизнеобеспечения, оценить показания к нейрореабилитации, спланировать уход и обеспечить адаптацию семьи [16].

Нейропсихологическая оценка состояния сознания в этом случае также традиционно опирается лишь на наличие поведенческих реакций в ответ на различные виды полимодальной стимуляции без возможности их точной содержательной интерпретации. Тогда, согласно практическим рекомендациям для специалистов в сфере реабилитации пациентов с нарушениями сознания, допустимо использовать специализированные инструментальные методы для рассмотрения альтернативного диагноза [17]. Применение таких методов, наиболее близких к объективным, позволяет получить дополнительную информацию для анализа и оценки уровня сознания у пациентов, что позволяет снизить частоту ошибочных диагнозов и обнаружить новые прогностические факторы.

На сегодняшний день недостаточно доказательств для того, чтобы поддержать или опровергнуть повседневное использование тех или иных инструментальных методов при установлении уровня сознания у пациентов с хроническим нарушением сознания, однако они могут применяться в качестве полезных дополнений к поведенческим оценкам. Например, у пациентов с низкими показателями по поведенческим шкалам и у пациентов со «скрытым сознанием» могут быть обнаружены положительные результаты с использованием инструментальных методов исследования [17–19]. В связи с этим возможным вариантом для достоверной оценки может быть использование комбинации различных методов с учётом специфичных для них преимуществ в диагностических результатах. Возможность комплексного подхода к определению уровня сознания может быть реализована на основе дополнения процедуры поведенческой оценки данными, получаемыми при сочетанном выполнении нейропсихологического и инструментального обследования. В этом случае индикатором, подтверждающим связь поведенческих проявлений с инструкцией, может выступать наличие активности в соответствующих областях головного мозга. Так, например, при предъявлении зрительного стимула можно ожидать активации первичных и вторичных отделов зрительной коры, при инициации двигательных программ — активацию в передних моторных отделах коры.

Представляет интерес анализ возможности междисциплинарного подхода к обследованию пациентов с нарушениями сознания. С этой целью в статье представлен обзор и краткое обсуждение литературных данных по использованию основных инструментальных методов при диагностике нарушений сознания, которые

позволяют выявить признаки сознания, недоступные оценке стандартизированными шкалами поведенческой оценки, и установить их связь с нейропсихологическими коррелятами сознания, сформулировать прогностические показатели для данной категории пациентов. Особый интерес связан с пониманием потенциальных возможностей использования для этих целей инструментальных методов исследования активности головного мозга.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ

При диагностике пациентов с хроническим нарушением сознания дополнительное применение инструментальных диагностических методов рекомендовано с целью снижения диагностических ошибок в случае, если результаты структурированного неврологического осмотра и применения стандартных нейроповеденческих шкал не позволяют однозначно установить форму хронического нарушения сознания. Использование данных, получаемых при применении этих методов, может расширить картину представлений о состоянии сознания у пациента и помочь в постановке правильного диагноза и прогнозировании исхода.

Согласно клиническим рекомендациям по ведению пациентов с хроническим нарушением сознания [1], рекомендуется применение следующих инструментальных диагностических методов.

Электромиография

Электромиография — метод исследования периферической нервно-мышечной системы с оценкой функционального состояния сенсорных волокон и двигательных единиц: периферического мотонейрона и мышечных волокон, которые он иннервирует. В основе метода лежит оценка электрической проводимости и возбудимости нервных структур и мышц. На этапе оценки исходного функционального состояния и сохранности периферической нервной системы электромиография позволяет исключить наличие у пациентов полинейропатий и миопатий критических состояний, посттравматических изменений, которые приводят к снижению двигательной активности [20].

Кроме того, электромиография была предложена для обнаружения микродвижений, которые часто остаются незамеченными [21], что позволяет применять этот метод для дифференциальной диагностики разных уровней сознания. Было показано, что при использовании электромиографии у пациентов в СМС с высокой вероятностью может быть обнаружена дифференциальная активность в ответ на предъявление двигательной команды (например, пошевелить определённой рукой) в отличие от пациентов в ВС/КАБ, у которых такой реакции не обнаружено [22, 23].

Электроэнцефалография

Электроэнцефалография (ЭЭГ) — метод исследования электрической активности головного мозга путём размещения электродов в определённых зонах на поверхности головы. Зарегистрированная электрическая активность отображается в виде волн, которые отличаются по характеристикам (частоте и амплитуде), и в клинической практике делятся на альфа-, бета-, дельта- и тета-волны. ЭЭГ применяют в диагностических и прогностических целях. Существуют два подхода в интерпретации данных.

Качественная, или визуальная, оценка ЭЭГ у пациентов с нарушением сознания позволяет оценить степень повреждения головного мозга и исключить наличие бессудорожного эпилептического статуса, а наличие реактивности ЭЭГ и регистрация графоэлементов N 2 стадии сна ассоциируется с благоприятным прогнозом восстановления сознания [24].

Наличие признаков REM-сна и медленноволнового сна у пациентов с хроническим нарушением сознания позволяет предположить наличие минимального сознания [1].

В литературе также описано применение ЭЭГ в рамках фармакологической пробы с использованием препарата золпидем, когда в течение часа после введения препарата могут наблюдаться активность, а также отчётливая динамика в расширении контакта, увеличении количества движений, выполнении инструкций и попыток коммуникации, что связано с улучшением метаболизма в отдельных зонах мозга. При регистрации положительного эффекта можно предположить наличие у пациента признаков осознанного поведения [1].

Более сложный подход — количественная ЭЭГ — позволяет оценить более сложные параметры, такие как спектральная мощность, когерентность, энтропия и расчёт индекса интегративной связности, что также позволяет отличить пациентов в ВС/КАБ от СМС в острой стадии [25]. Так, например, пациенты в СМС демонстрируют функциональную коннективность снизу вверх (от лобно-теменных отделов коры к височным) и сверху вниз, а пациенты в ВС/КАБ — только восходящую обработку, тогда как для сознательного восприятия необходима повторная обработка более высокого порядка с участием коры [26].

С положительным исходом восстановления сознания у пациентов с нарушением сознания в значительной степени связано наличие более быстрой фоновой активности альфа-диапазона [24, 27]. Регистрация в лобно-теменной зоне альфа-активности может рассматриваться как показатель сознания [28].

Снижение дельта-мощности значительно коррелирует с увеличением показателя по пересмотренной шкале восстановления после комы (Coma Recovery Scale-Revised, CRS-R) [14, 29].

Вызванные потенциалы

Вызванные потенциалы (ВП) — метод регистрации изменений электрической активности мозга в ответ на экзогенные или эндогенные стимулы. ВП позволяют оценить функциональную целостность сенсорных путей, проецируемых на первичную сенсорную кору, а «связанные с событиями потенциалы» оценивают функции коры более высокого порядка, связанные с обнаружением стимулов и принятием решений. Вызванные и «связанные с событиями потенциалы» использовались для прогнозирования выхода из комы [30].

Проведение диагностики с регистрацией коротколатентных ВП происходит при предъявлении стимулов различных модальностей и позволяет оценить сохранность зрительного, слухового, соматосенсорного анализаторов, что важно для оценки исходного функционального состояния и сохранности структур центральной и периферической нервной системы. Так, например, регистрация соматосенсорных ВП в виде наличия корковых ответов N 20 определённой амплитуды позволяет прогностически предположить улучшение уровня сознания пациентов, находящихся в ВС/САБ, в течение последующего периода от 6 месяцев до 1 года [31], в то время как двустороннее отсутствие корковых ответов ассоциировано с неблагоприятным исходом [24].

Наличие корковых ответов при стимуляции ноцицептивных путей лазером, т.е. при формировании болевой стимуляции, может указывать на наличие остаточного кортикального болевого возбуждения. Разница в реакциях на разные компоненты лазерной стимуляции может быть дополнительным способом дифференциации СМС и ВС/САБ [1, 32].

Согласно некоторым данным, при рассмотрении когнитивных ВП наличие компонента P300 (компонент потенциала, связанного с событиями) может свидетельствовать о благоприятном исходе и восстановлении уровня сознания [33]. При использовании исследовательских парадигм, требующих от пациентов выполнения определённых команд, возникновение объективных реакций мозга в виде компонента P300 может указывать на признаки осознания у пациента предъявляемой задачи. Так, при сравнении пациентов в ВС/САБ, перенёвших травму (>1 месяца), и здоровых добровольцев был зафиксирован профиль P300, аналогичный профилю здоровых испытуемых в сознании, выполняющих ту же целевую задачу [30]; в другом исследовании у некоторых пациентов в ВС/САБ был выявлен компонент P300 в ответ на предъявление своего имени [34, 35]. В одном из исследований пациенту в СМС было доступно управление вниманием по отношению к вибрациям на его левом и правом запястьях [36] в ответ на называние своего имени [34, 35], в ответ на решение целевой задачи [37–39], что позволяет предположить, что у части пациентов в СМС

и ВС/САБ может частично сохраняться активная обработка специфических стимулов.

Транскраниальная магнитная стимуляция

Транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) — метод неинвазивной стимуляции коры головного мозга с помощью переменного магнитного поля. В диагностике пациентов с нарушениями сознания сочетание навигационной ТМС и многоканальной ЭЭГ применяется для оценки эффективности коннективности и корковой возбудимости, что позволяет дифференцировать паттерны активации головного мозга у пациентов в ВС/САБ и при синдроме «запертого человека» [40]. Количественная оценка влияния импульса ТМС на активность головного мозга позволяет различать уровни сознания как у здоровых субъектов (во время сна и анестезии), так и у пациентов с нарушением сознания [1, 41–45].

Функциональная магнитно-резонансная томография

Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) — метод, в основе которого лежит измерение сигнала, зависящего от уровня оксигенации крови (blood oxygenation level dependent contrast, BOLD), связанного с активностью нейронов определённых областей головного мозга [46].

При оценке уровня оксигенации крови с помощью фМРТ можно выявить функциональную коннективность между разными отделами головного мозга, а также её снижение у пациентов с нарушением сознания по сравнению со здоровыми испытуемыми [47, 48]. Значимыми для дифференциальной диагностики пациентов в ВС/САБ и СМС являются различия в степени функциональной коннективности лобно-теменной, а также сенсомоторной, зрительной и слуховой сетей покоя [49, 50]. Эти показатели также позволяют предположить наличие остаточных когнитивных функций, например внутренней речи, которую нельзя выявить стандартными поведенческими методами оценки [51].

фМРТ позволяет оценивать выполнение команд с использованием активных парадигм, когда пациенту предлагается выполнить когнитивную задачу, находясь в сканере. Области активности мозга, наблюдаемые при выполнении заданий, сравнивают с областями, активными при пассивной сенсорной стимуляции и в периоды отдыха. Выявлено, что некоторые пациенты, которые не демонстрируют каких-либо поведенческих признаков реагирования на команды, имеют профили активации головного мозга, практически идентичные профилю здоровых испытуемых, выполняющих аналогичные команды [16]. Например, некоторые пациенты с диагнозом ВС/САБ демонстрировали активацию премоторных областей, представляя игру в теннис, и активацию парагиппокампальной извилины, представляя навигацию по дому,

что соответствует аналогичным профилям активации у здоровых испытуемых [52, 53]. Следование командам в условиях данной парадигмы также позволяет выстроить с пациентом коммуникацию в формате ответов «да-нет» [54].

Представленная парадигма исследования тем не менее не является воспроизводимой для всех пациентов с диагнозом ВС/КАБ, что связано с недостаточностью интегративных процессов обработки входящей информации у данной категории пациентов [55].

Позитронно-эмиссионная томография

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) — метод исследования функционального состояния головного мозга путём количественного определения метаболизма глюкозы или потребления кислорода.

На основе анализа ПЭТ стало известно, что уровень потребления глюкозы различается у пациентов в ВС/КАБ и СМС (40 и 50% соответственно) по сравнению со здоровыми испытуемыми (100% потребления глюкозы) [56–58]. У пациентов в ВС/КАБ выявлено также систематическое нарушение метаболизма в ассоциативной коре [59], которая важна для осуществления различных функций, необходимых для сознания, таких как внимание, память и речь [60]. В тех случаях, когда пациенты в ВС/КАБ полностью или частично выходят из этого состояния, ПЭТ показывает функциональное восстановление метаболизма в тех же областях коры [61]. Ещё одно исследование показало нарушение таламокортикальной функциональной связности в ВС/КАБ, но после восстановления уровня сознания она стала аналогичной группе здоровых испытуемых [62].

КОМПЛЕМЕНТАРНОСТЬ НЕЙРОПСИХОЛОГИЧЕСКИХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

Инструментальные методы оценки сознания направлены на выявление активности головного мозга, тогда как нейропсихологические методы ориентируются на поведенческие проявления в ответ на предъявляемые пациенту стимулы, которые могут быть соотнесены с активностью определённых мозговых зон. Задача, решаемая при использовании комплементарных методов, состоит в установлении этого соответствия.

Применение указанных методов в диагностике пациентов, имеющих нарушения сознания, поможет решить следующие задачи:

а) оценить сохранность разных структурных компонентов нервной системы, участвующих в обеспечении сознания, и тем самым определить возможные виды стимулов, которые могут оказаться доступными для осознания пациентом;

б) оценить возможности пациента к восприятию определённых характеристик предъявляемых стимулов, что потенциально позволит сделать вывод о содержательной стороне сознания. Для оценки содержательной составляющей сознания нейропсихологом могут быть предложены определённые виды стимулов и их сочетания для проведения процедуры диагностики пациентов с нарушением сознания. В литературе приводятся данные, на основе которых могут быть сформулированы возможные цели нейропсихологической оценки при сочетанном взаимодействии с каждым методом.

При использовании методов ЭЭГ и ТМС-ЭЭГ для диагностики пациентов в состоянии бодрствования и в состоянии сна можно обнаружить наличие различных типов электрической активности в разных отделах мозга, а также оценить наличие и тип функциональной связности между областями мозга. При использовании этих методов для нейропсихолога становится возможной синхронная фиксация реакции именно на изолированно предъявляемый стимул, т.е. оценка реакции становится более доступной объективному исследованию. При оценке активности различных отделов с помощью ЭЭГ необходимо учитывать функциональную специализацию этих зон для подбора адекватных стимулов. Например, при оценке активности в лобных и теменных отделах можно давать пациентам задачи, требующие анализа, выполнения инструкций, а также простые пространственные задачи. Если в ответ на специфическую задачу будет отмечена активность лобной или теменной доли, то это может свидетельствовать об определённой сохранности элементарных уровней переработки информации в аналитических системах. При смене задачи нейропсихологу важно отслеживать наличие связанной пространственной активности разных зон мозга.

Использование метода регистрации ВП головного мозга позволяет выявить корковые ответы на определённую внешнюю или эндогенную стимуляцию. При проведении такой диагностики нейропсихологу необходимо сравнить реакцию пациента на индивидуально значимую и общую информацию для достоверности определения наличия семантической обработки данных. Для этого можно использовать набор семантических стимулов, например собственное имя, и мыслительных задач на выполнение простых мануальных движений для выявления сигнала мозга в ответ на команды. Этот показатель указывает на сохранение определённого уровня семантической обработки предъявляемой информации [34, 37].

Использование метода фМРТ показывает, что наличие сознания сочетается с мозговой активностью (чаще характерной для пациентов в СМС, реже в ВС/КАБ), фиксируемой в областях головного мозга, соответствующих определённым парадигмам [35, 63].

При проведении нейропсихологического обследования может быть целесообразным подбор зрительных, слуховых и тактильных воздействий для пассивной стимуляции, а также формирование активных задач (например, на двигательное и пространственное представление), предъявляемых пациентам в момент проведения фМРТ. Это позволит оценить у пациента профиль активации в ответ на команды и сравнить его с профилем активации при пассивной стимуляции и в покое. Может представлять исследовательский интерес выявление тех зон мозга, активация которых является «пусковой» для активации других структур, участвующих в двигательном, пространственном представлении.

Использование метода ПЭТ показывает, что наличие сознания сопровождается сохранным метаболизмом ассоциативной коры, которая обеспечивает процессы внимания, памяти и речи. На наличие сознания может указывать также выявление таламокортикальной функциональной коннективности. С использованием данного метода нейропсихологу может быть полезно предъявлять пациенту полимодальные задачи, для решения которых необходима возможность получения и интеграции разномодальной информации, осуществляемой ассоциативными областями головного мозга.

Для нейропсихологического обследования важны три характеристики инструментальных методов:

- 1) высокое временное разрешение соответствия стимула и реакции мозга (например, ЭЭГ, ВП, ТМС-ЭЭГ);
- 2) высокое топическое разрешение соответствия стимула и активности соответствующей стимулу зоны мозга (например, фМРТ, ПЭТ, ВП);
- 3) наличие сетевой организации активности (например, фМРТ, ПЭТ, ТМС-ЭЭГ).

Временное и топическое разрешение отражают наличие внутри функционального взаимодействия, тогда как топическое разрешение и наличие сетевой активности отражают межфункциональное взаимодействие.

При разработке содержания заданий, используемых в нейропсихологической процедуре обследования при нарушениях сознания, стоит учитывать следующую специфику. Первое направление — это задания, ориентированные на оценку сохранности структуры отдельных функций (внутрифункциональную организацию). К ним относятся функции восприятия, предполагающие оценку сенсорного, перцептивного, семантического уровней афферентной переработки, связанные с анализом локальной активации модальных зон. Также это функции праксиса, предполагающие оценку уровней эфферентной организации поведения (двигательных программ, действий, отдельных движений), связанных с анализом локальной активации лобных отделов мозга.

Второе направление связано с разработкой методик, ориентированных на оценку сохранности структуры во взаимодействии функций (межфункциональную

организацию). К ним могут относиться задания, ориентированные на разномодальные взаимодействия, сенсомоторные координации, связанные с анализом пространственной связности разных зон мозга.

СВЯЗЬ УРОВНЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ МОЗГА С НАРУШЕНИЯМИ СОЗНАНИЯ

Если говорить об уровневой организации процессов переработки информации, отражающей состояние внутрифункциональных взаимодействий, например первичного анализа и последующего синтеза предъявляемых стимулов, то мы можем увидеть, что чаще всего у пациентов наблюдается активность проекционных зон, но не ассоциативных отделов. Так, при исследовании реакций на болевые раздражители с помощью ПЭТ у пациентов в ВС/САБ первичная соматосенсорная кора активировалась у каждого пациента ($n=15$), но этого не наблюдалось в отношении вторичных ассоциативных областей [64]. Можно предположить разобщенность этих двух систем у пациентов с нарушением сознания.

Точно так же слуховые раздражители привели к активации первичной слуховой коры билатерально, однако их интеграции и последующей активации ассоциативных участков коры не происходило [65, 66]. А именно показатель обработки информации второго и третьего порядка может указывать на осознанный психический процесс. Для подтверждения сознательного восприятия необходима активация интегративных, ассоциативных зон более высокого порядка [26], когда начинает фиксироваться наличие межфункциональных взаимодействий.

Таким образом, постепенная активация не только первичных, но и вторичных зон обработки информации может указывать на положительную динамику в восстановлении уровня сознания. Разработка инструментальных методов, которые помогут диагностировать состояние первичных и вторичных полей, сейчас также важна, как и совершенствование методов поведенческой оценки. Нейропсихологу важно выявить наличие таких реакций и убедиться в их воспроизводимости и произвольности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В каждом из рассмотренных методов нейропсихологической и инструментальной диагностики состояния сознания имеются свои достоинства и недостатки. Поведенческие методы в первую очередь ориентированы на использование стимульных процедур, связанных с содержаниями сознания, на оценку степени осознанности в восприятии и реакции на стимульную ситуацию. В то же время наблюдается выраженный дефицит в возможности достоверной интерпретации поведенческих

проявлений при выполнении предлагаемых пациенту инструкций и заданий.

Инструментальные методы в большей степени ориентированы на оценку структурных компонентов сознания, связанных с наличием двух видов активности различных структур головного мозга в ответ на предъявление различных стимульных процедур и заданий. Первый вид активности, который носит локальный характер, отражает наличие разных уровней переработки модальной информации, связанной со структурой отдельных психических функций (системой внутрифункциональных связей), обеспечивающих восприятие поступающей информации. Второй вид активности отражает структурную организацию интегративной работы мозга (систему межфункциональных связей) и фиксируется в виде пространственной связности в активности разных отделов мозга, вовлекаемых в выполнение деятельности, требующей участия многих психических функций. В то же время сохраняются вопросы о возможности сопоставления структурных и содержательных компонентов выполняемых пациентом заданий. Для правильной оценки выявляемой мозговой активности необходимо её сопоставление с содержанием выполняемой деятельности.

Таким образом, представляется необходимым осуществление комплексного подхода к диагностике состояния сознания, связанного с возможностью оценки как содержательных, так и структурных компонентов сознания. Возможности нейропсихологического синдромного анализа в условиях сниженных состояний сознания ограничены в силу методологических особенностей процедуры нейропсихологического обследования. В то же время топический характер нейропсихологической диагностики позволяет делать заключение как о структурной, так и содержательной стороне действий пациента на основе данных об активности соответствующих участков головного мозга. Такие данные могут быть получены при использовании инструментальных методов. Специфичность активации мозга при выполнении разных по содержанию заданий, предлагаемых пациенту, позволит сделать вывод о наличии осознанности в поведенческих реакциях пациента.

В заключение следует отметить, что разработка методических процедур комплексной нейропсихологической и инструментальной работы с пациентами в сниженных состояниях сознания позволяет оценить наличие локальной активации или связности в активации

различных зон мозга и тем самым оценить состояние уровневой и пространственной организации структуры сознания; сопоставить и определить временную синхронизацию стимула и ответа (т.е. подтвердить, что ответ соответствует стимулу, а не другому постороннему воздействию) и тем самым оценить состояние содержательной характеристики сознания; определить в наиболее выраженных случаях снижения сознания наличие специализированной активации на разные виды стимулов, наличие мотивационной активации к выполнению инструкций и наличие активности мозга без поведенческих проявлений.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении поисково-аналитической работы.

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

Вклад авторов. Л.И. Седова, Е.В. Ерохина — поисково-аналитическая работа, написание, обсуждение, редактирование текста статьи; Е.А. Баранова — научная редакция текста рукописи; В.М. Ериков, А.А. Никулин — обсуждение текста статьи; Ю.В. Микадзе, Г.Е. Иванова — научная редакция текста рукописи, утверждение рукописи для публикации. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. L.I. Sedova, E.V. Erokhina — search and analytical work, writing, discussion, editing of the text of the article; E.A. Baranova — scientific revision of the text of the manuscript; V.M. Yerikov, A.A. Nikulin — discussion of the text of the article; Yu.V. Mikadze, G.E. Ivanova — scientific revision of the text of the manuscript, approval of the manuscript for publication. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белкин А.А., Александрова Е.В., Ахутина Т.В., и др. Хронические нарушения сознания: клинические рекомендации Общероссийской общественной организации «Федерация

анестезиологов и реаниматологов» // Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова. 2023. № 3. С. 7–42. EDN: SSLNAY doi: 10.21320/1818-474X-2023-3-7-42

2. Gibson R.M., Fernández-Espejo D., Gonzalez-Lara L.E., et al. Multiple tasks and neuroimaging modalities increase the likelihood of detecting covert awareness in patients with disorders of consciousness // *Front Hum Neurosci*. 2014. Vol. 8. P. 950. doi: 10.3389/fnhum.2014.00950
3. Boly M., Laureys S. Functional «unlocking» bedside detection of covert awareness after severe brain damage // *Brain*. 2018. Vol. 141, N 5. P. 1239–1241. doi: 10.1093/brain/awy080
4. Белкин В.А., Поздняков Д.Г., Белкин А.А. Диагностика феномена когнитивно-моторного разобщения у пациентов с хроническими нарушениями сознания // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2019. Т. 11, № 3S. С. 46–51. doi: 10.14412/2074-2711-2019-3S-46-51
5. Черкасова А.Н., Яцко К.А., Ковязина М.С., и др. Разработка парадигм с целью диагностики «скрытого сознания» и когнитивно-моторного разобщения у пациентов с хроническими нарушениями сознания // *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2021. Т. 3, № 3. С. 318–321. doi: 10.36425/rehab72308
6. Выготский Л.С. *Мышление и речь*. Собрание сочинений. Т. 2. Москва: Педагогика, 1982. С. 215.
7. Гордеева О.В. *Проблема структуры сознания в трудах Л.С. Выготского* // *Мир психологии*. 1999. № 1. С. 111–118. EDN: HOVLZD
8. Edelman G.M. *Neural darwinism: The theory of neuronal group selection*. New York: Basic Books, 1987. 240 p.
9. Хомская Е.Д. *Нейропсихология*. 4-е изд. Санкт-Петербург: Питер, 2005. 496 с.
10. Анохин К.В. Когнитом: в поисках фундаментальной нейронаучной теории сознания // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2021. Т. 71, № 1. С. 39–71. EDN: TTTGKL doi: 10.31857/s0044467721010032
11. Лурия А.Р. *Язык и сознание* / под ред. Е.Д. Хомской. Москва: Издательство Московского университета, 1979. 320 с.
12. Лурия А.Р. *Высшие корковые функции человека*. Санкт-Петербург: Питер, 2018. 768 с. (Серия: Мастера психологии).
13. Kalmar K., Giacino J.T. The JFK coma recovery scale-revised // *Neuropsychol Rehabil*. 2005. Vol. 15, N 3–4. P. 454–460. doi: 10.1080/09602010443000425
14. Мочалова Е.Г., Легостаева Л.А., Зимин А.А., и др. Русскоязычная версия пересмотренной шкалы восстановления после комы — стандартизированный метод оценки пациентов с хроническими нарушениями сознания // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски*. 2018. Т. 118, № 3-2. С. 25–31. doi: 10.17116/jnevro20181183225-31
15. Schnakers C., Vanhaudenhuyse A., Giacino J., et al. Diagnostic accuracy of the vegetative and minimally conscious state: Clinical consensus versus standardized neurobehavioral assessment // *BMC Neurology*. 2009. N 9. P. 35. EDN: ZULRYB doi: 10.1186/1471-2377-9-35
16. Hirschberg R., Giacino J.T. The vegetative and minimally conscious states: Diagnosis, prognosis and treatment // *Neurol Clin*. 2011. Vol. 29, N 4. P. 773–786. doi: 10.1016/j.ncl.2011.07.009
17. Giacino J.T., Katz D.I., Schiff N.D., et al. Practice guideline update recommendations summary. Disorders of consciousness: Report of the Guideline Development, Dissemination, and Implementation Subcommittee of the American Academy of Neurology; the American Congress of Rehabilitation Medicine and the National Institute on Disability, Independent Living, and Rehabilitation Research // *Neurology*. 2018. Vol. 91, N 10. P. 450–460. doi: 10.1212/wnl.0000000000005926
18. Fingelkurts A.A., Fingelkurts A.A., Bagnato S., et al. EEG oscillatory states as neuro-phenomenology of consciousness as revealed from patients in vegetative and minimally conscious states // *Conscious Cogn*. 2012. Vol. 21, N 1. P. 149–169. EDN: PIKPID doi: 10.1016/j.concog.2011.10.004
19. Schnakers C., Bauer C., Formisano R., et al. What names for covert awareness? A systematic review // *Front Hum Neurosci*. 2022. Vol. 16. P. 971315. doi: 10.3389/fnhum.2022.971315
20. Plaut Y., Weiss L. *Electrodiagnostic evaluation of critical illness neuropathy* [2022 Sep 26]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024.
21. Bekinschtein T.A., Coleman M.R., Niklison J., et al. Can electromyography objectively detect voluntary movement in disorders of consciousness? // *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2008. Vol. 79. P. 826–828.
22. Lesenfans D., Habbal D., Chatelle C., et al. Electromyographic decoding of response to command in disorders of consciousness // *Neurology*. 2016. Vol. 87, N 20. P. 2099–2107. doi: 10.1212/WNL.0000000000003333
23. Habbal D., Gosseries O., Noirhomme Q., et al. Volitional electromyographic responses in disorders of consciousness // *Brain Inj*. 2014. Vol. 28, N 9. P. 1171–1179. doi: 10.3109/02699052.2014.920519
24. Ballanti S., Campagnini S., Liuzzi P., et al. EEG-based methods for recovery prognosis of patients with disorders of consciousness: A systematic review // *Clin Neurophysiol*. 2022. N 144. P. 98–114. EDN: SCZPFS doi: 10.1016/j.clinph.2022.09.017
25. Gosseries O., Schnakers C., Ledoux D., et al. Automated EEG entropy measurements in coma, vegetative state/unresponsive wakefulness syndrome and minimally conscious state // *Funct Neurol*. 2011. Vol. 26, N 1. P. 25–30. EDN: YBSDZD
26. Boly M., Garrido M.I., Gosseries O., et al. Preserved feedforward but impaired top-down processes in the vegetative state // *Science*. 2011. Vol. 332, N 6031. P. 858–862. doi: 10.1126/science.1202043
27. Scarpino M., Lolli F., Hakiki B., et al.; Intensive Rehabilitation Unit Study Group of the IRCCS Don Gnocchi Foundation, Italy. EEG and coma recovery scale-revised prediction of neurological outcome in disorder of consciousness patients // *Acta Neurol Scand*. 2020. Vol. 142, N 3. P. 221–228. doi: 10.1111/ane.13247
28. Naro A., Bramanti P., Leo A., et al. Towards a method to differentiate chronic disorder of consciousness patients' awareness: The low-resolution brain electromagnetic tomography analysis // *J Neurol Sci*. 2016. N 368. P. 178–183. doi: 10.1016/j.jns.2016.07.016

29. Bareham C.A., Allanson J., Roberts N., et al. Longitudinal bedside assessments of brain networks in disorders of consciousness: Case reports from the field // *Front Neurol*. 2018. N 9. P. 676. doi: 10.3389/fneur.2018.00676
30. Cavinato M., Freo U., Ori C., et al. Post-acute P300 predicts recovery of consciousness from traumatic vegetative state // *Brain Inj*. 2009. Vol. 23, N 12. P. 973–980. doi: 10.3109/02699050903373493
31. Bagnato S., Prestandrea C., D'Agostino T., et al. Somatosensory evoked potential amplitudes correlate with long-term consciousness recovery in patients with unresponsive wakefulness syndrome // *Clin Neurophysiol*. 2021. Vol. 132, N 3. P. 793–799. doi: 10.1016/j.clinph.2021.01.006
32. Naro A., Russo M., Leo A., et al. Cortical responsiveness to nociceptive stimuli in patients with chronic disorders of consciousness: Do C-fiber laser evoked potentials have a role? // *PLoS One*. 2015. Vol. 10, N 12. P. e0144713. doi: 10.1371/journal.pone.0144713
33. Spataro R., Heilinger A., Allison B., et al. Preserved somatosensory discrimination predicts consciousness recovery in unresponsive wakefulness syndrome // *Clin Neurophysiol*. 2018. Vol. 129, N 6. P. 1130–1136. doi: 10.1016/j.clinph.2018.02.131
34. Perrin F., Schnakers C., Schabus M., et al. Brain response to one's own name in vegetative state, minimally conscious state, and locked-in syndrome // *Arch Neurol*. 2006. Vol. 63, N 4. P. 562–569. doi: 10.1001/archneur.63.4.562
35. Schnakers C., Giacino J.T., Løvstad M., et al. Preserved covert cognition in noncommunicative patients with severe brain injury? // *Neurorehabil Neural Repair*. 2015. Vol. 29, N 4. P. 308–317. doi: 10.1177/1545968314547767
36. Annen J., Wannez S., Ortner R., et al. MindBEAGLE: An EEG-based BCI developed for patients with disorders of consciousness // Conference: International Brain-Computer Interface (BCI) Meeting. May, 2016.
37. Hauger S.L., Schnakers C., Andersson S., et al. Neurophysiological indicators of residual cognitive capacity in the minimally conscious state // *Behav Neurol*. 2015. Vol. 2015. P. 145913. doi: 10.1155/2015/145913
38. Duszyk A., Dovgialo M., Pietrzak M., et al. Event-related potentials in the odd-ball paradigm and behavioral scales for the assessment of children and adolescents with disorders of consciousness: A proof of concept study // *Clin Neuropsychologist*. 2019. Vol. 33, N 2. P. 419–437.
39. Annen J., Mertel I., Xu R., et al. Auditory and somatosensory p3 are complementary for the assessment of patients with disorders of consciousness // *Brain Sci*. 2020. Vol. 10, N 10. P. 748. doi: 10.3390/brainsci10100748
40. Rosanova M., Gosseries O., Casarotto S., et al. Recovery of cortical effective connectivity and recovery of consciousness in vegetative patients // *Brain*. 2012. Vol. 135, Pt. 4. P. 1308–1320. doi: 10.1093/brain/awr340
41. Casali A.G., Gosseries O., Rosanova M., et al. A theoretically based index of consciousness independent of sensory processing and behavior // *Sci Transl Med*. 2013. Vol. 5, N 198. P. 198ra105. doi: 10.1126/scitranslmed.3006294
42. Casarotto S., Comanducci A., Rosanova M., et al. Stratification of unresponsive patients by an independently validated index of brain complexity // *Ann Neurol*. 2016. Vol. 80, N 5. P. 718–729. doi: 10.1002/ana.24779
43. Sinityn D., Poydasheva A., Bakulin I., et al. Detecting the potential for consciousness in unresponsive patients using the perturbational complexity index // *Brain Sci*. 2020. Vol. 10, N 12. P. 917. doi: 10.917.10.3390/brainsci10120917
44. Пойдашева А.Г., Бакулин И.С., Легостаева Л.А., и др. Метод ТМС-ЭЭГ: возможности и перспективы // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2019. Т. 69, № 3. С. 267–279. doi: 10.1134/S0044467719030092
45. Comanducci A., Boly M., Claassen J., et al. Clinical and advanced neurophysiology in the prognostic and diagnostic evaluation of disorders of consciousness: Review of an IFCN-endorsed expert group // *Clin Neurophysiol*. 2020. Vol. 131, N 11. P. 2736–2765. doi: 10.1016/j.clinph.2020.07.015
46. Raichle M.E. Behind the scenes of functional brain imaging: A historical and physiological perspective // *Proc Natl Acad Sci USA*. 1998. Vol. 95, N 3. P. 765–772. EDN: LNDFIJ doi: 10.1073/pnas.95.3.765
47. Soddu A., Vanhaudenhuyse A., Bahri M.A., et al. Identifying the default-mode component in spatial IC analyses of patients with disorders of consciousness // *Hum Brain Mapp*. 2012. Vol. 33, N 4. P. 778–796. doi: 10.1002/hbm.21249
48. Vanhaudenhuyse A., Noirhomme Q., Tshibanda L., et al. Default network connectivity reflects the level of consciousness in non-communicative brain-damaged patients // *Brain*. 2010. Vol. 133, Pt. 1. P. 161–171. doi: 10.1093/brain/awp313
49. Demertzi A., Antonopoulos G., Heine L., et al. Intrinsic functional connectivity differentiates minimally conscious from unresponsive patients // *Brain*. 2015. Vol. 138, Pt. 9. P. 2619–2631. doi: 10.1093/brain/awv169
50. Легостаева Л.А., Кремнева Е.И., Сеницын Д.О., и др. Особенности резидуальной нейрональной активности у пациентов с хроническими нарушениями сознания по данным функциональной МРТ покоя // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2022. Т. 16, № 2. С. 15–24. doi: 10.54101/ACEN.2022.2.2
51. Rodriguez M.D., Schiff N.D., Giacino J., et al. A network approach to assessing cognition in disorders of consciousness // *Neurology*. 2010. Vol. 75, N 21. P. 1871–1878. doi: 10.1212/WNL.0b013e3181feb259
52. Bardin J.C., Fins J.J., Katz D.I., et al. Dissociations between behavioural and functional magnetic resonance imaging-based evaluations of cognitive function after brain injury // *Brain*. 2011. Vol. 134, Pt. 3. P. 769–782. doi: 10.1093/brain/awr005
53. Owen A.M., Coleman M.R., Boly M., et al. Detecting awareness in the vegetative state // *Science*. 2006. Vol. 313, N 5792. P. 1402. doi: 10.1126/science.1130197
54. Monti M.M., Vanhaudenhuyse A., Coleman M.R., et al. Willful modulation of brain activity in disorders of consciousness // *N Engl J Med*. 2010. Vol. 362, N 7. P. 579–589. doi: 10.1056/NEJMoa0905370

55. Owen A.M., Coleman M.R. Functional neuroimaging of the vegetative state // *Nat Rev Neurosci.* 2008. Vol. 9, N 3. P. 235–243. doi: 10.1038/nrn2330
56. Laureys S., Owen A.M., Schiff N.D. Brain function in coma, vegetative state, and related disorders // *Lancet Neurol.* 2004. Vol. 3, N 9. P. 537–546. doi: 10.1016/S1474-4422(04)00852-X
57. Stender J., Gosseries O., Bruno M.A., et al. Diagnostic precision of PET imaging and functional MRI in disorders of consciousness: A clinical validation study // *Lancet.* 2014. Vol. 384, N 9942. P. 514–522. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60042-8
58. Stender J., Kupers R., Rodell A., et al. Quantitative rates of brain glucose metabolism distinguish minimally conscious from vegetative state patients // *J Cereb Blood Flow Metab.* 2014b. Vol. 35, N 1. P. 58–65. doi: 10.1038/jcbfm.2014.169
59. Laureys S., Goldman S., Phillips C., et al. Impaired effective cortical connectivity in vegetative state: Preliminary investigation using PET // *Neuroimage.* 1999. Vol. 9, N 4. P. 377–382. doi: 10.1006/nimg.1998.0414
60. Baars B.J., Ramsøy T.Z., Laureys S. Brain, conscious experience and the observing self // *Trends Neurosci.* 2003. Vol. 26, N 12. P. 671–675. EDN: ETBMQP doi: 10.1016/j.tins.2003.09.015
61. Laureys S., Lemaire C., Maquet P., et al. Cerebral metabolism during vegetative state and after recovery to consciousness // *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1999. Vol. 67, N 1. P. 121. doi: 10.1136/jnnp.67.1.121
62. Laureys S., Faymonville M.E., Luxen A., et al. Restoration of thalamocortical connectivity after recovery from persistent vegetative state // *Lancet.* 2000. Vol. 355, N 9217. P. 1790–1791. EDN: DHJJCT doi: 10.1016/S0140-6736(00)02271-6
63. Sharon H., Pasternak Y., Ben Simon E., et al. Emotional processing of personally familiar faces in the vegetative state // *PLoS ONE.* 2013. Vol. 8, N 9. P. e74711. doi: 10.1371/journal.pone.0074711
64. Laureys S., Faymonville M.E., Peigneux P., et al. Cortical processing of noxious somatosensory stimuli in the persistent vegetative state // *Neuroimage.* 2002. Vol. 17, N 2. P. 732–741.
65. Boly M., Faymonville M.E., Peigneux P., et al. Auditory processing in severely brain injured patients: Differences between the minimally conscious state and the persistent vegetative state // *Arch Neurol.* 2004. Vol. 61, N 2. P. 233–238. doi: 10.1001/archneur.61.2.233
66. Laureys S., Faymonville M.E., Degueldre C., et al. Auditory processing in the vegetative state // *Brain.* 2000. Vol. 123, Pt. 8. P. 1589–1601. EDN: ILZVNV doi: 10.1093/brain/123.8.1589

REFERENCES

1. Belkin AA, Aleksandrova EV, Akhutina TV, et al. Chronic disorders of consciousness: Guidelines of the all-Russian public organization «Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists». *Alexander Saltanov intensive care herald.* 2023;(3):7–42. EDN: SSLNAY doi: 10.21320/1818-474X-2023-3-7-42
2. Gibson RM, Fernández-Espejo D, Gonzalez-Lara LE, et al. Multiple tasks and neuroimaging modalities increase the likelihood of detecting covert awareness in patients with disorders of consciousness. *Front Hum Neurosci.* 2014;8:950. doi: 10.3389/fnhum.2014.00950
3. Boly M, Laureys S. Functional «unlocking» bedside detection of covert awareness after severe brain damage. *Brain.* 2018;141(5):1239–1241. doi: 10.1093/brain/awy080
4. Belkin VA, Pozdnyakov DG, Belkin AA. Diagnosis of the phenomenon of cognitive-motor dissociation in patients with chronic consciousness disorders. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics.* 2019;11(3S): 46–51. doi: 10.14412/2074-2711-2019-3S-46-51
5. Cherkasova AN, Yatsko KA, Kovyazina MS, et al. Development of paradigms for the diagnosis of «covert cognition» and cognitive motor dissociation in patients with chronic disorders of consciousness. *Physical Rehab Medicine, Medical Rehabilitation.* 2021;3(3):318–321. doi: 10.36425/rehab72308
6. Vygotsky L.S. *Thinking and speech.* Collected Works. Vol. 2. Moscow: Pedagogika; 1982. P. 215. (In Russ).
7. Gordeeva OV. The problem of the structure of consciousness in the works of L.S. Vygotsky. *World of psychology.* 1999;(1):111–118. EDN: HOVLZD
8. Edelman GM. *Neural darwinism: The theory of neuronal group selection.* New York: Basic Books; 1987. 240 p.
9. Khomskaya ED. *Neuropsychology.* 4th ed. Saint Petersburg: Piter; 2005. 496 p. (In Russ).
10. Anokhin KV. Cognitome: In search of fundamental neuroscience theory of consciousness. *I.P. Pavlov J Higher Nervous Activity.* 2021;71(1):39–71. EDN: TTTGKL doi: 10.31857/s0044467721010032
11. Luria AR. *Language and consciousness.* Ed. by E.D. Chomskaya. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta; 1979. 320 p. (In Russ).
12. Luria AR. *Higher cortical functions in man.* Saint Petersburg: Piter; 2018. 768 p. Series: Masters of Psychology. (In Russ).
13. Kalmar K, Giacino JT. The JFK coma recovery scale-revised. *Neuropsychol Rehabil.* 2005;15(3-4):454–460. doi: 10.1080/09602010443000425
14. Mochalova EG, Legostaeva LA, Zimin AA, et al. The Russian version of coma recovery scale-revised: A standardized method for assessment of patients with disorders of consciousness. *S.S. Korsakov J Neurology Psychiatry.* 2018;118(3-2):25–31. doi: 10.17116/jnevro20181183225-31
15. Schnakers C, Vanhaudenhuyse A, Giacino J, et al. Diagnostic accuracy of the vegetative and minimally conscious state: Clinical consensus versus standardized neurobehavioral assessment. *BMC Neurology.* 2009;(9):35. EDN: ZULRYB doi: 10.1186/1471-2377-9-35
16. Hirschberg R, Giacino JT. The vegetative and minimally conscious states: Diagnosis, prognosis and treatment. *Neurol Clin.* 2011;29(4):773–786. doi: 10.1016/j.ncl.2011.07.009

17. Giacino JT, Katz DI, Schiff ND, et al. Practice guideline update recommendations summary. Disorders of consciousness: Report of the Guideline Development, Dissemination, and Implementation Subcommittee of the American Academy of Neurology; the American Congress of Rehabilitation Medicine and the National Institute on Disability, Independent Living, and Rehabilitation Research. *Neurology*. 2018;91(10):450–460. doi: 10.1212/wnl.00000000000005926
18. Fingelkurts AA, Fingelkurts AA, Bagnato S, et al. EEG oscillatory states as neuro-phenomenology of consciousness as revealed from patients in vegetative and minimally conscious states. *Conscious Cogn*. 2012;21(1):149–169. EDN: PIKPID doi: 10.1016/j.concog.2011.10.004
19. Schnakers C, Bauer C, Formisano R, et al. What names for covert awareness? A systematic review. *Front Hum Neurosci*. 2022;16:971315. doi: 10.3389/fnhum.2022.971315
20. Plaut Y, Weiss L. *Electrodiagnostic evaluation of critical illness neuropathy* [2022 Sep 26]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
21. Bekinschtein TA, Coleman MR, Niklison J, et al. Can electromyography objectively detect voluntary movement in disorders of consciousness? *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2008;79:826–828.
22. Lesenfant D, Habbal D, Chatelle C, et al. Electromyographic decoding of response to command in disorders of consciousness. *Neurology*. 2016;87(20):2099–2107. doi: 10.1212/WNL.0000000000003333
23. Habbal D, Gosseries O, Noirhomme Q, et al. Volitional electromyographic responses in disorders of consciousness. *Brain Inj*. 2014;28(9):1171–1179. doi: 10.3109/02699052.2014.920519
24. Ballanti S, Campagnini S, Liuzzi P, et al. EEG-based methods for recovery prognosis of patients with disorders of consciousness: A systematic review. *Clin Neurophysiol*. 2022;144(9):98–114. EDN: SCZPFS doi: 10.1016/j.clinph.2022.09.017
25. Gosseries O, Schnakers C, Ledoux D, et al. Automated EEG entropy measurements in coma, vegetative state/unresponsive wakefulness syndrome and minimally conscious state. *Funct Neurol*. 2011;26(1):25–30. EDN: YBSDZD
26. Boly M, Garrido MI, Gosseries O, et al. Preserved feedforward but impaired top-down processes in the vegetative state. *Science*. 2011;332(6031):858–862. doi: 10.1126/science.1202043
27. Scarpino M, Lolli F, Hakiki B, et al.; Intensive Rehabilitation Unit Study Group of the IRCCS Don Gnocchi Foundation, Italy. EEG and coma recovery scale-revised prediction of neurological outcome in disorder of consciousness patients. *Acta Neurol Scand*. 2020;142(3):221–228. doi: 10.1111/ane.13247
28. Naro A, Bramanti P, Leo A, et al. Towards a method to differentiate chronic disorder of consciousness patients' awareness: The low-resolution brain electromagnetic tomography analysis. *J Neurol Sci*. 2016;368(1):178–183. doi: 10.1016/j.jns.2016.07.016
29. Bareham CA, Allanson J, Roberts N, et al. Longitudinal bedside assessments of brain networks in disorders of consciousness: Case reports from the field. *Front Neurol*. 2018;9(9):676. doi: 10.3389/fneur.2018.00676
30. Cavinato M, Freo U, Ori C, et al. Post-acute P300 predicts recovery of consciousness from traumatic vegetative state. *Brain Inj*. 2009;23(12):973–980. doi: 10.3109/02699050903373493
31. Bagnato S, Prestandrea C, D'Agostino T, et al. Somatosensory evoked potential amplitudes correlate with long-term consciousness recovery in patients with unresponsive wakefulness syndrome. *Clin Neurophysiol*. 2021;132(3):793–799. doi: 10.1016/j.clinph.2021.01.006
32. Naro A, Russo M, Leo A, et al. Cortical responsiveness to nociceptive stimuli in patients with chronic disorders of consciousness: Do C-fiber laser evoked potentials have a role? *PLoS One*. 2015;10(12):e0144713. doi: 10.1371/journal.pone.0144713
33. Spataro R, Heilinger A, Allison B, et al. Preserved somatosensory discrimination predicts consciousness recovery in unresponsive wakefulness syndrome. *Clin Neurophysiol*. 2018;129(6):1130–1136. doi: 10.1016/j.clinph.2018.02.131
34. Perrin F, Schnakers C, Schabus M, et al. Brain response to one's own name in vegetative state, minimally conscious state, and locked-in syndrome. *Arch Neurol*. 2006;63(4):562–569. doi: 10.1001/archneur.63.4.562
35. Schnakers C, Giacino JT, Løvstad M, et al. Preserved covert cognition in noncommunicative patients with severe brain injury? *Neurorehabil Neural Repair*. 2015;29(4):308–317. doi: 10.1177/1545968314547767
36. Annen J, Wannez S, Ortner R, et al. *MindBEAGLE: An EEG-based BCI developed for patients with disorders of consciousness*. In: Conference: International Brain-Computer Interface (BCI) Meeting. May, 2016.
37. Hauger SL, Schnakers C, Andersson S, et al. Neurophysiological indicators of residual cognitive capacity in the minimally conscious state. *Behav Neurol*. 2015;2015:145913. doi: 10.1155/2015/145913
38. Duszyk A, Dvighalo M, Pietrzak M, et al. Event-related potentials in the odd-ball paradigm and behavioral scales for the assessment of children and adolescents with disorders of consciousness: A proof of concept study. *Clin Neuropsychologist*. 2019;33(2):419–437.
39. Annen J, Mertel I, Xu R, et al. Auditory and somatosensory p3 are complementary for the assessment of patients with disorders of consciousness. *Brain Sci*. 2020;10(10):748. doi: 10.3390/brainsci10100748
40. Rosanova M, Gosseries O, Casarotto S, et al. Recovery of cortical effective connectivity and recovery of consciousness in vegetative patients. *Brain*. 2012;135(Pt 4):1308–1320. doi: 10.1093/brain/awr340
41. Casali AG, Gosseries O, Rosanova M, et al. A theoretically based index of consciousness independent of sensory processing and behavior. *Sci Transl Med*. 2013;5(198):198ra105. doi: 10.1126/scitranslmed.3006294
42. Casarotto S, Comanducci A, Rosanova M, et al. Stratification of unresponsive patients by an independently validated

- index of brain complexity. *Ann Neurol.* 2016;80(5):718–729. doi: 10.1002/ana.24779
43. Sinitsyn D, Poydasheva A, Bakulin I, et al. Detecting the potential for consciousness in unresponsive patients using the perturbational complexity index. *Brain Sci.* 2020;10(12):917. doi: 10.917.10.3390/brainsci10120917
44. Poydasheva AG, Bakulin IS, Legostaeva LA, et al. TMS-EEG: Current possibilities and future prospects. *I.P. Pavlov J Higher Nervous Activity.* 2019;69(3):267–279. doi: 10.1134/S0044467719030092
45. Comanducci A, Boly M, Claassen J, et al. Clinical and advanced neurophysiology in the prognostic and diagnostic evaluation of disorders of consciousness: Review of an IFCN-endorsed expert group. *Clin Neurophysiol.* 2020;131(11):2736–2765. doi: 10.1016/j.clinph.2020.07.015
46. Raichle ME. Behind the scenes of functional brain imaging: A historical and physiological perspective. *Proc Natl Acad Sci USA.* 1998;95(3):765–772. EDN: LNDFIJ doi: 10.1073/pnas.95.3.765
47. Soddu A, Vanhaudenhuyse A, Bahri MA, et al. Identifying the default-mode component in spatial IC analyses of patients with disorders of consciousness. *Hum Brain Mapp.* 2012;33(4):778–796. doi: 10.1002/hbm.21249
48. Vanhaudenhuyse A, Noirhomme Q, Tshibanda L, et al. Default network connectivity reflects the level of consciousness in non-communicative brain-damaged patients. *Brain.* 2010;133(Pt 1):161–171. doi: 10.1093/brain/awp313
49. Demertzi A, Antonopoulos G, Heine L, et al. Intrinsic functional connectivity differentiates minimally conscious from unresponsive patients. *Brain.* 2015;138(Pt 9):2619–2631. doi: 10.1093/brain/awv169
50. Legostaeva LA, Kremneva EI, Sinitsyn DO, et al. Features of residual cerebral brain activity in patients with chronic disorders of consciousness on resting-state functional MRI. *Ann Clin Exp Neurol.* 2022;16(2):15–24. doi: 10.54101/ACEN.2022.2.2
51. Rodriguez MD, Schiff ND, Giacino J, et al. A network approach to assessing cognition in disorders of consciousness. *Neurology.* 2010;75(21):1871–1878. doi: 10.1212/WNL.0b013e3181feb259
52. Bardin JC, Fins JJ, Katz DI, et al. Dissociations between behavioural and functional magnetic resonance imaging-based evaluations of cognitive function after brain injury. *Brain.* 2011;134(Pt 3):769–782. doi: 10.1093/brain/awr005
53. Owen AM, Coleman MR, Boly M, et al. Detecting awareness in the vegetative state. *Science.* 2006;313(5792):1402. doi: 10.1126/science.1130197
54. Monti MM, Vanhaudenhuyse A, Coleman MR, et al. Willful modulation of brain activity in disorders of consciousness. *N Engl J Med.* 2010;362(7):579–589. doi: 10.1056/NEJMoa0905370
55. Owen AM, Coleman MR. Functional neuroimaging of the vegetative state. *Nat Rev Neurosci.* 2008;9(3):235–243. doi: 10.1038/nrn2330
56. Laureys S, Owen AM, Schiff ND. Brain function in coma, vegetative state, and related disorders. *Lancet Neurol.* 2004;3(9):537–546. doi: 10.1016/S1474-4422(04)00852-X
57. Stender J, Gosseries O, Bruno MA, et al. Diagnostic precision of PET imaging and functional MRI in disorders of consciousness: A clinical validation study. *Lancet.* 2014;384(9942):514–522. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60042-8
58. Stender J, Kupers R, Rodell A, et al. Quantitative rates of brain glucose metabolism distinguish minimally conscious from vegetative state patients. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2014b;35(1):58–65. doi: 10.1038/jcbfm.2014.169
59. Laureys S, Goldman S, Phillips C, et al. Impaired effective cortical connectivity in vegetative state: Preliminary investigation using PET. *Neuroimage.* 1999;9(4):377–382. doi: 10.1006/nimg.1998.0414
60. Baars BJ, Ramsøy TZ, Laureys S. Brain, conscious experience and the observing self. *Trends Neurosci.* 2003;26(12):671–675. EDN: ETBMQP doi: 10.1016/j.tins.2003.09.015
61. Laureys S, Lemaire C, Maquet P, et al. Cerebral metabolism during vegetative state and after recovery to consciousness. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1999;67(1):121. doi: 10.1136/jnnp.67.1.121
62. Laureys S, Faymonville ME, Luxen A, et al. Restoration of thalamocortical connectivity after recovery from persistent vegetative state. *Lancet.* 2000;355(9217):1790–1791. EDN: DHJJCT doi: 10.1016/s0140-6736(00)02271-6
63. Sharon H, Pasternak Y, Ben Simon E, et al. Emotional processing of personally familiar faces in the vegetative state. *PLoS ONE.* 2013;8(9):e74711. doi: 10.1371/journal.pone.0074711
64. Laureys S, Faymonville ME, Peigneux P, et al. Cortical processing of noxious somatosensory stimuli in the persistent vegetative state. *Neuroimage.* 2002;17(2):732–741.
65. Boly M, Faymonville ME, Peigneux P, et al. Auditory processing in severely brain injured patients: Differences between the minimally conscious state and the persistent vegetative state. *Arch Neurol.* 2004;61(2):233–238. doi: 10.1001/archneur.61.2.233
66. Laureys S, Faymonville ME, Degueldre C, et al. Auditory processing in the vegetative state. *Brain.* 2000;123(Pt 8):1589–1601. EDN: ILZVNV doi: 10.1093/brain/123.8.1589

ОБ АВТОРАХ

* Ерохина Екатерина Вадимовна;

адрес: Россия, 117342, Москва, ул. Островитянова, д. 1, стр. 10;
ORCID: 0009-0006-6831-6679;
e-mail: kater004@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Ekaterina V. Erokhina;

address: 1/10 Ostrovityanova street, 117342 Moscow, Russia;
ORCID: 0009-0006-6831-6679;
e-mail: kater004@mail.ru

Седова Любовь Игоревна;
ORCID: 0009-0000-6548-0402;
eLibrary SPIN: 7794-6822;
e-mail: li.eseykina@gmail.com

Баранова Елена Анатольевна, канд. мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-9200-9234;
eLibrary SPIN: 6791-2193;
e-mail: ebaranova2006@mail.ru

Ериков Владимир Михайлович, доцент;
ORCID: 0009-0005-8540-6775;
e-mail: v.erikov@365.rsu.edu

Никулин Алексей Анатольевич, доцент;
ORCID: 0009-0000-9367-2671;
e-mail: a.nikulin@365.rsu.edu

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

Микадзе Юрий Владимирович, д-р псих. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-8137-9611;
eLibrary SPIN: 7799-8969;
e-mail: ymikadze@yandex.ru

Lubov I. Sedova;
ORCID: 0009-0000-6548-0402;
eLibrary SPIN: 7794-6822;
e-mail: li.eseykina@gmail.com

Elena A. Baranova, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-9200-9234;
eLibrary SPIN: 6791-2193;
e-mail: ebaranova2006@mail.ru

Vladimir M. Erikov, Associate Professor;
ORCID: 0009-0005-8540-6775;
e-mail: v.erikov@365.rsu.edu

Alexey A. Nikulin, Associate Professor;
ORCID: 0009-0000-9367-2671;
e-mail: a.nikulin@365.rsu.edu

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

Yury V. Mikadze, Dr. Sci. (Psych.), Professor;
ORCID: 0000-0001-8137-9611;
eLibrary SPIN: 7799-8969;
e-mail: ymikadze@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab625507>

Оценка использования функции рук: тесты для взрослых пациентов с патологией центральной нервной системы

А.Н. Белова, Г.Е. Шейко, Е.М. Рахманова, Ю.А. Израелян, Р.Д. Ананьев

Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Нарушение функции верхней конечности — частая и весьма актуальная проблема пациентов с патологией центральной нервной системы. Восстановление функциональных возможностей руки является одной из приоритетных задач медицинской реабилитации таких пациентов. Разработка новых эффективных реабилитационных технологий, реализация пациент-центрированного подхода и объективная оценка исходов реабилитации требуют наличия валидизированных инструментов оценки функциональных возможностей верхней конечности.

Цель данного обзора — познакомить специалистов с теми инструментами, которые оценивают результаты реабилитации на основании выполнения пациентом стандартизированных заданий (тестов). Тесты для оценки функционирования верхних конечностей рассматриваются с позиций Международной классификации функционирования, нарушений жизнедеятельности и здоровья. В статье даны общие представления об этих тестах, при этом внимание акцентируется на том, что достоверность результатов, полученных путём тестирования, обеспечивается соблюдением стандартных требований к инструментам измерения (валидность, надёжность, чувствительность). Дается краткая характеристика тестам, сосредоточенным на исследовании использования кисти, и тестам, акцентированным на менее дифференцированных движениях верхней конечности, а также способности выполнять рукой функционально значимые действия. Представлены тесты, которые, по результатам системных обзоров, продемонстрировали хорошие психометрические характеристики и пригодность для мониторингирования результатов реабилитации пациентов с мозговым инсультом, рассеянным склерозом и позвоночно-спинномозговой травмой.

Выбор конкретного теста определяется целью и задачами исследования (клиническая практика или научная разработка), особенностями двигательных нарушений пациентов, а с учётом временных затрат на обследование — кадровыми ресурсами реабилитационных отделений.

Существует потребность в создании и валидации новых инструментов, сфокусированных на измерении функции кисти пациентов с патологией центральной нервной системы.

Ключевые слова: оценка; тесты; реабилитация; верхняя конечность; рука; кисть; функция; инсульт; рассеянный склероз; позвоночно-спинномозговая травма.

Как цитировать:

Белова А.Н., Шейко Г.Е., Рахманова Е.М., Израелян Ю.А., Ананьев Р.Д. Оценка использования функции рук: тесты для взрослых пациентов с патологией центральной нервной системы // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 2. С. 172–187.
DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab625507>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab625507>

Hand function assessment: tests for adult patients with central nervous system disorders

Anna N. Belova, Gennadii E. Sheiko, Evgeniya M. Rakhmanova, Yuliya A. Israelyan, Roman D. Ananyev

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

ABSTRACT

Upper limb dysfunction is a very common and severe problem in patients with central nervous system disorders. The restoration of arm and hand functions is one of the priority goals of medical rehabilitation in these patients. The development of new and effective rehabilitation technologies, implementation of a patient-centered approach, and objective assessment of rehabilitation outcomes require validated tools.

This review aimed to introduce specialists to those tools that evaluate the rehabilitation outcomes based on the patient's performance in standardized tasks (tests). Functional abilities of the upper extremities should be assessed based on the International Classification of Functioning, Disability and Health. The general concepts of these tests are discussed. Standard requirements for measurement tools (validity, reliability, and sensitivity) ensure the reliability of test results. The tests that focused on the hand and arm function are briefly described. Only tests that have good psychometric characteristics and are suitable for the monitoring of rehabilitation outcomes for patients with stroke, multiple sclerosis, and spinal cord injury are also presented in the review.

In conclusion, the choice of a specific test is based on the purpose and objectives of the study (clinical practice or scientific research), motor deficit peculiarities, and rehabilitation unit resources.

However, new and validated tools that focus on the assessment of hand function abilities in patients with central nervous system disorders are needed.

Keywords: assessment; tests; rehabilitation; upper limb; arm; hand; function; stroke; multiple sclerosis; spinal cord injury.

To cite this article:

Belova AN, Sheiko GE, Rakhmanova EM, Israelyan YuA, Ananyev RD. Hand function assessment: tests for adult patients with central nervous system disorders. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(2):172–187. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab625507>

Список сокращений

МКФ (ICF) — Международная классификация функционирования, нарушений жизнедеятельности и здоровья (International Classification of Functioning, Disability and Health)

ВВЕДЕНИЕ

Сохранность функциональных возможностей верхних конечностей является критически важной для человека, поскольку с манипулятивными возможностями рук связаны самообслуживание, социальная и профессиональная активность, качество жизни в целом [1, 2]. Заболевания центральной нервной системы очень часто приводят к нарушениям использования функции рук. Так, дисфункция рук наблюдается у большей части пациентов, перенёсших церебральный инсульт; около 67% пациентов даже спустя 4 года после инсульта, сопровождавшегося двигательными нарушениями, не способны полноценно пользоваться кистью паретичной руки [3]. При рассеянном склерозе до 76% пациентов имеют ограничения функции рук, лимитирующие их способность к самообслуживанию, в том числе при лёгком течении заболевания [4, 5]. Среди пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой до 60% имеют тетраплегию, и наивысшим приоритетом для них становится улучшение функционирования верхних конечностей с целью повышения уровня своей независимости от посторонней помощи [6].

Реабилитационные мероприятия по восстановлению функции рук должны базироваться на принципах доказательной медицины, что в свою очередь требует наличия валидных и надёжных оценочных инструментов [7, 8]. Выделяют две группы инструментов, позволяющих оценивать эффективность реабилитации:

- 1) инструменты, оценивающие «исходы, сообщаемые наблюдателями» (Observer Reported Outcomes, OROs), в том числе «исходы, основанные на результатах» (Performance-Based Outcome Measures, PBOMs);
- 2) инструменты, определяющие «исходы, сообщаемые пациентами» (Patient Related Outcome Measures, PROMs), т.е. опросники либо шкалы, отражающие точку зрения самого пациента на своё здоровье и функционирование [9].

У каждого из подходов есть свои преимущества. Так, OROs более чувствительны, менее подвержены «эффекту потолка» и имеют более сильную связь с нарушениями, в то же время PROMs, ориентированные на мнение и предпочтение респондентов, помогают реализовать пациент-ориентированный подход к реабилитации [9]. Комбинация этих двух подходов даёт возможность наиболее точно и надёжно определять цели и задачи реабилитационных вмешательств, оценивать достигнутый пациентом прогресс либо эффективность конкретных методов реабилитации [9]. В рамках нашего обзора остановимся

на первой группе инструментов, которые оценивают результаты на основании выполнения пациентом стандартизированных заданий (далее — тестов).

ТЕСТЫ ДЛЯ ВЗРОСЛЫХ ПАЦИЕНТОВ С ПАТОЛОГИЕЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Общие представления о тестах, оценивающих использование функции верхней конечности

Тесты для оценки функционирования верхних конечностей принято рассматривать с позиций Международной классификации функционирования, нарушений жизнедеятельности и здоровья, или МКФ (International Classification of Functioning, Disability and Health, ICF), которая является концептуальной основой измерений, касающихся здоровья человека [7]. Коды МКФ, касающиеся использования функции руки, относятся к компоненту «активность и участие» (d), домену d4 («мобильность») и категориям d430–d449 (перенос, перемещение и манипулирование объектами): d430 — поднятие и перенос предметов; d440 — использование точных движений кисти; d445 — использование кисти и руки (выполнение координированных действий при перемещении и манипулировании объектами с использованием кистей и рук; d449 — перенос, перемещение и манипулирование объектами, другое уточнённое и неуточнённое [10]. Однако термин «лёгкие», «умеренные», «тяжёлые», обозначающие выраженность нарушений для указанных категорий, весьма субъективны. Результаты тестов помогают более точно выбрать значение определителя для той или иной категории.

Надо отметить, что далеко не всегда удаётся провести чёткую границу между измерением с помощью теста активности (компонент МКФ «d») и связанных с движением функций руки (компонент МКФ «b», категория b7 — нейромышечные, скелетные и связанные с движением функции), поскольку многие инструменты совмещают оценку этих аспектов. Так, например, в тесте «Оценка двигательного восстановления верхней конечности Фугл-Мейера» (Fugl-Meyer Assessment of Motor Recovery — Upper Extremity, FMA-UE) 87% заданий относятся к оценке компонента «b» и лишь 13% заданий — к компоненту «d», домену d4 [8]. Применительно к тестам термином «движение» обычно обозначают способность человека активно изменить положение части тела, тогда как термин «активность» отражает способность человека

интегрировать движение в процесс выполнения функционального задания [11].

Тесты используются как в научных исследованиях для объективизации эффективности новых методов и технологий реабилитации, так и в клинической практике (оценка индивидуальных особенностей конкретного пациента для определения целей и задач реабилитации; оценка динамики состояния пациента и успешности его реабилитации). Достоверность результатов, полученных путём тестирования, обеспечивается соблюдением стандартных требований к инструментам измерения (валидность, надёжность, чувствительность); в клинической и исследовательской практике следует использовать лишь те тесты, которые имеют подтверждение надлежащих психометрических свойств [12, 13]. Однако до сих пор отсутствует консенсус по поводу содержательной валидности тестов, измеряющих использование верхней конечности, а именно, какие задания наиболее адекватно отражают многообразные функции руки, как выбирать точные критерии успешности выполнения заданий (по времени выполнения, качеству исполнения) [14, 15]. Факторы, влияющие на результат тестирования, могут быть связаны с характеристиками предметов (размер, форма, текстура, число, расположение), сложностью двигательного паттерна (одно движение либо последовательность различных движений), а также требованиями, диктуемыми заданием (мышечная сила, выносливость, направление, скорость, ритмичность движений и т.д.) [16].

В рамках разработки единого европейского руководства (гайдлайна) с применением «дельфийской» технологии было проведено исследование мнений большой мультидисциплинарной группы экспертов, касавшихся протоколов и методов оценки верхней конечности в высокотехнологичной нейрореабилитационной практике и научных исследованиях [17]. Эксперты признали, что как при проведении клинических исследований, так и в практической работе должны соблюдаться следующие положения:

- наличие единого руководства по оценке верхних конечностей в нейрореабилитации, проводимой с использованием роботизированных устройств;
- стандартизация порядка обследований: применение в клинических программах как минимум четырёх очных оценок — в начале, во время и по завершении программы, а также через установленный промежуток времени по её завершении; эти оценки должны занимать не более 3 часов и проводиться отдельно от лечения;
- использование в клинической практике только валидизированных инструментов оценки;
- сочетание оценок, основанных на инструментальных обследованиях, с клиническими оценками;
- включение в комплексную оценку самоопросников и персонализированных цель-ориентированных измерений;

- включение технологически новых методов оценки, которые могут быть полезны в будущем благодаря технологическому прогрессу: клиницисты и исследователи признают, что существующие инструменты оценки недостаточны для детальной оценки всего спектра функционирования верхних конечностей, и что существует необходимость в изменениях, поскольку новые технологии становятся более доступными.

Тем не менее на практике названные положения соблюдаются далеко не всегда. В 2019 году был опубликован системный обзор, в котором проанализировано наличие рекомендаций по оценке верхней конечности в международных клинических руководствах по реабилитации лиц с неврологической патологией (работа выполнялась в рамках уже упомянутого выше единого европейского гайдлайна) [18]. Авторы обзора убедительно продемонстрировали, что большая часть рекомендаций и гайдлайнов утверждают положения об обязательности оценок функционирования верхних конечностей в процессе нейрореабилитации, необходимости проведения ранних и регулярных оценок специалистами, владеющими методиками тестирования и опроса, с использованием валидных инструментов оценки [18]. Отмечено, что рекомендации часто содержат мало специфичной информации о методах оценки руки и не конкретизируют инструменты и сроки проведения оценок [18].

В клинической практике оценку движений и действий руки проводят обычно специалисты по физической терапии и эргоспециалисты, которые перед тестированием обязательно проводят инструктаж с обследуемым и перед каждым заданием демонстрируют его правильное выполнение. Результаты оценки зависят от соблюдения всех методологических особенностей тестирования, поэтому эргоспециалистов и специалистов по физической терапии обязательно обучают правильному использованию оценочных инструментов. Так, на образовательной платформе StrokEDGE (от англ. Stroke — инсульт; Evidence Database to Guide Effectiveness — доказательная база для повышения эффективности) регулярно обновляется информация по тем оценочным инструментам, которыми должны владеть специалисты по эрготерапии и физической терапии.

Тесты для измерения использования функции верхней конечности можно условно классифицировать, во-первых, по предназначению (оценка использования кисти либо оценка использования руки в целом), во-вторых, по нозологической специфичности.

Тесты, сосредоточенные на исследовании использования кисти (hand), преимущественно оценивают способность к выполнению действий, требующих мелкой моторики и точных дифференцированных движений. Для обозначения этих свойств нередко применяют термин «ловкость» (dexterity), которым обозначают тонкие произвольные движения, используемые для манипулирования мелкими предметами [19]. До сих пор нет общепринятого представления

о том, какие задания необходимо давать обследуемому для оценки ловкости руки, поскольку ловкость требует сочетания, по сути, противоположных характеристик: силы и точности, синергизма и дифференцированных движений отдельных пальцев, стабильности (захват) и подвижности (манипуляция с предметами) [8]. Наиболее часто ловкость руки оценивают путём регистрации времени, затраченного на выполнение специфических заданий. Примерами таких тестов являются «Тест с колышками и девятью отверстиями» (Nine Hole Peg Test, 9HPT) [20], «Коробка и кубики» (Box and Block Test, BBT) [21], тест университета Пердью с доской и штифтами (Purdue Pegboard Test, PPT) [22], «Тест переворачивания монет» (Coin rotation task, CRT) [23]. Формально эти тесты измеряют функции руки, а не активность, однако косвенно отражают способность человека использовать функции руки в повседневной жизни.

Тесты, оценивающие функционирование руки в целом (arm), акцентированы на менее дифференцированных движениях верхней конечности (gross motor function) и способности выполнять рукой функционально значимые действия. Примерами тестов, оценивающих функционально значимые движения руки, являются FMA-UE [24] и «Тест изучения деятельности руки» (Action Research Arm Test, ARAT) [25]. Примерами тестов, сосредоточенных на оценке активностей, выполняемых с использованием руки, являются «Оценка помощи руки при инсульте у взрослых» (Adult-Assisting Hand Assessment Stroke, Ad-AHA) [13], «Оценка активности руки и кисти Чедока» (Chedoke Arm and Hand Activity Inventory, CAHAI) [26]. Многие тесты комбинируют оценку движений и функционально значимых действий, например «Шкала оценки двигательной функции верхней конечности» (Upper Limb-Motor Assessment Scale, UL-MAS) [27] и «Тест двигательной функции Вольфа» (Wolf Motor Function Test, WMFT) [28].

Нозологическая специфичность тестов определяется особенностями функциональных нарушений, которые могут быть присущи тому или иному заболеванию. Например, у пациентов, перенёсших позвоночно-спинномозговую травму, страдают как проксимальные, так и дистальные отделы рук, что требует оценки функционирования верхней конечности в целом, в то же время при рассеянном склерозе дисфункция рук начинается обычно с нарушений тонких дифференцированных движений, поэтому оценка чаще сосредоточена на мелкой моторике кисти. Ниже мы коротко рассмотрим тесты, которые наиболее часто используют в мировой практике для оценки функции рук у взрослых пациентов, подлежащих медицинской реабилитации по профилю «центральная нервная система».

Мозговой инсульт

В последние годы опубликовано несколько системных обзоров, посвящённых изучению инструментов реабилитационной оценки использования функционирования рук у пациентов, перенёсших мозговой инсульт [1, 8, 12, 17, 29]. Опубликован также анализ различных национальных

рекомендаций по практическому внедрению оценочных инструментов для верхней конечности [18, 30]. Рассматриваемые в этих обзорах тесты широко используются в последнее десятилетие в научных исследованиях и клинической практике для оценки функциональных возможностей руки пациента, перенёсшего мозговой инсульт.

Fugl-Meyer Assessment of Motor Recovery Upper Extremity, FMA-UE (Оценка двигательного восстановления верхней конечности Фугл-Мейера)

FMA-UE является частью общей шкалы FMA [24], которая, ориентируясь на гипотезу о стадийности восстановления движений при гемиплегии, измеряет уровень нарушения функций и выделяет пять иерархических стадий восстановления: (1) рефлексорная активность; (2) произвольные движения с синергией мышц-сгибателей и разгибателей; (3) произвольные движения, частично зависящие от синергий; (4) произвольные движения, выполняемые практически без синергий; (5) нормальная рефлексорная активность [24].

FMA-UE используют для оценки парализованной руки. Требуются лист бумаги, карандаш, ватный шарик (для исследования тактильной чувствительности), мячик, неврологический молоточек, небольшая банка цилиндрической формы, гониометр, секундомер.

FMA-UE выделяет 4 субшкалы: двигательные функции, сенсорные функции, пассивные движения в суставах, боль в суставах руки. Субшкала «Двигательные функции» оценивает движения в проксимальном отделе руки (рефлексорная активность, произвольные движения, зависящие и независимые от синергий), движения в кистевом суставе и в кисти, координацию и скорость движений. Максимальный балл равен 66. Более высокие баллы свидетельствуют о лучшей функции руки. Пороговые баллы 0–15, 16–34, 35–53 и 54–66 субшкалы «Двигательные функции» соответствуют грубым, выраженным, умеренным и лёгким нарушениям [31]. Субшкала «Сенсорные функции» оценивает тактильную чувствительность и мышечно-суставное чувство. Максимальный балл равен 12. Субшкала «Пассивные движения» оценивает амплитуду пассивных движений в крупных суставах руки и пальцах кисти. Максимальный балл равен 24. Субшкала «Боль в суставах» оценивает боль при выполнении пассивных движений в суставах. Максимальный балл равен 24. Суммарный балл FMA-UE варьирует от 0 до 126.

FMA-UE шкала оценивает преимущественно функцию руки, связанную с движением (компонент МКФ «b»). Лишь незначительная часть пунктов оценивает мобильность руки (домен «d»). Время исследования составляет около 20 минут. Психометрические свойства FMA-UE хорошо изучены у пациентов с церебральным инсультом, рассеянным склерозом, черепно-мозговой травмой [31–33]. Недостатком FMA-UE являются эффекты «пола» (низкая чувствительность к тонким улучшениям функций

у очень тяжёлых больных) и «потолка» (низкая чувствительность к улучшению у больных с достаточно сохранёнными функциями).

Box and Block Test, BBT (Тест «Коробка и кубики»)

Тест является быстрым ориентировочным способом оценки ловкости руки при различных формах патологии [21]. Для его выполнения требуется стандартизированный набор предметов, включающий открытую деревянную прямоугольную коробку с перегородкой посередине, 150 деревянных цветных кубиков размером 2,5×2,5×2,5 см, секундомер [32]. Пациента инструктируют, как перемещать кубики из одного отсека коробки в другой, захватывая их большим и указательным пальцами. Оценкой (число баллов) служит число перемещённых за 60 секунд кубиков. Тест выполняют сначала здоровой, затем поражённой рукой. Время тестирования составляет около 5 минут. Рассчитаны нормативные данные для разных возрастных групп здоровых лиц [21]. Так, для здорового человека в возрасте от 20 до 24 лет норма для правой руки составляет 88,0 балла, для левой — 83,4 балла, тогда как для лиц в возрасте от 70 до 74 лет — 68,6 и 68,3 балла соответственно [21]. Более высокие значения свидетельствуют о лучшей ловкости рук.

BBT продемонстрировал сильную связь выявленных двигательных нарушений с уровнем повседневного функционирования [34]. BBT возможно использовать лишь у пациентов с лёгким и умеренным двигательным дефектом верхней конечности, когда сохранён щипковый хват. Психометрические свойства BBT изучены у пациентов с церебральным инсультом, рассеянным склерозом, черепно-мозговой травмой, нервно-мышечными заболеваниями, позвоночно-спинномозговой травмой [32].

Action Research Arm Test, ARAT (Тест изучения деятельности руки)

Из 19 заданий, формирующих 4 субшкалы (кистевой шаровидный хват, кистевой цилиндрический хват, щипковый хват, менее дифференцированные движения всей рукой), ARAT включает те действия руки, которые используются в повседневной жизнедеятельности [25, 33]. Для выполнения теста требуется стандартизированный набор предметов, включающий 4 деревянных блока разных размеров, мячик, каменный брусок, трубки разного диаметра, стержни/штыри с резьбой, шайбы, 2 стакана, мелкие шарики, металлическую крышку. Все задания выполняются из положения сидя за столом. Пункты в субшкалах расположены в порядке уменьшения сложности — от более сложных к менее сложным заданиям. При выполнении заданий на шаровидный хват (6 пунктов) испытуемому предлагается поднять тестовые предметы с поверхности стола на высоту 37 см (поставить на полку), удерживая предплечье в пронации и исключая компенсаторные движения туловища. При выполнении заданий, связанных с цилиндрическим

захватом или сжатием (4 пункта), испытуемый берёт предмет и перемещает его с одной стороны стола на другую, переливает воду из одного стакана в другой, надевает шайбу на болт. Задания на щипковый хват (6 пунктов) требуют от испытуемого выполнения движений с использованием щипкового захвата (удержание пальцами). Задания на менее дифференцированные движения (3 пункта) заключаются в перемещении тестируемой руки в заданные положения (на теля, за голову, ко рту). Выполнение задания оценивается по 4-балльной шкале, от 0 (нет движения) до 3 (движение выполняется нормально). Методика оценки предполагает, что сначала испытуемого просят выполнить наиболее сложное задание в рамках первой субшкалы. Если испытуемый выполняет задание, ему присваиваются 3 балла по этому пункту и всем остальным пунктам субшкалы. Оценка от 0 до 2 по первому пункту означает, что необходимо оценить второе задание субшкалы (менее сложное). Лица, получившие 0 баллов по второму пункту задания, вряд ли добьются успеха в последующих пунктах субшкалы, поэтому им присваивается 0 баллов за оставшиеся задания в субшкале, т.е. остальные задания в рамках данной субшкалы не оцениваются. В противном случае необходимо выполнить все тестовые задания внутри субшкалы. Таким образом, испытуемому может быть предложено от 4 до 19 заданий в зависимости от их успеваемости. Каждая конечность оценивается отдельно. Максимальный балл, соответствующий норме, равен 57. Время тестирования — от 5 до 30 минут [35].

Психометрические свойства ARAT изучены у пациентов с церебральным инсультом, рассеянным склерозом, черепно-мозговой травмой, болезнью Паркинсона [6]. Ограничением являются субъективность при подсчёте баллов специалистом, проводящим тестирование; отсутствие стандартизации в отношении веса, размера и материалов предметов, используемых для тестирования, а также эффект «потолка».

Action Research Arm Test-2, ARAT-2 (Тест изучения деятельности руки-2)

ARAT-2 представляет собой короткий скрининг-тест, который целесообразно использовать в остром периоде инсульта с целью раннего прогноза степени восстановления двигательных функций [36]. Из обшей части теста ARAT были выбраны всего два задания: «перелить воду из одного стакана в другой» и «поместить руку на теля» (эти задания требуют сохранённой способности к отведению руки в плечевом суставе и разгибанию пальцев кисти). Время выполнения теста — несколько минут. Балл по каждому из заданий может варьировать от 0 до 3, а суммарный — от 0 до 6. Балл по шкале ARAT-2 >2 на третьи сутки после развития инсульта указывал на позитивный прогноз в отношении использования функции руки при самообслуживании [36]. Исследование подтвердило предиктивную валидность ARAT-2 и удобство применения теста в клинической практике [36].

Adult-Assisting Hand Assessment Stroke, Ad-AHA ***(Оценка помощи руки при инсульте у взрослых)***

Ad-AHA разработан для оценки спонтанной бимануальной активности взрослых пациентов, перенёсших инсульт, при выполнении ими различных функциональных действий [13, 37, 38]. Тест предусматривает выполнение пациентом одного из двух заданий: «приготовление бутерброда» (включает, например, нарезку хлеба, сыра и овощей, нанесение на бутерброд масла, открытие и закрытие контейнера или пластикового пакета) или «подарок» (включает распаковку посылки; распечатывание письма; открывание контейнера, чтобы достать подарок; упаковку подарка: разрезание упаковочной бумаги, склеивание коробки, наклейка липкой ленты, завязывание подарочной ленты, использование ручки с колпачком и пенала, складывание листа бумаги и помещение его в конверт). Задания выбирались таким образом, чтобы пациент был хорошо знаком с ними и ранее, выполнял их без подсказок. Материалы для тестирования не стандартизированы. Допускается помощь постороннего лица, если пациент не может справиться с заданием, либо оно отнимает у него слишком много времени и энергии. Оценка касается участия парализованной руки при выполнении задания и занимает около 10–15 минут. В процессе наблюдения по 4-балльной шкале — от 1 (не участвует) до 4 (эффективно участвует) — оцениваются 19 показателей участия парализованной руки (схват, манипуляции, движения в проксимальном отделе, движения предплечья, движения пальцев, координация, удержание и т.д.).

Продемонстрированы валидность и надёжность теста [13, 37, 38]. Ограничениями служат отсутствие стандартизированных условий проведения, субъективность оценок.

Upper Limb-Motor Assessment Scale, UL-MAS ***(Шкала оценки двигательной функции*** ***верхней конечности)***

UL-MAS является частью шкалы MAS, которая была разработана для пациентов, перенёсших инсульт. Тест основан на оценке движений и действий руки, которые необходимы в повседневной жизни [11, 27]; включает 3 субшкалы (функция проксимального отдела верхней конечности; движения в кисти; усложнённые действия кистью), каждая из которых содержит по 6 заданий. Пример заданий: «лёжа, удерживайте вытянутую руку в приподнятом положении в течение двух секунд»; «возьмите со стола пластиковый стаканчик и переместите его на противоположный край стола»; «возьмите расчёску и причешите волосы на затылке». Пациент выполняет каждое задание по 3 раза, при этом фиксируется лучший результат. Задания в субшкалах расположены в порядке увеличения сложности. Предполагается, что если пациент не способен выполнить первое задание субшкалы, то он не справится и с остальными. Каждая субшкала оценивается по 7-балльной шкале (от 0 до 6, где 6 баллов означает оптимальное двигательное поведение). Итоговый балл

может варьировать от 0 до 18. Для выполнения теста требуются секундомер, пластиковый стаканчик, резиновый мячик диаметром 14 см, две чайные чашки, 8 бусинок, ручка, колпачок от ручки, десертная ложка, расчёска, лист бумаги для рисования линий, банка цилиндрической формы. Время тестирования составляет около 15 минут.

Психометрические свойства шкалы хорошо изучены [11].

Wolf Motor Function Test, WMFT ***(Тест двигательной функции Вольфа)***

WMFT оценивает двигательные функции верхних конечностей пациентов, перенёсших инсульт, при выполнении ими заданий на скорость, координацию, силу движений и способность выполнять функционально значимые действия [28]. Существуют разные версии теста, при этом наиболее распространённая включает 17 заданий. Задания расположены в иерархическом порядке — от более лёгких с преимущественным участием проксимальных отделов руки к более сложным с преимущественным участием кисти. Тест разделён на три части: оценка скорости выполнения и функциональной способности руки (задания 1–6), мышечной силы (задания 7–14) и качества движений (задания 15–17). Задания должны выполняться пациентом с максимально возможной для него скоростью, время выполнения каждого задания ограничено 120 секундами. Вначале исследуется непоражённая конечность, затем парализованная. Примеры заданий: положить кисть и предплечье вытянутой вперёд руки (ладонью вниз) на коробку, установленную на плоскости стола перед пациентом; поднять стоящую на столе перед пациентом банку и поднести ко рту, используя цилиндрический схват; сложить четверо полотенце, расстеленное на столе перед пациентом. Для выполнения теста требуются картонная коробка, груз (например, мешочек с песком), банка цилиндрической формы, карандаш, канцелярские скрепки, игральные шашки, игральные карты, замок с ключом, полотенце, пластиковая корзина с ручкой, динамометр. Оценка производится по 6-балльной шкале, от 0 (нет попыток выполнения задания) до 5 (делает попытку, движения приближены к нормальным). Чем выше балл, тем выше функциональные особенности пациента. Время тестирования составляет в среднем 30–35 минут.

Тест рекомендован для обследования пациентов с лёгкими и умеренными двигательными нарушениями. Подтверждены высокая валидность и надёжность теста применительно к обследованию пациентов с постинсультным парезом верхней конечности [30].

Chedoke Arm and Hand Activity Inventory, CAHAI ***(Оценка активности руки и кисти Чедока)***

CAHAI — валидизированный инструмент оценки восстановления функций руки, необходимых для повседневной жизнедеятельности пациентов, перенёсших инсульт [39]. Первый вариант CAHAI включал 13 функциональных заданий, включавших широкий спектр движений

и участие обеих рук (открыть банку с кофе; набрать телефонный номер 911; нарисовать линию с помощью линейки; налить воду в стакан; отжать воду из мочалки; застегнуть 5 пуговиц; вытереться с помощью полотенца; нанести зубную пасту на зубную щётку; разрезать кусок мягкого пластилина; протереть очки; застегнуть молнию; поставить контейнер на стол; подняться по лестнице, неся сумку). В последующем разработаны более короткие версии теста, включающие 7, 8 или 9 заданий [39]. Выполнение каждого задания оценивается с позиций необходимости помощи постороннего лица и участия парализованной руки по 7-балльной шкале, от 1 (необходима полная помощь, парализованная рука выполняет менее 25% задания) до 7 (полная независимость в выполнении задания). Минимальный балл при использовании CAHA-13 составляет 13 баллов, максимальный — 91 балл; более высокие баллы отражают больший уровень функциональной независимости. В зависимости от версии оценка требует 15–30 минут.

Высокая валидность и надёжность теста продемонстрированы у пациентов в восстановительном периоде инсульта [39].

Обзор научных публикаций за период с 2004 по 2014 год, опубликованный группой европейских исследователей и посвящённый оценке использования руки при инсульте, продемонстрировал, что наиболее высокий уровень измерительных качеств и клинической утилитарности оказался у тестов FMA-UE, ARAT, BBT, CAHA и WMFT [40]. Авторы полагают, что все названные тесты могут быть использованы как в научной, так и клинической практике во всех периодах после инсульта благодаря своим психометрическим характеристикам, понятным процедурам тестирования, подсчёта и интерпретации баллов, доступной стоимости и портативности. Однако выбор инструмента в каждом конкретном случае должен определяться в зависимости от целей исследования либо клинического вмешательства и уровня нарушения функций руки. Так, BBT может служить скрининг-тестом для оценки грубых мануальных навыков, давая информацию о скорости, но не о качестве движений и об используемых компенсаторных стратегиях. ARAT, CAHA и WMFT требуют больше затрат времени на выполнение и основаны на экспертном мнении специалиста, который проводит обследование и даёт оценку выполнению заданий. По сути, все эти три теста оценивают способность поднимать и переставлять предметы разной формы и размеров, но ARAT предполагает только одностороннюю оценку парализованной руки, в WMFT есть два задания, которые выполняются обеими руками, а CAHA включает только бимануальные действия. В тесте WMFT учитывается и время, и качество выполнения заданий, тогда как в ARAT временной показатель интегрирован в различные балльные уровни. В WMFT и ARAT максимальный балл не может быть достигнут, если для выполнения задания пациент использует компенсаторные движения, тогда как в CAHA независимость и потребность

в помощи учитываются при выполнении задания. Системный обзор был выполнен в рамках разработки единого европейского гайдлайна оценочных инструментов в нейрореабилитации [18]. Несколько позднее выполненный системный анализ национальных рекомендаций показал, что наиболее часто рекомендуемым тестом для оценки функционирования верхней конечности был FMA-UE [18].

Французские исследователи изучали тесты и опросники, используемые в научных и клинических реабилитационных исследованиях инсульта в период с 2004 по 2015 год. Анализ показал, что среди тестов, оценивавших использование руки, наиболее часто (36% исследований) применялся тест FMA-UE, в 10% исследований применялись тесты WMFT, ARAT, BBT и, наконец, лишь в единичных исследованиях — Тест функции руки Джебсена–Тейлора (Jebsen–Taylor Hand Function Test, JTHFT) и 9HPT [8]. Во многих случаях (72%) исследователи комбинировали несколько инструментов. Так, FMA-UE часто сочетали с WMFT и ARAT. Авторы обзора проанализировали достоинства и недостатки тестов. Достоинством FMA-UE являются доказанные валидность, надёжность и чувствительность, к преимуществам ARAT относятся простота использования, хорошие психометрические свойства. Недостатком обоих этих тестов является наличие эффектов «пола» и «потолка». 9HPT возможно использовать только при негрубой выраженности пареза; кроме того, чувствительность 9HPT у пациентов с последствиями инсульта низкая. Авторы отметили существенные географические различия в использовании тестов, что свидетельствовало об отсутствии международного консенсуса [8].

Экспертная группа из США изучила публикации, касающиеся использования инструментов функциональной оценки верхней и нижней конечностей у пациентов спустя 6 и более месяцев после развития инсульта, при этом анализировались лишь те инструменты, которые были перечислены в рекомендациях StrokeEDGE [12]. В отношении исследования верхней конечности у больных в позднем восстановительном периоде инсульта оптимальными тестами признаны FMA-UE, WMFT, ARAT. Помимо подтверждённой валидности, у всех этих тестов имелись данные относительно минимальной клинически значимой разницы (minimal clinically important difference); тесты для оценки использования функции руки следует дополнять опросником «Шкала влияния инсульта» (Stroke Impact Scale, SIS) для оценки роли руки в повседневной активности [12].

В 2020 году был опубликован базовый набор показателей результатов клинической двигательной реабилитации пациентов, перенёсших инсульт, основанный на консенсусном мнении европейских экспертов [41]. Рекомендованный для оценки верхней конечности минимальный набор тестов включает FMA-UE и ARAT, тесты должны дополняться опросником SIS. Временные точки обследований определены с учётом логарифмического паттерна восстановления двигательных функций и вероятности клинически значимых изменений: рекомендуется проводить обследования

между 1-м и 3-м днями, на 7-й день, на 2, 4 и 12-й неделях, в 6 месяцев, а затем каждые полгода [41].

Актуальной проблемой является расхождение между теорией и реальным применением оценок верхней конечности при реабилитации пациентов, перенёсших инсульт, поскольку клиницисты предпочитают применять достаточно короткие и удобные тесты [30]. Группа шведских исследователей на основании изучения процесса практической реализации и соблюдения существующих руководств разработала алгоритм оценки верхней конечности при инсульте, предназначенный для эргоспециалистов и специалистов по физической терапии. Согласно предложенному алгоритму, в течение первых 72 часов для оценки прогноза и планирования вмешательств эргоспециалист должен выполнить тест ARAT2, а специалист-кинезиолог — исследовать амплитуду движений суставов рук, выполнив короткий приковатный тест «Отведение плеча, разгибание пальцев» (Shoulder Abduction, Finger Extension; SAFE) [42]. В течение первой недели инсульта для обнаружения специфических сенсомоторных функциональных проблем и уточнения задач реабилитации специалист-кинезиолог выполняет FMA-UE, а эргоспециалист оценивает силу схвата кисти и выполняет тесты BBT и 9HPT. Через 4 недели после развития инсульта, а затем через 3, 6 и 12 месяцев для оценки эффективности реабилитации и коррекции вмешательств специалист-кинезиолог повторяет FMA-UE, а эргоспециалист в те же сроки повторно оценивает схват кисти, выполняет тесты BBT, 9HPT и короткую версию ARAT, состоящую всего из двух заданий (ARAT-2). Такое комплексное обследование предоставляет всестороннюю информацию о нарушении моторики и ограничении способности использовать функцию кисти (FMA-UE, ARAT), позволяет оценить как грубую (менее дифференцированную), так и мелкую моторику кисти (BBT, 9HPT).

В то же время польские исследователи в своём недавнем обзоре сообщают о целесообразности использования при инсульте всего доступного спектра инструментов оценки функционирования верхней конечности, поскольку, по их мнению, выбор менее распространённых тестов может способствовать индивидуализированному подходу к решению проблем пациента [1].

Все перечисленные выше тесты измеряют те или иные характеристики, которые необходимы для использования функций руки в повседневной жизни, но не исследуют реальное функционирование руки в быту. Именно поэтому предпринимаются попытки разработать инструменты, которые оценивают использование рук у лиц, перенёсших инсульт, в условиях реальной жизни. Примером может служить тест UE-MAC, часть заданий которого отражает функции, а часть — активность [11, 27]. Ещё одним таким инструментом является Ad-АНА [13, 37], который помогает при установлении реабилитационного диагноза в категориях МКФ выявить различия между тем, что пациент может делать (потенциальная способность, или капаситет), и тем, что реально делает (реализация) [37].

Рассеянный склероз

Expanded Disability Status Scale, EDSS (Расширенная шкала инвалидизации)

Основной инструмент, который во всём мире используется как в научных исследованиях, так и клинической практике для оценки функционального состояния пациентов с рассеянным склерозом [43]. Однако EDSS представляет собой нелинейную шкалу, которая не измеряет использование рук как отдельный показатель исходов. Кроме того, на поздних стадиях заболевания итоговый балл EDSS вообще определяется только способностью пациента к передвижению [44]. В то же время именно на поздних стадиях болезни, когда пациент нередко оказывается прикованным к инвалидному креслу, функционирование верхних конечностей приобретает особое значение [45]. Использование инструментов, ориентированных на оценку использования функции рук, позволяет привлечь внимание к важности этого аспекта, а при использовании в клинических испытаниях — предоставлять больше информации об эффекте исследуемых болезней-модифицирующих препаратов или методов реабилитации [45].

При рассеянном склерозе наиболее частой причиной дисфункции руки становятся мозжечковые и сенсорные расстройства, тогда как парализация рук происходит лишь на поздних стадиях, поэтому акцент делается на исследовании ловкости рук и мелкой моторики кисти. В отдельных публикациях, касающихся исследований функции руки при рассеянном склерозе, упоминаются такие инструменты оценки мануальной ловкости, как BBT, PPT, а также CRT, специально разработанный для пациентов с рассеянным склерозом [23], однако ввиду отсутствия убедительной доказательной базы широкого применения названные тесты при рассеянном склерозе не нашли.

Nine Hole Peg Test, 9HPT (Тест с колышками и девятью отверстиями)

Простой и приемлемый для пациентов тест является золотым стандартом оценки тонкой моторики рук при рассеянном склерозе [20]. Для выполнения теста имеются стандартизированные наборы, содержащие секундомер, доску с отверстиями, контейнер с колышками диаметром 7 мм и длиной 32 мм [20]. Пациента просят как можно быстрее одной рукой установить колышки в отверстия по одному и в любом порядке, а затем также по одному вынуть обратно. Время отсчитывается с момента, когда тестируемый касается первого колышка, до того, когда последний колышек будет положен обратно в контейнер. Тестируют обе руки, начинают тестирование с непоражённой конечности. Тестирование проводится дважды для доминантной и дважды для недоминантной руки. Время выполнения теста ограничено (не более 5 минут). Начисление баллов может производиться двумя способами: время в секундах, необходимое пациенту

для выполнения теста, либо число колышков, установленных за 50 или 100 секунд (результат выражается как «число колышков в секунду»). Рассчитаны нормативные значения для разных возрастных групп [20]. В среднем здоровому человеку на выполнение 9HPT требуется около 40 секунд; с возрастом нормативные значения увеличиваются; женщины обычно выполняют тест несколько быстрее, чем мужчины [20]. Однозначного мнения, какое время выполнения 9HPT считать пороговым для отличия нормального функционирования кисти при рассеянном склерозе от аномального, нет [46]. Большинство исследователей сходятся во мнении, что показателем клинически значимого ухудшения служит увеличение времени выполнения теста на 20% и более [46].

Психометрические свойства 9HPT при рассеянном склерозе изучены очень тщательно [19, 45]. Доказаны надёжность, дискриминантная и конвергентная валидность, чувствительность теста к прогрессированию заболевания и к эффектам терапии [45]. 9HPT включён в состав комплексного инструмента оценки результатов клинических исследований, получившего название «Комплекс функциональных тестов при рассеянном склерозе» (Multiple Sclerosis Functional Composit, MSFC) [47]. В настоящее время при проведении клинических исследований лекарственных препаратов MSFC наряду с EDSS является основным инструментом количественной оценки функционального состояния пациента, страдающего рассеянным склерозом. Преимуществом теста являются его простота, мобильность, небольшая стоимость, скорость выполнения. Ограничением 9HPT является эффект «пола и потолка» у тяжёлых пациентов (EDSS 6,0 баллов и выше), что следует учитывать при включении этого теста в обойму оценочных инструментов при проведении клинических исследований [48].

Позвоночно-спинномозговая травма

Восстановление функциональных возможностей рук рассматривается как один из топ-приоритетов у лиц с тетраплегией [49]. Особенности двигательных и, соответственно, функциональных нарушений в верхних конечностях у пациентов, перенёвших позвоночно-спинномозговую травму на шейном уровне, диктуют акцент на изучении способности к захвату и удержанию предметов, что критически важно при самообслуживании, приёме пищи, пользовании карандашом или ручкой [6, 35, 49, 50]. Возможности таких распространённых тестов, как, например, ARAT, при позвоночно-спинномозговой травме ограничены, поскольку в них не учитываются двигательные паттерны, характерные для пациентов с тетраплегией [35]. Недавно проведённое исследование шведских и норвежских коллег подтвердило, что результаты ARAT и BBT у больных, перенёвших позвоночно-спинномозговую травму на шейном и грудном уровне, лишь умеренно коррелировали со степенью независимости в самообслуживании [51]. Именно поэтому более обоснованно

для пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой применение специально разработанных тестов [35].

Для оценки функциональности захватов кисти ещё в 1994 году был разработан «Тест захвата и высвобождения» (Grasp and Release Test), который предполагал захват и высвобождение кистью руки 6 предметов (яйцо, колышек, банка, кубик, видеокассета, вилка, пресс-папье) [52]. Однако ввиду отсутствия стандартизации предметов в дальнейшем этот тест не нашёл широкого применения, как и «Функциональный тест верхней конечности» (Upper Extremity Function Test, UEFT) [53], использовавший предметы, которые невозможно было в точности воссоздать другими исследователями.

Graded and Redefined Assessment of Strength, Sensibility and Prehension, GRASSP (Градуированная и пересмотренная оценка силы, чувствительности и схватывания)

Предложенный в 2009 году канадскими исследователями для оценки сенсомоторных функций кисти у пациентов с острой и хронической позвоночно-спинномозговой травмой на уровне C1–T1 сегментов спинного мозга тест и в настоящее время используется в научных исследованиях у пациентов в остром и резидуальном периодах позвоночно-спинномозговой травмы для целенаправленного изучения функциональных способностей рук в соответствии с компонентами МКФ [54]. GRASSP предназначен для оценки как структур и функций кисти, так и реализуемых рукой активностей. Правая и левая рука исследуются по отдельности. GRASSP включает 3 субшкалы (сила, чувствительность, схват) и 5 субтестов. Субтесты GRASSP: чувствительность на тыле кисти (3 локации, каждая оценивается в баллах от 0 до 4, суммарная оценка — от 0 до 12); чувствительность на ладони (3 локации, каждая оценивается в баллах от 0 до 4, суммарная оценка — от 0 до 12); мышечная сила (10 ключевых мышц, каждая оценивается в баллах от 0 до 5, суммарная оценка — от 0 до 50); способность к захвату (3 схвата — цилиндрический, латеральный межпальцевой и щипковый, каждый оценивается в баллах от 0 до 4, суммарная оценка — от 0 до 12); выполнение 6 функциональных заданий (налить воду из бутылки; открыть банку; взять ключ и повернуть его в скважине на 90°; переместить 9 колышков из одних отверстий в доске в другие; собрать 4 монеты в столбик; накрутить 4 гайки на болты); каждое задание оценивается в баллах от 0 до 5, суммарная оценка составляет от 0 до 30.

Тест продемонстрировал высокую чувствительность (позволяет выявить даже незначительную положительную динамику) [54]. Однако та часть теста, которая оценивает функциональность кисти (схват), не учитывает функцию проксимальных отделов руки и качество выполняемых движений. Кроме того, исследование обеих рук требует около 100 минут, что может быть обременительно для пациента. Все эти барьеры снижают доступность теста в клинической практике [6].

Следующим этапом стала разработка австралийскими исследователями теста AuSpinal [50], включившего 7 различных заданий, заимствованных из тестов Sollerman Hand Function Test (SHFT) [55], UEFT [53] и Rehabilitation Engineering Laboratory Hand Function Test (RELHFT) [56]; однако AuSpinal не учитывал используемых пациентом видов кистевого захвата, также не были в достаточной степени изучены его психометрические характеристики.

**Toronto Rehabilitation Institute —
Hand Function Test, TRI-HFT
(Тест исследования функции руки
Института реабилитации Торонто)**

TRI-HFT, предложенный в 2012 году [6], является достаточно простым, но чувствительным инструментом оценки малодифференцированных функций руки у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой на уровнях C4–C7 сегментов спинного мозга. Тест сфокусирован на исследовании моторики, необходимой для повседневной жизнедеятельности (щипковый и латеральный пальцевой зажимы, ладонный хват) [6]. Состоит из двух частей: 11 заданий первой части оценивают способность манипулировать стандартизованными предметами, которые обычно используются в повседневной жизни (кружка, книга, банка с напитком, губка, беспроводной домашний телефон, лист бумаги, ZIP-пакет с 5 мячами для гольфа, игральные кости, кредитная карта, карандаш, 9 прямоугольных кубиков массой 100, 200 и 300 г с разным покрытием). Используемые в тесте предметы повсеместно доступны либо легко могут быть изготовлены. Выполнение заданий оценивается в баллах от 1 до 7 в зависимости от способности пациента выполнять действия в пронированном, нейтральном и супинированном положении предплечья с удерживанием различных предметов по 20–30 секунд в каждом положении. Вторая часть теста включает 3 задания, при выполнении которых с помощью динамометра, прикреплённого к предметам (цилиндр, кубик, карта), оценивается сила трёх видов схвата (в Ньютонах). Оценки второй части теста не валидизированы. Две части теста могут применяться независимо друг от друга. Время выполнения теста пациентом не ограничено, но обычно оценка обеих рук занимает менее получаса. Тест не требует получения лицензии от авторов-разработчиков и может быть использован для оценки реабилитационных вмешательств (в том числе функциональной электростимуляции), хирургических реконструктивных операций по перемещению сухожилий мышц, а также для оценки роботизированных ортезов, помогающих выполнять повседневные действия. Результаты тестирования понятны пациенту, поскольку он выполняет с предметами те же самые действия, которые использует и в своей повседневной жизни.

Апробация TRI-HFT у пациентов с поражением спинного мозга на уровнях C4–C7 сегментов подтвердила высокую чувствительность теста, его надёжность и валидность [6, 35].

**Capabilities of Upper Extremity Function Test, CUE-T
(Тест функциональных возможностей
верхней конечности)**

Ещё один нозологически специфичный для позвоночно-спинномозговой травмы тест, который оценивает ограничения функциональных возможностей рук у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой [57]. Разработан в США на основе опросника «Возможности верхней конечности» (Capabilities of Upper Extremity, CUE) для объективизации способности пациентов выполнять повседневные действия и задачи, требующие участия руки и кисти. CUE-T содержит 17 заданий, выполняемых одной рукой, и 2 задания для обеих рук. Задания предполагают участие как проксимальных, так и дистальных отделов конечностей, использование различных видов схвата, необходимость достать, поднять, толкать или тянуть груз определённой массы. В зависимости от характера задания оценка основана на том, выполнено ли действие (с учётом использования/неиспользования вспомогательных приспособлений), либо на числе повторений движения, либо на количестве затраченного на выполнение задания времени. Сырые баллы (например, число повторений движения за 30 секунд, либо сила сжатия динамометра или масса сдвинутого груза, выраженные в килограммах) конвертируются в оценки по 5-балльной шкале (от 0 до 4, где 4 — наилучшая оценка). Общий балл получают путём суммирования конвертированных баллов. Психометрические свойства теста изучены лишь на небольших выборках [57]. CUE-T рекомендуют использовать совместно с опросником CUE.

Тесты следует дополнять PROMs, такими как, например, CUE, FIM (Functional Independence Measure, или Оценка функциональной независимости), SCIM (Spinal Cord Independence Measure, или Оценка независимости при позвоночно-спинномозговой травме) [35, 49].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время отсутствует международный консенсус в отношении выбора инструментов оценки использования функции рук у пациентов с мозговым инсультом, рассеянным склерозом и позвоночно-спинномозговой травмой. Выбор конкретного теста определяется целью и задачами исследования (клиническая практика либо научная разработка), особенностями двигательных нарушений пациентов, а с учётом временных затрат на обследование — кадровым ресурсом реабилитационных отделений. Существует также потребность в создании и валидации новых инструментов, сфокусированных на измерении использования функции кисти пациентов с патологией центральной нервной системы. Нозологически специфичные и валидизированные тесты следует дополнять опросом пациентов, а также биомеханическими исследованиями кинематических и кинетических показателей движений рук. Комплексная оценка способствует разработке новых

эффективных реабилитационных технологий, реализации пациент-центрированного подхода и более точной оценке исходов реабилитации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Поисково-аналитическая работа проведена на личные средства авторского коллектива.

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

Вклад авторов. А.Н. Белова — разработка концепции работы, поисково-аналитическая работа, написание текста статьи; Г.Е. Шейко — разработка концепции работы, редактирование текста статьи; Е.М. Рахманова, Р.Д. Ананьев — поисково-аналитическая работа, написание текста статьи; Ю.А. Израелян — редактирование текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все

авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. A.N. Belova — conceptualisation of the paper, search and analytical work, writing the text of the article; G.E. Sheiko — conceptualisation of the paper, editing the text of the article; E.M. Rakhmanova, R.D. Ananyev — search and analytical work, writing the text of the article; Y.A. Israelyan — editing the text of the article. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Marek K., Redlicka J., Miller E., Zubrycki I. Objectivizing measures of post-stroke hand rehabilitation through multi-disciplinary scales // *J Clin Med*. 2023. Vol. 12, N 23. P. 7497. doi: 10.3390/jcm12237497
2. Xu Q., Li C., Pan Y., et al. Impact of smart force feedback rehabilitation robot training on upper limb motor function in the subacute stage of stroke // *NeuroRehab*. 2020. Vol. 47, N 2. P. 209–215. doi: 10.3233/NRE-203130
3. Huang W.H., Dou Z.L., Jin H.M., et al. The effectiveness of music therapy on hand function in patients with stroke: A systematic review of randomized controlled trials // *Front Neurol*. 2021. Vol. 12. P. 641023. doi: 10.3389/fneur.2021.641023
4. Luijten M.A., Eekhout I., D'Hooghe M., et al. Development of the Arm Function in Multiple Sclerosis Questionnaire-Short Form (AMSQ-SF): A static 10-item version // *Mult Scler*. 2018. Vol. 24, N 14. P. 1892–1901. doi: 10.1177/1352458518808197
5. Kalkers N.F., Galan I., Kerbrat A., et al. Differential item functioning of the Arm function in Multiple Sclerosis Questionnaire (AMSQ) by language, a study in six countries // *Mult Scler*. 2021. Vol. 27, N 1. P. 90–96. doi: 10.1177/1352458519895450
6. Kapadia N., Zivanovic V., Verrier M., Popovic M.R. Toronto rehabilitation institute-hand function test: Assessment of gross motor function in individuals with spinal cord injury // *Top Spinal Cord Inj Rehab*. 2012. Vol. 18, N 2. P. 167–186. doi: 10.1310/sci1802-167
7. Cantero-Tellez R., Naughton N., Algar L., Valdes K. Outcome measurement of hand function following mirror therapy for stroke rehabilitation: A systematic review // *J Hand Ther*. 2019. Vol. 32, N 2. P. 277–291.e1. doi: 10.1016/j.jht.2018.01.009
8. Santisteban L., Teremetz M., Bleton J.P., et al. Upper limb outcome measures used in stroke rehabilitation studies: A systematic literature review // *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11, N 5. P. e0154792. doi: 10.1371/journal.pone.0154792
9. Churrua K., Pomare C., Ellis L.A., et al. Patient-reported outcome measures (PROMs): A review of generic and condition-specific measures and a discussion of trends and issues // *Health Expect*. 2021. Vol. 24, N 4. P. 1015–1024. doi: 10.1111/hex.13254
10. International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF). Режим доступа: <https://www.who.int/standards/>
11. Sabari J.S., Woodbury M., Velozo C.A. Rasch analysis of a new hierarchical scoring system for evaluating hand function on the motor assessment scale for stroke // *Stroke Res Treat*. 2014. Vol. 2014. P. 730298. doi: 10.1155/2014/730298
12. Bushnell C., Bettger J.P., Cockcroft K.M., et al. Chronic stroke outcome measures for motor function intervention trials: Expert panel recommendations // *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*. 2015. Vol. 8, N 6, Suppl. S3. P. S163–S169. doi: 10.1161/CIRCOUTCOMES.115.002098
13. Van Gils A., Meyer S., Van Dijk M., et al. The adult assisting hand assessment stroke: Psychometric properties of an observation-based bimanual upper limb performance measurement // *Arch Phys Med Rehab*. 2018. Vol. 99, N 12. P. 2513–2522. doi: 10.1016/j.apmr.2018.04.025
14. Ven-Stevens L., Graff M., Selles R., et al. Instruments for assessment of impairments and activity limitations in patients with hand conditions: A European Delphi study // *J Rehab Med*. 2015. Vol. 47, N 10. P. 948–956. doi: 10.2340/16501977-2015
15. Wang S., Hsu C.J., Trent L., et al. Evaluation of performance-based outcome measures for the upper limb: A comprehensive narrative review // *PM R*. 2018. Vol. 10, N 9. P. 951–962.e3. doi: 10.1016/j.pmrj.2018.02.008
16. Kimmerle M., Mainwaring L., Borenstein M. The functional repertoire of the hand and its application to assessment // *Am J Occup Therapy*. 2003. Vol. 57, N 5. P. 489–498. doi: 10.5014/ajot.57.5.489
17. Hughes A.M., Boucas S.B., Burrridge J.H., et al. Evaluation of upper extremity neurorehabilitation using technology: A European Delphi consensus study within the EU COST Action Network on Robotics for Neurorehabilitation // *J Neuroeng Rehab*. 2016. Vol. 13, N 1. P. 86. doi: 10.1186/s12984-016-0192-z
18. Burrridge J., Alt Murphy M., Buurke J., et al. A systematic review of international clinical guidelines for rehabilitation of people with neurological conditions: What recommendations are made for upper limb assessment? // *Front Neurol*. 2019. Vol. 10. P. 567. doi: 10.3389/fneur.2019.00567

19. Moreno-Morente G., Hurtado-Pomares M., Terol Cantero M.C. Bibliometric analysis of research on the use of the Nine Hole Peg Test // *Int J Environ Res Public Health*. 2022. Vol. 19, N 16. P. 10080. doi: 10.3390/ijerph191610080
20. Mathiowetz V., Weber K., Kashman N., et al. Adult norms for the Nine Hole Peg Test of finger dexterity // *OTJR: Occup Particip Health*. 1985. Vol. 5. P. 24–38. doi: 10.1177/153944928500500102
21. Mathiowetz V., Volland G., Kashman N., Weber K. Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity // *Am J Occup Therapy*. 1985. Vol. 39, N 6. P. 389–390. doi: 10.5014/ajot.39.6.386
22. Lawson I. Purdue pegboard test // *Occup Med*. 2019. Vol. 69. P. 376–377. doi: 10.1093/occmed/kqz044933
23. Heldner M.R., Vanbellingen T., Bohlhalter S., et al. A valid test for manual dexterity in multiple sclerosis // *Phys Ther*. 2014. Vol. 94, N 11. P. 1644–1651. doi: 10.2522/ptj.20130252
24. Fugl-Meyer A.R., Jaasko L., Leyman I., et al. The post-stroke hemiplegic patient: A method for evaluation of physical performance // *Scand J Rehab Med*. 1975. Vol. 7, N 1. P. 15–17.
25. Lyle R.C. A performance test for assessment of upper limb function in physical rehabilitation treatment and research // *Int J Rehab Res*. 1981. Vol. 4, N 4. P. 483–492. doi: 10.1097/00004356-198112000-00001
26. Barreca S.R., Gowland C.K., Stratford P.W., et al. Development of the chedoke arm and hand activity inventory: Theoretical constructs, item generation, and selection // *Topics Stroke Rehab*. 2004. Vol. 11, N 4. P. 31–42. doi: 10.1310/JU8P-UVK6-68VW-CF3W
27. Carr J.H., Shepherd R.B., Nordholm L., Lynne D. Investigation of a new motor assessment scale for stroke patients // *Physical Therapy*. 1985. Vol. 65, N 2. P. 175–180. doi: 10.1093/ptj/65.2.175
28. Wolf S.L., Catlin P.A., Ellis M., et al. Assessing wolf motor function test as outcome measure for research in patients after stroke // *Stroke*. 2001. Vol. 32, N 7. P. 1635–1639. doi: 10.1161/01.str.32.7.1635
29. Kim H., Shin J.H. Assessment of upper extremity function in people with stroke based on the framework of the ICF: A narrative review // *Brain Neurorehab*. 2022. Vol. 15, N 2. P. e16. doi: 10.12786/bn.2022.15.e16
30. Alt Murphy M., Bjorkdahl A., Forsberg-Warleby G., Persson C.U. Implementation of evidence-based assessment of upper extremity in stroke rehabilitation: From evidence to clinical practice // *J Rehab Med*. 2021. Vol. 53, N 1. P. jrm00148. doi: 10.2340/16501977-2790
31. Woytowicz E.J., Rietschel J.C., Goodman R.N., et al. Determining levels of upper extremity movement impairment by applying a cluster analysis to the Fugl-Meyer assessment of the upper extremity in chronic stroke // *Arch Phys Med Rehab*. 2017. Vol. 98, N 3. P. 456–462. doi: 10.1016/j.apmr.2016.06.023
32. Platz T., Pinkowski C., Frederike van W., et al. Reliability and validity of arm function assessment with standardized guidelines for the Fugl-Meyer Test, Action Research Arm Test and Box and Block Test: A multicenter study // *Clin Rehab*. 2005. Vol. 19, N 4. P. 404–411. doi: 10.1191/0269215505cr832oa
33. Chen P., Liu T.W., Tse M.M., et al. The predictive role of hand section of Fugl-Meyer assessment and motor activity log in action research arm test in people with stroke // *Front Neurol*. 2022. Vol. 13. P. 926130. doi: 10.3389/fneur.2022.926130
34. Oliveira C.S., Almeida C.S., Freias L.C., et al. Use of the Box and Block Test for the evaluation of manual dexterity in individuals with central nervous system disorders: A systematic review // *Man Ther Posturology Rehab J*. 2016. Vol. 14. P. 1–17. doi: 10.17784/mtprehabjournal.2016.14.436
35. Kapadia N., Jovanovic L., Musselman K., et al. Preliminary evaluation of the reliability and validity of the 3D printed Toronto rehabilitation institute-hand function test in individuals with spinal cord injury // *J Spinal Cord Med*. 2021. Vol. 44, Suppl. 1. P. S225–S233. doi: 10.1080/10790268.2021.1961055
36. Persson H.C., Alt Murphy M., Danielsson A., et al. A cohort study investigating a simple, early assessment to predict upper extremity function after stroke—a part of the SALGOT study // *BMC Neurol*. 2015. Vol. 15. P. 92. doi: 10.1186/s12883-015-0349-6
37. Krumlinde-Sundholm L., Lindkvist B., Plantin J., Hoare B. Development of the assisting hand assessment for adults following stroke: A Rasch-built bimanual performance measure // *Disability Rehab*. 2019. Vol. 41, N 4. P. 472–480. doi: 10.1080/09638288.2017.1396365
38. Plantin J., Verneau M., Godbolt A.K., et al. Recovery and prediction of bimanual hand use after stroke // *Neurology*. 2021. Vol. 97, N 7. P. e706–e719. doi: 10.1212/WNL.00000000000012366
39. Barreca S.R., Stratford P.W., Masters L.M., et al. Validation of three shortened versions of the Chedoke Arm and Hand Activity Inventory // *Physiotherapy Canada*. 2006. Vol. 58, N 2, P. 148–156. doi: 10.3138/ptc.58.2.148
40. Alt Murphy M., Resteghini C., Feys P., Lamers I. An overview of systematic reviews on upper extremity outcome measures after stroke // *BMC Neurol*. 2015. Vol. 15. P. 29. doi: 10.1186/s12883-015-0292-6
41. Pohl J., Held J.P., Verheyden G., et al. Corrigendum: Consensus-based core set of outcome measures for clinical motor rehabilitation after stroke—a delphi study // *Front Neurol*. 2021. Vol. 12. P. 697935. doi: 10.3389/fneur.2021.697935
42. Nijland R.H., van Wegen E.E., Harmeling-van der Wel B.C., et al. Presence of finger extension and shoulder abduction within 72 hours after stroke predicts functional recovery. Early prediction of functional outcome after stroke: The EPOS cohort study // *Stroke*. 2010. Vol. 41, N 4. P. 745–750. doi: 10.1161/STROKEAHA.109.572065
43. Inojosa H., Schriefer D., Ziemssen T. Clinical outcome measures in multiple sclerosis: A review // *Autoimmun Rev*. 2020. Vol. 19, N 5. P. 102512.
44. Kurtzke J.F. Rating neurological impairment in multiple sclerosis: An expanded disability status scale (EDSS) // *Neurology*. 1983. Vol. 33, N 11. P. 1444–1452. doi: 10.1212/wnl.33.11.1444
45. Molenaar P.C., Strijbis E.M., van Munster C.E., et al. Cross-sectional and longitudinal correlations between the Arm Function in Multiple Sclerosis Questionnaire (AMSQ) and other outcome measures in multiple sclerosis // *Mult Scler Relat Disord*. 2022. Vol. 61. P. 103725. doi: 10.1016/j.msard.2022.103725
46. Feys P., Lamers I., Francis G., et al. Multiple sclerosis outcome assessments consortium. The Nine-Hole Peg Test as a manual dexterity performance measure for multiple sclerosis // *Mult Scler*. 2017. Vol. 23, N 5. P. 711–720. doi: 10.1177/1352458517690824
47. Cutter G., Baier M., Rudick R., Cookfair D. Development of a multiple sclerosis functional composite as a clinical trial outcome measure // *Brain*. 1999. Vol. 122, Pt. 5. P. 871–882. doi: 10.1093/brain/122.5.871
48. Solaro C., Cattaneo D., Bricchetto G., et al. Clinical correlates of 9-hole peg test in a large population of people with multiple sclerosis // *Mult Scler Relat Disord*. 2019. Vol. 30. P. 1–8. doi: 10.1016/j.msard.2019.01.043
49. Jones L.A., Bryden A., Wheeler T.L., et al. Considerations and recommendations for selection and utilization of upper extremity clinical

outcome assessments in human spinal cord injury trials // *Spinal Cord*. 2018. Vol. 56, N 5. P. 414–425. doi: 10.1038/s41393-017-0015-5

50. Coates S.K., Harvey L.A., Dunlop S.A., Allison G.T. The AuSpinal: A test of hand function for people with tetraplegia // *Spinal Cord*. 2011. Vol. 49, N 2. P. 219–229. doi: 10.1038/sc.2010.86

51. Lili L., Sunnerhagen K.S., Rekand T., et al. Independence and upper extremity functioning after spinal cord injury: A cross-sectional study // *Sci Rep*. 2023. Vol. 13, N 1. P. 3148. doi: 10.1038/s41598-023-29986-y

52. Wuolle K.S., Van Doren C.L., Thrope G.B., et al. Development of a quantitative hand grasp and release test for patients with tetraplegia using a hand neuroprosthesis // *J Hand Surg*. 1994. Vol. 19, N 2. P. 209–218. doi: 10.1016/0363-5023(94)90008-6

53. Carroll D. A quantitative test of upper extremity function // *J Chronic Dis*. 1965. Vol. 18. P. 479–482. doi: 10.1016/0021-9681(65)90030-5

54. Kalsi-Ryan S., Curt A., Fehlings M.G., Verrier M.C. Assessment of the hand in tetraplegia using the graded redefined assessment of strength, sensibility and prehension (GRASSP): Impairment versus function // *Top Spinal Cord Inj Rehab*. 2009. Vol. 14, N 4. P. 34–46.

55. Sollerman C., Ejeskär A. Sollerman Hand Function Test: A standardised method and its use in tetraplegic patients // *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg*. 1995. Vol. 29, N 2. P. 167–176. doi: 10.3109/02844319509034334

56. Popovic M.R., Thrasher T.A., Adams M.E. Functional electrical therapy: Retraining grasping in spinal cord injury // *Spinal Cord*. 2006. Vol. 44, N 3. P. 143–151. doi: 10.1038/sj.sc.3101822

57. Marino R.J., Kern S.B., Leiby B., et al. Reliability and validity of the Capabilities of Upper Extremity Test (CUE-T) in subjects with chronic spinal cord injury // *J Spinal Cord Med*. 2015. Vol. 38, N 4. P. 498–504. doi: 10.1179/2045772314Y.0000000272

REFERENCES

- Marek K, Redlicka J, Miller E, Zubrycki I. Objectivizing measures of post-stroke hand rehabilitation through multi-disciplinary scales. *J Clin Med*. 2023;12(23):7497. doi: 10.3390/jcm12237497
- Xu Q, Li C, Pan Y, et al. Impact of smart force feedback rehabilitation robot training on upper limb motor function in the subacute stage of stroke. *NeuroRehab*. 2020;47(2):209–215. doi: 10.3233/NRE-203130
- Huang WH, Dou ZL, Jin HM, et al. The effectiveness of music therapy on hand function in patients with stroke: A systematic review of randomized controlled trials. *Front Neurol*. 2021;12:641023. doi: 10.3389/fneur.2021.641023
- Luijten MA, Eekhout I, D'Hooghe M, et al. Development of the Arm Function in Multiple Sclerosis Questionnaire-Short Form (AMSQ-SF): A static 10-item version. *Mult Scler*. 2018;24(14):1892–1901. doi: 10.1177/1352458518808197
- Kalkers NF, Galan I, Kerbrat A, et al. Differential item functioning of the Arm function in Multiple Sclerosis Questionnaire (AMSQ) by language, a study in six countries. *Mult Scler*. 2021;27(1):90–96. doi: 10.1177/1352458519895450
- Kapadia N, Zivanovic V, Verrier M, Popovic MR. Toronto rehabilitation institute-hand function test: assessment of gross motor function in individuals with spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehab*. 2012;18(2):167–86. doi: 10.1310/sci1802-167
- Cantero-Tellez R, Naughton N, Algar L, Valdes K. Outcome measurement of hand function following mirror therapy for stroke rehabilitation: A systematic review. *J Hand Ther*. 2019;32(2):277–291.e1. doi: 10.1016/j.jht.2018.01.009
- Santisteban L, Teremetz M, Bleton JP, et al. Upper limb outcome measures used in stroke rehabilitation studies: A systematic literature review. *PLoS ONE*. 2016;11(5):e0154792. doi: 10.1371/journal.pone.0154792
- Churrua K, Pomare C, Ellis LA, et al. Patient-reported outcome measures (PROMs): A review of generic and condition-specific measures and a discussion of trends and issues. *Health Expect*. 2021;24(4):1015–1024. doi: 10.1111/hex.13254
- International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF). Available from: <https://www.who.int/standards/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health>. Accessed: 15.01.2024.
- Sabari JS, Woodbury M, Velozo CA. Rasch analysis of a new hierarchical scoring system for evaluating hand function on the motor assessment scale for stroke. *Stroke Res Treat*. 2014;2014:730298. doi: 10.1155/2014/730298
- Bushnell C, Bettger JP, Cockcroft KM, et al. Chronic stroke outcome measures for motor function intervention trials: Expert panel recommendations. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*. 2015;8(6, Suppl S3):S163–S169. doi: 10.1161/CIRCOUTCOMES.115.002098
- Van Gils A, Meyer S, Van Dijk M, et al. The adult assisting hand assessment stroke: Psychometric properties of an observation-based bimanual upper limb performance measurement. *Arch Phys Med Rehab*. 2018;99(12):2513–2522. doi: 10.1016/j.apmr.2018.04.025
- Ven-Stevens L, Graff M, Selles R, et al. Instruments for assessment of impairments and activity limitations in patients with hand conditions: A European Delphi study. *J Rehab Med*. 2015;47(10):948–956. doi: 10.2340/16501977-2015
- Wang S, Hsu CJ, Trent L, et al. Evaluation of performance-based outcome measures for the upper limb: A comprehensive narrative review. *PMR*. 2018;10(9):951–962.e3. doi: 10.1016/j.pmrj.2018.02.008
- Kimmerle M, Mainwaring L, Borenstein M. The functional repertoire of the hand and its application to assessment. *Am J Occup Ther*. 2003;57(5):489–498. doi: 10.5014/ajot.57.5.489
- Hughes AM, Boucas SB, Burridge JH, et al. Evaluation of upper extremity neurorehabilitation using technology: a European Delphi consensus study within the EU COST Action Network on Robotics for Neurorehabilitation. *J Neuroeng Rehab*. 2016;13(1):86. doi: 10.1186/s12984-016-0192-z
- Burridge J, Alt Murphy M, Buurke J, et al. A systematic review of international clinical guidelines for rehabilitation of people with neurological conditions: What recommendations are made for upper limb assessment? *Front Neurol*. 2019;10:567. doi: 10.3389/fneur.2019.00567
- Moreno-Morente G, Hurtado-Pomares M, Terol Cantero MC. Bibliometric analysis of research on the use of the Nine Hole Peg Test. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(16):10080. doi: 10.3390/ijerph191610080
- Mathiowetz V, Weber K, Kashman N, et al. Adult norms for the Nine Hole Peg Test of finger dexterity. *OTJR: Occup Particip Health*. 1985;5:24–38. doi: 10.1177/153944928500500102

21. Mathiowetz V, Volland G, Kashman N, Weber K. Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *Am J Occup Ther.* 1985;39(6):389–390. doi: 10.5014/ajot.39.6.386
22. Lawson I. Purdue pegboard test. *Occup Med.* 2019;69:376–377. doi: 10.1093/occmed/kqz044933
23. Heldner MR, Vanbellingen T, Bohlhalter S, et al. A valid test for manual dexterity in multiple sclerosis. *Phys Ther.* 2014;94(11):1644–1651. doi: 10.2522/ptj.20130252
24. Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I, et al. The post-stroke hemiplegic patient: A method for evaluation of physical performance. *Scand J Rehab Med.* 1975;7(1):15–17.
25. Lyle RC. A performance test for assessment of upper limb function in physical rehabilitation treatment and research. *Int J Rehabil Res.* 1981;4(4):483–492. doi: 10.1097/00004356-198112000-00001
26. Barreca SR, Gowland CK, Stratford PW, et al. Development of the Chedoke Arm and Hand Activity Inventory: Theoretical constructs, item generation, and selection. *Topics Stroke Rehab.* 2004;11(4):31–42. doi: 10.1310/JU8P-UVK6-68VW-CF3W
27. Carr JH, Shepherd RB, Nordholm L, Lynne D. Investigation of a new motor assessment scale for stroke patients. *Physical Therapy.* 1985;65(2):175–180. doi: 10.1093/ptj/65.2.175
28. Wolf SL, Catlin PA, Ellis M, et al. Assessing wolf motor function test as outcome measure for research in patients after stroke. *Stroke.* 2001;32(7):1635–1639. doi: 10.1161/01.str.32.7.1635
29. Kim H, Shin JH. Assessment of upper extremity function in people with stroke based on the framework of the ICF: A narrative Review. *Brain Neurorehab.* 2022;15(2):e16. doi: 10.12786/bn.2022.15.e16
30. Alt Murphy M, Bjorkdahl A, Forsberg-Warleby G, Persson CU. Implementation of evidence-based assessment of upper extremity in stroke rehabilitation: From evidence to clinical practice. *J Rehab Med.* 2021;53(1):jrm00148. doi: 10.2340/16501977-2790
31. Woytowicz EJ, Rietschel JC, Goodman RN, et al. Determining levels of upper extremity movement impairment by applying a cluster analysis to the Fugl-Meyer assessment of the upper extremity in chronic stroke. *Arch Phys Med Rehab.* 2017;98(3):456–462. doi: 10.1016/j.apmr.2016.06.023
32. Platz T, Pinkowski C, Frederike van W, et al. Reliability and validity of arm function assessment with standardized guidelines for the Fugl-Meyer Test, Action Research Arm Test and Box and Block Test: A multicenter study. *Clin Rehab.* 2005;19(4):404–411. doi: 10.1191/0269215505cr832oa
33. Chen P, Liu TW, Tse MM, et al. The predictive role of hand section of Fugl-Meyer assessment and motor activity log in action research arm test in people with stroke. *Front Neurol.* 2022;13:926130. doi: 10.3389/fneur.2022.926130
34. Oliveira CS, Almeida CS, Freias LC, et al. Use of the Box and Block Test for the evaluation of manual dexterity in individuals with central nervous system disorders: A systematic review. *Man Ther Posturology Rehab J.* 2016;14:1–17. doi: 10.17784/mtprehabjournal.2016.14.436
35. Kapadia N, Jovanovic L, Musselman K, et al. Preliminary evaluation of the reliability and validity of the 3D printed Toronto Rehabilitation Institute-Hand Function Test in individuals with spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2021;44(Suppl 1):S225–S233. doi: 10.1080/10790268.2021.1961055
36. Persson HC, Alt Murphy M, Danielsson A, et al. A cohort study investigating a simple, early assessment to predict upper extremity function after stroke--a part of the SALGOT study. *BMC Neurol.* 2015;15:92. doi: 10.1186/s12883-015-0349-6
37. Krumlinde-Sundholm L, Lindkvist B, Plantin J, Hoare B. Development of the assisting hand assessment for adults following stroke: A Rasch-built bimanual performance measure. *Disability Rehab.* 2019;41(4):472–480. doi: 10.1080/09638288.2017.1396365
38. Plantin J, Verneau M, Godbolt AK, et al. Recovery and prediction of bimanual hand use after stroke. *Neurology.* 2021;97(7):e706–e719. doi: 10.1212/WNL.00000000000012366
39. Barreca SR, Stratford PW, Masters LM, et al. Validation of three shortened versions of the Chedoke Arm and Hand Activity Inventory. *Physiotherapy Canada.* 2006;58(2):148–156. doi: 10.3138/ptc.58.2.148
40. Alt Murphy M, Resteghini C, Feys P, Lamers I. An overview of systematic reviews on upper extremity outcome measures after stroke. *BMC Neurol.* 2015;15:29. doi: 10.1186/s12883-015-0292-6
41. Pohl J, Held JP, Verheyden G, et al. Corrigendum: Consensus-based core set of outcome measures for clinical motor rehabilitation after stroke--a delphi study. *Front Neurol.* 2021;12:697935. doi: 10.3389/fneur.2021.697935
42. Nijland RH, van Wegen EE, Harmeling-van der Wel BC, et al. Presence of finger extension and shoulder abduction within 72 hours after stroke predicts functional recovery: Early prediction of functional outcome after stroke: the EPOS cohort study. *Stroke.* 2010;41(4):745–750. doi: 10.1161/STROKEAHA.109.572065
43. Inojosa H, Schrieffer D, Ziemssen T. Clinical outcome measures in multiple sclerosis: A review. *Autoimmun Rev.* 2020;19(5):102512.
44. Kurtzke JF. Rating neurological impairment in multiple sclerosis: An expanded disability status scale (EDSS). *Neurology.* 1983;33(11):1444–1452. doi: 10.1212/wnl.33.11.1444
45. Molenaar PC, Strijbis EM, van Munster CE, et al. Cross-sectional and longitudinal correlations between the Arm Function in Multiple Sclerosis Questionnaire (AMSQ) and other outcome measures in multiple sclerosis. *Mult Scler Relat Disord.* 2022;61:103725. doi: 10.1016/j.msard.2022.103725
46. Feys P, Lamers I, Francis G, et al. Multiple sclerosis outcome assessments consortium. The Nine-Hole Peg Test as a manual dexterity performance measure for multiple sclerosis. *Mult Scler.* 2017;23(5):711–720. doi: 10.1177/1352458517690824
47. Cutter G, Baier M, Rudick R, Cookfair D. Development of a multiple sclerosis functional composite as a clinical trial outcome measure. *Brain.* 1999;122(Pt 5):871–882. doi: 10.1093/brain/122.5.871
48. Solaro C, Cattaneo D, Brichetto G, et al. Clinical correlates of 9-hole peg test in a large population of people with multiple sclerosis. *Mult Scler Relat Disord.* 2019;30:1–8. doi: 10.1016/j.msard.2019.01.043
49. Jones LA, Bryden A, Wheeler TL, et al. Considerations and recommendations for selection and utilization of upper extremity clinical outcome assessments in human spinal cord injury trials. *Spinal Cord.* 2018;56(5):414–425. doi: 10.1038/s41393-017-0015-5
50. Coates SK, Harvey LA, Dunlop SA, Allison GT. The AuSpinal: A test of hand function for people with tetraplegia. *Spinal Cord.* 2011;49(2):219–229. doi: 10.1038/sc.2010.86
51. Lili L, Sunnerhagen KS, Rekand T, et al. Independence and upper extremity functioning after spinal cord injury: A cross-sectional study. *Sci Rep.* 2023;13(1):3148. doi: 10.1038/s41598-023-29986-y
52. Wuolle KS, Van Doren CL, Thrope GB, et al. Development of a quantitative hand grasp and release test for patients with tetraplegia using a hand neuroprosthesis. *J Hand Surg.* 1994;19(2):209–218. doi: 10.1016/0363-5023(94)90008-6

53. Caroll D. A quantitative test of upper extremity function. *J Chronic Dis.* 1965;18:479–482. doi: 10.1016/0021-9681(65)90030-5
54. Kalsi-Ryan S, Curt A, Fehlings MG, Verrier MC. Assessment of the hand in tetraplegia using the graded redefined assessment of strength, sensibility and prehension (GRASSP): Impairment versus function. *Top Spinal Cord Inj Rehab.* 2009;14(4):34–46.
55. Sollerman C, Ejeskär A. Sollerman Hand Function Test: A standardised method and its use in tetraplegic patients. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.* 1995;29(2):167–176. doi: 10.3109/02844319509034334
56. Popovic MR, Thrasher TA, Adams ME. Functional electrical therapy: Retraining grasping in spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2006;44(3):143–151. doi: 10.1038/sj.sc.3101822
57. Marino RJ, Kern SB, Leiby B, et al. Reliability and validity of the Capabilities of Upper Extremity Test (CUE-T) in subjects with chronic spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2015;38(4):498–504. doi: 10.1179/2045772314Y.00000000272

ОБ АВТОРАХ

*** Шейко Геннадий Евгеньевич**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 603950, БОКС-470, Нижний Новгород,
пл. Минина и Пожарского, д. 10/1;
ORCID: 0000-0003-0402-7430;
eLibrary SPIN: 8575-1319;
e-mail: sheikogennadii@yandex.ru

Белова Анна Наумовна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-9719-6772;
eLibrary SPIN: 3084-3096;
e-mail: anbelova@mail.ru

Рахманова Евгения Михайловна;
ORCID: 0000-0002-6698-321X;
eLibrary SPIN: 4138-5899;
e-mail: ennjka@gmail.com

Израелян Юлия Александровна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-4480-1884;
eLibrary SPIN: 6334-6564;
e-mail: ija07@yandex.ru

Ананьев Роман Дмитриевич;
ORCID: 0009-0002-9170-833X;
eLibrary SPIN: 1136-5907;
e-mail: Rom97an@yandex.ru

AUTHORS' INFO

*** Gennadii E. Sheiko**, MD, Cand. Sci. (Med.);
address: 10/1 Minin and Pozharsky square,
603005 Nizhny Novgorod, Russia;
ORCID: 0000-0003-0402-7430;
eLibrary SPIN: 8575-1319;
e-mail: sheikogennadii@yandex.ru

Anna N. Belova, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: 0000-0001-9719-6772;
eLibrary SPIN: 3084-3096;
e-mail: anbelova@mail.ru

Evgeniya M. Rakhmanova;
ORCID: 0000-0002-6698-321X;
eLibrary SPIN: 4138-5899;
e-mail: ennjka@gmail.com

Yuliya A. Israelyan, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0002-4480-1884;
eLibrary SPIN: 6334-6564;
e-mail: ija07@yandex.ru

Roman D. Ananyev;
ORCID: 0009-0002-9170-833X;
eLibrary SPIN: 1136-5907;
e-mail: Rom97an@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab630518>

Эффективность экстракорпоральной ударно-волновой терапии в лечении гонартроза I–II степени: научный обзор

Д.Б. Нурпеисов, С.С. Эм, Н.В. Куриленко

Медицинский университет Караганды, Караганда, Республика Казахстан

АННОТАЦИЯ

Авторы обзорной статьи провели всесторонний анализ существующих исследований по применению экстракорпоральной ударно-волновой терапии в лечении гонартроза I–II степени, а также сравнили эффективность данного метода с традиционным лечением (плацебо, кортикостероиды, гиалуроновая кислота, фармакологические препараты). Основные результаты обзора указывают на значительные улучшения в виде снижения боли и повышения функционального состояния коленного сустава у пациентов, проходящих экстракорпоральную ударно-волновую терапию, по сравнению с другими методами лечения. Авторы подчёркивают неинвазивность и безопасность экстракорпоральной ударно-волновой терапии, отмечая отсутствие серьёзных побочных эффектов, что делает данную процедуру предпочтительной для клинического применения.

Авторы проанализировали доступную литературу и сделали акцент на сравнительной эффективности экстракорпоральной ударно-волновой терапии, предоставляя врачам основу для рекомендаций. В то же время указали на необходимость дополнительных исследований для уточнения оптимальных параметров применения методики и подтверждения её долгосрочной эффективности, особенно в сравнении с другими современными методами лечения гонартроза.

Таким образом, представленный материал призван не только информировать о текущем состоянии исследований в области лечения гонартроза, но и стимулировать дальнейшие научные разработки в этом направлении, подкрепляя клиническую практику методами, основанными на доказательствах.

Ключевые слова: гонартроз; остеоартрит коленного сустава; I–II степень гонартроза; ударно-волновая терапия; экстракорпоральная ударно-волновая терапия.

Как цитировать:

Нурпеисов Д.Б., Эм С.С., Куриленко Н.В. Эффективность экстракорпоральной ударно-волновой терапии в лечении гонартроза I–II степени: научный обзор // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 2. С. 188–203. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab630518>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab630518>

Effectiveness of extracorporeal shock wave therapy in treating grade I–II gonarthrosis: a scientific review

Daniyar B. Nurpeisov, Sabina S. Em, Natalya V. Kurilenko

Karaganda Medical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

ABSTRACT

This review article explores the use of extracorporeal shock wave therapy in treating grades I–II gonarthrosis (knee osteoarthritis). The authors conduct a comprehensive analysis of existing studies and compare extracorporeal shock wave therapy with conventional treatment methods such as placebo, corticosteroids, hyaluronic acid, and pharmacological treatments. Key findings from the review indicate a significant improvement in pain reduction and enhanced functional state of the knee joint in patients treated with extracorporeal shock wave therapy compared to other methods. The authors emphasize the non-invasiveness and safety of extracorporeal shock wave therapy, noting the absence of serious side effects, which makes this therapy a preferred option for clinical use.

The article stands out due to its thorough analysis of available literature and a focus on the comparative effectiveness of extracorporeal shock wave therapy, providing a basis for medical recommendations. Additionally, the authors highlight the need for further research to refine optimal application parameters for extracorporeal shock wave therapy and to confirm its long-term effectiveness, particularly in comparison with other modern treatment methods for gonarthrosis.

This approach underscores the uniqueness of this review, which not only informs about the current state of research in the field of gonarthrosis treatment but also stimulates further scientific developments in this direction, supporting clinical practice with evidence-based methods.

Keywords: knee osteoarthritis; osteoarthritis; knee; shock wave therapy; extracorporeal.

To cite this article:

Nurpeisov DB, Em SS, Kurilenko NV. Effectiveness of extracorporeal shock wave therapy in treating grade I–II gonarthrosis: a scientific review. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(2):188–203. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab630518>

Submitted: 20.04.2024

Accepted: 26.04.2024

Published online: 31.05.2024

Список сокращений

ВИЛТ — высокоинтенсивная лазерная терапия

УВТ — ударно-волновая терапия

ЭУВТ — экстракорпоральная ударно-волновая терапия

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования эффективности ударно-волновой терапии (УВТ) при лечении гонартроза I–II степени обусловлена несколькими факторами [1–5].

Распространённость. Гонартроз, или остеоартроз коленного сустава, является одним из наиболее распространённых видов артроза, который серьёзно влияет на опорно-двигательную систему [6, 7]. Течение заболевания сопровождается постепенным разрушением хрящевой ткани в коленном суставе, что приводит к появлению боли, воспалению и нарушению функции сустава.

Гонартроз является ведущей причиной хронической боли и инвалидности, особенно у пожилых людей. Распространённость гонартроза варьирует в зависимости от возраста. Хотя заболеванию подвержены все слои населения, его частота увеличивается с возрастом. Исследования показывают, что около 12% населения старше 60 лет страдают гонартрозом [8].

Отмечается также различие в распространённости гонартроза среди мужчин и женщин. Женщины имеют более высокий риск развития этого заболевания по сравнению с мужчинами (2:1) [8, 9].

Распространённость гонартроза различается в разных странах [10–12]. Так, более развитые страны с высоким уровнем индустриализации и стареющим населением имеют, как правило, более высокую распространённость заболевания [13], что обусловлено такими факторами, как сидячий образ жизни, ожирение, недостаток физической активности и др. [14–18].

Учитывая высокую распространённость заболевания и его значительное влияние на пациентов, существует необходимость разработки более эффективных и безопасных методов лечения гонартроза I–II степени [15]. Исследования в области УВТ предоставляют новые перспективы в лечении этого заболевания и могут способствовать улучшению результатов и качества жизни пациентов, страдающих от гонартроза [10–14].

Ограничения в доступных методах лечения. В настоящее время существует несколько методов лечения гонартроза (физиотерапия, фармакологическое лечение, инъекции гиалуроната, хирургические вмешательства), однако некоторые из них могут иметь ограничения, в частности побочные эффекты, высокую стоимость или неполную эффективность [10–12].

Потенциал ударно-волновой терапии в лечении гонартроза. УВТ является относительно новым методом лечения, который показал свою эффективность при других

мускулоскелетальных расстройствах. Существуют предположения, что УВТ имеет положительное воздействие на симптомы и функциональное состояние пациентов с гонартрозом. Исследование эффективности УВТ при лечении гонартроза I–II степени поможет подтвердить или опровергнуть эти предположения и дать основу для рекомендаций по применению этого метода [10–14].

Необходимость обоснованных рекомендаций. В связи с возрастающей популярностью метода УВТ и неоднозначностью его эффективности при лечении гонартроза важно иметь обоснованные рекомендации для врачей и пациентов. Исследование эффективности УВТ поможет выявить оптимальные параметры лечения, такие как дозировка, длительность и частота процедур, что позволит разработать более эффективные протоколы лечения [10–14].

Исследование эффективности УВТ при лечении гонартроза I–II степени имеет особую актуальность, поскольку может подвести к разработке более эффективных и безопасных методов лечения, улучшению качества жизни пациентов и снижению социально-экономической нагрузки, связанной с этим расстройством.

Стоит отметить, что, несмотря на существующие рекомендации и методы лечения для каждой стадии остеоартроза, некоторые пациенты не могут получить достаточного облегчения или достичь желаемых результатов с помощью доступных методов. Это подчёркивает необходимость развития более эффективных и безопасных методов лечения для данной категории пациентов.

Исследования в области УВТ при лечении гонартроза I–II степени предоставляют надёжные данные о потенциале метода в улучшении симптомов и функциональности суставов [19, 20], однако требуются дальнейшие исследования для более подробного изучения эффективности УВТ, её безопасности и определения оптимальных параметров лечения.

Прогресс в области медицинской технологии и инноваций может привести к разработке новых методов лечения, таких как биологические препараты, регенеративная медицина или терапия стволовыми клетками, которые могут предложить новые возможности для преодоления ограничений существующих подходов и достижения более значимых результатов в лечении гонартроза I–II степени [21]. Кроме того, важно уделять внимание индивидуальным особенностям пациента, его физическому состоянию, возрасту и сочетанию других заболеваний, так как это важный аспект для оптимизации лечения. Персонализированный подход к пациенту может улучшить эффективность и результаты лечения.

Таким образом, важно продолжать исследования в области лечения гонартроза I–II степени и разрабатывать новые методы, учитывая особенности пациентов и стремясь достичь более эффективных и безопасных результатов лечения. Это позволит улучшить качество жизни пациентов, снизить боль, улучшить их функциональность и повседневную активность.

ГОНАРТРОЗ I–II СТЕПЕНИ

Описание, симптомы

Гонартроз, известный также как остеоартроз коленного сустава, является дегенеративным заболеванием, при котором происходит постепенное разрушение хрящевой ткани в суставе. Это состояние может прогрессировать по степеням, и для его классификации применяется система Келлгрена–Лоуренса (Kellgren and Lawrence system) [22].

Классификация остеоартроза по Келлгрену–Лоуренсу является широко используемой системой для оценки степени тяжести заболевания. Она основана на рентгенологической оценке степени разрушения коленного сустава. Эта классификация включает четыре степени остеоартроза.

Степень 0. Нормальный сустав (на рентгенограмме не наблюдается признаков остеоартроза).

Степень I. Сомнительные изменения (на рентгенограмме могут быть видны незначительные изменения, такие как небольшие шиповидные выпячивания или незначительные утолщения краёв суставного пространства).

Степень II. Умеренный остеоартроз (на рентгенограмме присутствуют более явные признаки остеоартроза, такие как сужение суставного пространства, остеофиты (костные наросты) и небольшие деформации суставных поверхностей).

Степень III. Тяжёлый остеоартроз (на рентгенограмме наблюдаются значительное сужение суставного пространства, крупные остеофиты, деформации суставной поверхности и возможные кисты).

Классификация Келлгрена–Лоуренса позволяет врачам оценить степень развития остеоартроза, что способствует определению стратегии лечения и принятию решения о необходимости хирургического вмешательства. Классификация является одним из стандартных методов оценки степени тяжести остеоартроза и широко используется как в клинической практике, так и в исследованиях по остеоартрозу.

Гонартроз I–II степени обычно соответствует начальным и умеренным стадиям заболевания. На этой стадии хрящ в коленном суставе начинает истончаться и терять свою эластичность, что приводит к появлению следующих симптомов:

- 1) боль (пациенты часто испытывают дискомфорт и боль в коленном суставе, особенно при физической нагрузке или после длительного сидения или стояния) [22];
- 2) ограниченная подвижность (гонартроз I–II степени может вызывать ощущение скованности и ограниченности движений в коленном суставе) [23];

- 3) хруст и скрип (во время движения в коленном суставе могут возникать хрустящие или скрипящие звуки, связанные с трением разрушенного хряща) [24];
- 4) отёчность (у некоторых пациентов наблюдается незначительное отекавание вокруг коленного сустава) [25];
- 5) утренняя скованность (после длительного отдыха или утром пациенты с гонартрозом I–II степени могут испытывать скованность в колене и трудности в движении с улучшением состояния при движении) [26].

Эти симптомы могут значительно влиять на качество жизни пациентов и их способность выполнять повседневные задачи. Раннее обращение к врачу и регулярное лечение помогают замедлить прогрессирование гонартроза и улучшить симптомы, что позволяет пациентам поддерживать активный образ жизни.

Лечение

Терапия остеоартроза зависит от степени его развития и имеет различные подходы в зависимости от стадии заболевания [27]. Основная цель лечения состоит в улучшении симптомов, замедлении прогрессирования заболевания, улучшении функциональности суставов и повышении качества жизни пациента [28].

На стадии 0 остеоартроза (нет изменений в суставе) пациенты могут испытывать некоторые симптомы, такие как лёгкая боль или скованность. В основном на этой стадии врачи рекомендуют консервативные подходы, такие как контроль веса, физические упражнения для укрепления мышц и улучшения гибкости, умеренную активность и физическую терапию. Могут использоваться также противовоспалительные препараты и некоторые методы облегчения боли, например применение льда или тепла.

Что касается стадии I (сомнительные изменения), возможно усиление симптомов, включая боль и скованность. Лечение включает физическую терапию, упражнения для укрепления мышц, улучшения гибкости и поддержания диапазона движения сустава. Могут быть назначены противовоспалительные препараты и анальгетики для облегчения боли [29].

При прогрессировании заболевания до стадии II (умеренный остеоартроз) симптомы становятся более заметными, включая боли при движении и утреннюю скованность. Лечение включает физическую терапию, упражнения для укрепления мышц и гибкости, но может потребоваться более интенсивное лечение боли. Врачи могут назначить некоторые ортезы для снятия нагрузки с сустава или инъекции гиалуроната для смазывания сустава и облегчения симптомов [30].

Стадия III (тяжёлый остеоартроз) характеризуется более серьёзными суставными повреждениями, и пациенты могут испытывать значительные боли и ограничения в движении. В некоторых случаях может потребоваться хирургическое вмешательство, в частности артропластика или замена сустава [31]. Перед решением о хирургическом лечении с целью облегчения симптомов и улучшения

качества жизни пациента врачи могут предложить консервативные методы, такие как физическая терапия, упражнения, применение противовоспалительных препаратов и использование поддерживающих средств.

Важно отметить, что лечение остеоартроза должно быть индивидуализированным и основываться на конкретных потребностях и характеристиках пациента. Решение о выборе методов лечения должно быть принято врачом и пациентом совместно, учитывая степень тяжести заболевания, возраст, общее состояние здоровья и предпочтения пациента.

МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ ГОНАРТРОЗА I–II СТЕПЕНИ

Существует множество методов лечения гонартроза I–II степени.

Консервативное лечение включает нефармакологические (физическая терапия, упражнения для укрепления мышц вокруг коленного сустава, использование ортезов) и фармакологические (нестероидные противовоспалительные препараты, хондропротекторы) методы [32].

Инъекционная терапия включает использование глюкокортикоидов или гиалуроната для снижения воспаления и улучшения смазывания сустава. Также может использоваться плазмотерапия, при которой введение пациентских собственных тромбоцитов способствует регенерации тканей [33].

Хирургическое вмешательство: если консервативные методы не приводят к достаточному улучшению, может потребоваться операция, в частности артроскопия или полная замена коленного сустава [34].

Ударно-волновая терапия — современный метод лечения гонартроза, который использует высокоинтенсивные ударные волны для стимуляции ремоделирования тканей и снижения боли. УВТ демонстрирует перспективные результаты в лечении гонартроза I–II степени: исследования, проведенные в течение последних 5 лет, подтверждают её эффективность и преимущества по сравнению с другими методами лечения [35].

УВТ представляет собой процедуру, при которой генерируются высокоинтенсивные акустические волны и направляются на поражённый коленный сустав. Эти ударные волны создают короткое и интенсивное давление, которое проникает в ткани коленного сустава, стимулируя процессы ремоделирования, улучшая микроциркуляцию и улучшая тем самым функции сустава [36].

Преимущества ударно-волновой терапии по сравнению с другими методами лечения

Среди преимуществ метода УВТ отмечается его способность стимулировать ремоделирование тканей в коленном суставе, в том числе хрящевой и костной. Исследование S. An и соавт. [36] подтверждает положительные эффекты УВТ в ремоделировании хряща и снижении дегенеративных изменений.

УВТ помогает снизить боль и улучшить функцию коленного сустава у пациентов с гонартрозом I–II степени. Исследование I. Sokolakis и соавт. [37] продемонстрировало значительное снижение боли и улучшение качества жизни после применения УВТ.

УВТ является неинвазивным методом лечения, который не требует хирургического вмешательства, обладает низким риском побочных эффектов и может безопасно применяться у пациентов с различными сопутствующими заболеваниями [38].

Механизмы действия ударно-волновой терапии на поражённый сустав

Исследования указывают на несколько механизмов, через которые УВТ способствует улучшению состояния коленного сустава при гонартрозе. Один из основных механизмов — это улучшение кровообращения в области коленного сустава. УВТ стимулирует формирование новых капилляров и повышает микроциркуляцию, что способствует более эффективной доставке кислорода и питательных веществ к хрящевой ткани, способствуя её здоровью и регенерации [39]. Кроме того, УВТ может стимулировать регенерацию хрящевой ткани. Некоторые исследования показывают, что УВТ способствует активации хрящевых клеток и увеличению синтеза хрящевого матрикса, что приводит к восстановлению и укреплению повреждённой хрящевой ткани [40].

УВТ имеет и антиинфламматорные эффекты [41], т.е. может снижать уровень воспалительных маркеров, в частности цитокинов, в области коленного сустава, что обеспечивает снижение воспаления и симптомов, связанных с гонартрозом, таких как боль и отёчность.

Результаты исследований подтверждают, что УВТ оказывает положительное воздействие на гонартроз через улучшение кровообращения, стимуляцию регенерации хрящевой ткани и снижение воспаления [42, 43]. В исследовании J.H. Cheng и соавт. [44], которое представляет собой систематический обзор и метаанализ рандомизированных контролируемых исследований, рассматривается применение УВТ для управления хроническими язвами нижних конечностей. В статье указывается, что УВТ способствует улучшению кровообращения и стимулирует регенерацию тканей, что может быть применимо в контексте гонартроза. D. Moysa и соавт. [45], исследуя роль УВТ в лечении патологий сухожилий и связок, подтверждают, что УВТ стимулирует процессы регенерации и повышает выработку факторов роста, способствующих восстановлению повреждённых тканей. Авторы указывают также на использование УВТ в лечении патологий суставов: терапия может способствовать уменьшению воспаления и боли, улучшению функциональности суставов. В исследовании J. Holfeld и соавт. [46] обсуждается влияние УВТ на кровоток и регенерацию тканей. Авторы отмечают, что УВТ может стимулировать ангиогенез, т.е. способствует формированию новых капилляров и улучшению

микроциркуляции, что в свою очередь обеспечивает заживление и восстановление тканей.

Предполагается, что УВТ может генерировать радиальные или фокусированные ударные волны, которые передают энергию и распространяются через ткань. Это физическое воздействие может стимулировать биологические эффекты в области обработки, и биохимический механизм УВТ при остеоартрозе может быть связан с неоваскуляризацией, остео- и хондрогенезом [47]. В недавних исследованиях УВТ приводила к увеличению уровней ангиогенных факторов роста, включая эндотелиальную синтазу оксида азота (eNOS) и фактор роста сосудов (VEGF), что способствовало неоваскуляризации. УВТ также связана с остеогенными транскрипционными факторами, включая VEGF-A и гипоксией индуцированный фактор-1 α (HIF-1 α), влияющими на рост остеобластов. В то же время УВТ может повышать уровни оксида азота (NO), белка кости морфогенетического протеина-2 (BMP-2), протеинкиназы B и трансформирующего фактора роста-бета 1 (TGF- β 1), что способствует дифференцировке и пролиферации остеобластов. Предполагается также, что УВТ может усиливать экспрессию Pdia-3 — ключевого элемента сигнального пути 1 α ,25-дигидроксивитамина D3 (1 α ,25(OH)2D3), который важен для транскрипции генов и гомеостаза кальция, что рассматривается как полезное свойство для остеогенеза [48]. Кроме того, УВТ оказывает дозозависимый эффект на метаболизм мезенхимальных стволовых клеток, что потенциально улучшает регенерацию костей и хондрогенез. Однако точный механизм действия УВТ до сих пор не известен, и для более эффективного клинического использования требуются дополнительные исследования [49].

Таким образом, механизмы, по которым УВТ оказывает положительное воздействие на гонартроз, определены многочисленными исследованиями (улучшение кровообращения, стимуляция регенерации тканей, снижение воспаления и боли) и подтверждают эффективность УВТ при лечении гонартроза.

ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНАЯ УДАРНО-ВОЛНОВАЯ ТЕРАПИЯ: ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРИМЕНЕНИЮ ПРИ ГОНАРТРОЗЕ I–II СТЕПЕНИ

Критерии отбора литературы

Для определения эффективности экстракорпоральной УВТ (ЭУВТ) в сравнении с другими методами лечения гонартроза I–II степени (согласно классификации Келлгрена–Лоуренса) нами выполнен систематический обзор литературы с использованием базы данных PubMed, Medline, Cochrane, eLibrary и Web of Science. Поиск осуществлён по состоянию на апрель–июнь 2023 года.

В процессе поиска мы использовали сочетание следующих ключевых слов и их соответствующих медицинских терминов: «гонартроз», «артроз коленного сустава», «ударно-волновая терапия», «экстракорпоральная ударно-волновая терапия», «ЭУВТ», «эффективность», «клинические исследования». Мы ограничили поиск только научными статьями, опубликованными на английском языке.

Для отбора статей были применены следующие критерии:

- 1) статьи, в которых изучалась эффективность ЭУВТ при лечении гонартроза I–II степени;
- 2) клинические исследования, включающие рандомизированные контролируемые испытания, метаанализы или систематические обзоры;
- 3) преимущественно статьи, опубликованные в течение последних 5 лет, чтобы учесть наиболее актуальные исследования.

После процедуры отбора статей мы провели анализ и синтез полученной информации, чтобы извлечь данные, связанные с эффективностью ЭУВТ в сравнении с другими методами лечения гонартроза I–II степени. Результаты этого обзора литературы предоставляют основу для оценки текущего состояния и актуальности применения ЭУВТ в лечении данного заболевания. Однако следует отметить, что результаты и выводы могут быть ограничены имеющейся литературой и исследованиями, доступными в базах данных на момент поиска. Поэтому необходимы дополнительные исследования и обновление информации в будущем, чтобы получить более точные и обширные данные по эффективности ЭУВТ при лечении гонартроза I–II степени.

Исследования эффективности ударно-волновой терапии при лечении гонартроза I–II степени

Существует значительный объём клинических исследований, проведённых за последние 5 лет, по эффективности УВТ при лечении гонартроза I–II степени. Результаты этих исследований предоставляют ценную информацию о показателях эффективности УВТ, включая снижение боли, улучшение подвижности и повышение качества жизни пациентов.

В одном из исследований W. Zhao и соавт. [50] оценивались эффекты УВТ на пациентов с гонартрозом I–II степени. В результате исследования обнаружено значительное снижение боли у пациентов, которые получали УВТ в течение определённого периода времени. Кроме того, пациенты сообщали об улучшении подвижности коленного сустава и увеличении общего комфорта в повседневной жизни.

Y. Fan и соавт. [51] выполнили метаанализ результатов нескольких клинических исследований по оценке эффективности УВТ при гонартрозе. Анализ показал, что процедура УВТ значительно снижает боль и улучшает функцию коленного сустава у пациентов с гонартрозом

I–II степени, у которых отмечалось также значимое улучшение качества жизни и повышение удовлетворённости результатами лечения.

В статье Н. Ма и соавт. [52] проведён обзор результатов клинических исследований, связанных с применением УВТ при гонартрозе I–II степени. Данные метаанализа включали 23 исследования с общим числом пациентов свыше 1600. Результаты метаанализа показали, что УВТ имеет значительные положительные эффекты на пациентов с гонартрозом I–II степени. Методика способствует снижению боли, улучшению функции коленного сустава и повышению качества жизни. Исследование показало статистически значимое улучшение показателей боли и функциональности суставов после применения УВТ по сравнению с плацебо или стандартными методами лечения. Кроме того, не выявлено серьёзных побочных эффектов или осложнений в процессе проведения УВТ [53]. В статье подчёркивается также необходимость проведения дальнейших исследований, чтобы более точно определить оптимальные параметры УВТ и длительность курса лечения при гонартрозе I–II степени. Однако эти результаты подтверждают перспективность УВТ в качестве безопасного и эффективного метода лечения гонартроза I–II степени.

Ограничения в доступных методах лечения гонартроза I–II степени

Существует несколько проблем и ограничений, связанных с существующими методами лечения гонартроза I–II степени. Рассмотрим некоторые из них.

Фармакологическое лечение. Одним из распространённых методов лечения гонартроза является применение фармакологических препаратов, таких как нестероидные противовоспалительные и глюкозамин/хондроитинсульфат. Однако эти препараты не всегда достаточно эффективны в уменьшении боли и улучшении функциональности сустава. Кроме того, они могут вызывать побочные эффекты, такие как диспепсические расстройства и повреждение желудочно-кишечного тракта [54].

Физиотерапия, включающая упражнения, массаж, физиотерапевтические процедуры, широко применяется при лечении гонартроза [55]. Однако эффективность метода может быть ограничена длительностью и регулярностью процедур, что не всегда удобно для пациентов. Кроме того, результаты физиотерапии могут быть индивидуально различными, и не всем пациентам удаётся достичь значительного улучшения состояния сустава [56].

Инъекции гиалуроната, известные как внутрисуставные инъекции синовиальной жидкости, используются для смазки и улучшения амортизационных свойств сустава, однако эффективность этих инъекций остаётся предметом дебатов. Некоторые исследования демонстрируют их положительный эффект, тогда как другие не показывают значимых различий в сравнении с плацебо. Кроме того, инъекции гиалуроната считаются

дорогостоящей процедурой и требующей регулярно-го повторения, что может быть финансово недоступно для некоторых пациентов [57].

Хирургическое вмешательство. В случаях гонартроза, когда консервативные методы лечения не приносят достаточного облегчения, может потребоваться хирургическое вмешательство, например артроскопия или эндопротезирование коленного сустава. Однако хирургическое лечение сопряжено с рисками и осложнениями, а также требует длительного периода восстановления [31].

В свете этих проблем и ограничений, исследование эффективности УВТ при лечении гонартроза I–II степени является актуальным. УВТ представляет собой неинвазивный метод лечения с подтверждённой результативностью в виде уменьшения боли, улучшения функциональности сустава и стимулирования регенерации тканей. Изучение эффективности метода УВТ при гонартрозе I–II степени позволит определить оптимальные параметры лечения, такие как дозировка, длительность и частота процедур, и установить его место в существующей практике лечения данного заболевания.

Сравнение ударно-волновой терапии с другими методами лечения

Различные исследования позволяют сравнивать эффективность УВТ с другими методами лечения остеоартрита коленного сустава (табл. 1). В исследованиях групп, получавших УВТ, показано статистически значимое различие по сравнению с группами плацебо, кортикостероидов, гиалуроновой кислоты, медикаментозного лечения и ультразвука как в снижении боли, так и улучшении функциональности. Такие результаты свидетельствуют о том, что УВТ может быть успешным альтернативным способом лечения, когда другие методы недоступны [58].

Кинезитерапия. УВТ показала статистически значимое улучшение функциональности суставов по сравнению с кинезитерапией. Наблюдалось статистически значимое различие между УВТ и тромбоцитарной плазмой в снижении боли, но не в улучшении функциональности [59]. Кроме того, обнаружено статистически значимое различие между УВТ и фумигацией в улучшении функциональности, но не в снижении боли [58].

Фармакологическое лечение. УВТ показала статистически значимое снижение боли и улучшение функциональности по сравнению с медикаментами [60]. Это подразумевает, что УВТ может быть предпочтительным методом лечения по сравнению с фармакологическими препаратами. Кроме того, консервативная терапия может иметь ограниченную пользу и быть связана с серьёзными побочными эффектами, такими как кровотечения или язвы желудка, вызванными нестероидными противовоспалительными препаратами [61].

Внутрисуставные инъекции. В нескольких исследованиях сравнивали использование УВТ и инъекций гиалуроновой кислоты в лечении остеоартроза коленного сустава.

Таблица 1. Сравнение эффективности ударно-волновой терапии с другими методами лечения остеоартрита коленного сустава
Table 1. Comparison of the effectiveness of shockwave therapy with other methods of treatment of knee osteoarthritis

Метод лечения	Снижение боли	Улучшение функциональности	Источник
Ударно-волновая терапия (УВТ)	Статистически значимое		[50]
Плацебо	Хуже, чем при УВТ		[52]
Кортикостероиды	Меньшее, чем при УВТ		[51]
Гиалуроновая кислота	Меньшее, чем при УВТ	Сопоставимо с УВТ	[44]
Медикаменты	Меньшее, чем при УВТ		[46]
Ультразвук	Меньшее, чем при УВТ		[45]
Кинезитерапия	Меньшее, чем при УВТ		[59]
Фумигация	Сопоставимое с УВТ	Меньшее, чем при УВТ	[64]
Высокоинтенсивная лазерная терапия	Более эффективно, чем при УВТ		[69]

Результаты этих исследований указывают на преимущества УВТ в сравнении с инъекциями гиалуроновой кислоты в улучшении боли и функциональности коленного сустава, а также более долгосрочном и стабильном терапевтическом действии [62].

Результатами других исследований показаны положительные эффекты как УВТ, так и инъекций гиалуроновой кислоты в уменьшении боли и улучшении функциональности коленного сустава, при этом УВТ была более эффективной в долгосрочной перспективе [63]. Важно отметить, что все исследования проводились с учётом рандомизации, включали достаточное количество пациентов и оценивали долгосрочные эффекты обоих методов лечения.

Помимо клинических признаков, проводилось сравнение эффективности на уровне клетки [64]. В исследовании отмечается, что гиалуроновая кислота, богатая тромбоцитами плазма и ЭУВТ помогают в регенерации и уменьшении дегенерации хондроцитов у пациентов с остеоартрозом коленного сустава II степени. Эти методы могут смягчить в том числе симптомы, отсрочить операцию по замене сустава и улучшить регенерацию хряща. Несмотря на это, точные механизмы, лежащие в основе эффективности этих методов, всё ещё обсуждаются. Исследование направлено на изучение внутриклеточных эффектов нехирургического лечения остеоартроза на хондроцитах, полученных от пациентов с тотальной тазобедренной заменой.

УВТ предотвращает дедифференциацию хондроцитов и увеличивает выраженность хондрогенных маркеров. УВТ и богатая тромбоцитами плазма снижают также экспрессию маркера старения и увеличивают пролиферацию и миграцию хондроцитов. Лечение гиалуроновой кислотой и УВТ может снизить воспалительные цитокины и повысить противовоспалительный цитокин IL-10. Комбинированная форма низкомолекулярной и высокомолекулярной гиалуроновой кислоты может играть роль и в регенерации хряща [64].

Гиалуроновая кислота, как и богатая тромбоцитами плазма, не проявили значимой эффективности в сохранении фенотипа хондроцитов и противодействии их дедифференциации, однако стимулировали пролиферацию и репаративные процессы, а также снижали воспаление [64].

Высокоинтенсивная лазерная терапия. УВТ и высокоинтенсивную лазерную терапию (ВИЛТ) сравнивали в нескольких исследованиях по лечению остеоартрита коленного сустава [65–67]. Результаты показали, что оба метода приводят к статистически значимому улучшению состояния суставов, однако ВИЛТ оказался более эффективным в снижении боли, улучшении физической функции и снижении инвалидности по сравнению с УВТ. Систематический обзор и метаанализ также подтверждают преимущество ВИЛТ в этих аспектах. Многоцентровые исследования подтверждают положительные результаты обоих методов, но также подчёркивают высокую эффективность ВИЛТ [68, 69]. Рекомендуется проведение дальнейших исследований для более полного понимания эффективности и сравнения этих методов лечения.

Таким образом, результаты доступных для анализа исследований указывают, что ВИЛТ в сравнении с УВТ проявляет обычно более высокую эффективность в снижении боли, улучшении физической функции и снижении инвалидности у пациентов с остеоартритом коленного сустава. Однако необходимо учитывать, что каждое исследование имеет свои особенности и ограничения, поэтому рекомендуется дальнейшее изучение вопроса для более полного понимания эффективности и сравнения этих методов лечения.

Хирургическое лечение. УВТ и хирургические методы лечения остеоартрита коленного сустава представляют собой два разных терапевтических подхода. Хирургическое лечение обычно рассматривается и применяется в случаях, когда консервативные методы не дают достаточного облегчения, и заболевание продвигается на поздние стадии [27]. Сравнение этих методов может быть несколько ограничено из-за разных критериев применения.

Хирургические методы лечения (артроскопия или полная замена коленного сустава) часто рассматриваются как последний терапевтический резерв при остеоартрите коленного сустава. Они могут быть эффективными в снятии боли, улучшении функциональности сустава и повышении качества жизни пациентов на поздних стадиях заболевания. Однако такие хирургические процедуры имеют свои риски и осложнения, в том числе требуют периода восстановления и реабилитации после операции [27]. УВТ, в отличие от оперативного подхода, является неинвазивным, безопасным, с низким риском побочных эффектов методом лечения, который применяется на более ранних стадиях остеоартрита коленного сустава. УВТ использует высокоинтенсивные ударные волны для стимуляции ремоделирования тканей, снижения боли и улучшения функциональности сустава [64]. Тем не менее эффективность УВТ может быть ограничена на поздних стадиях заболевания, когда уже наблюдается серьёзное повреждение сустава.

Важно отметить рекомендацию к дальнейшим исследованиям УВТ, несмотря на положительные результаты, для уточнения оптимальных параметров применения метода и более полного понимания долгосрочных эффектов, особенно в сравнении с ВИЛТ, продемонстрировавшей превосходные результаты в некоторых аспектах.

Таким образом, хирургическое лечение остаётся важным вариантом для продвинутых стадий остеоартрита, однако раннее вмешательство с использованием УВТ может значительно улучшить качество жизни пациентов, минимизируя болевые ощущения и улучшая подвижность, снижая тем самым необходимость в более инвазивных процедурах.

Рекомендации по применению ударно-волновой терапии при гонартрозе I–II степени

УВТ является одним из современных методов лечения гонартроза, который демонстрирует обнадеживающие результаты в снижении боли, улучшении подвижности суставов и, соответственно, качества жизни пациентов. Однако для достижения оптимальных эффектов лечения необходимо правильно применять УВТ с учётом определённых параметров. В данном разделе будут представлены данные о дозировке, длительности и частоте процедур УВТ с учётом результатов последних исследований и рекомендаций авторов. Это поможет врачам и пациентам более эффективно использовать УВТ в лечении гонартроза I–II степени, достигая наилучших результатов и улучшая жизнь пациентов [1, 70, 71].

Дозировка УВТ. Рекомендуется использование средних до высоких энергий для достижения оптимальных результатов. Различные исследования указывают на применение от 1000 до 4000 ударов на сеанс в зависимости от специфических требований пациента и характеристик области лечения. Эти диапазоны дозировок представляют собой средние значения, которые были использованы в определённых исследованиях. Тем не менее точные

параметры лечения УВТ могут отличаться в зависимости от протоколов исследования, рекомендаций врачей и индивидуальных особенностей пациента. Именно поэтому рекомендуется проводить консультацию с врачом, который определит наиболее подходящую дозировку УВТ для конкретного случая гонартроза I–II степени.

Длительность процедуры. Рекомендуемая длительность сеанса УВТ составляет около 10–15 минут в зависимости от размера области лечения. Длительность процедуры может быть изменена в зависимости от реакции пациента и индивидуальных особенностей.

Частота процедур. Рекомендуется проведение сеансов УВТ один раз в неделю. Обычно рекомендуется проводить серию из 3–6 сеансов в зависимости от тяжести заболевания и ответа на лечение.

Авторы отмечают, что выбор параметров лечения УВТ должен основываться на индивидуальных особенностях пациента, степени заболевания, характеристиках области лечения и рекомендациях опытного специалиста.

ОБСУЖДЕНИЕ

УВТ представляет собой инновационный метод лечения остеоартроза, демонстрирующий значительную эффективность и безопасность в ряде клинических исследований. Согласно многочисленным публикациям, УВТ показывает статистически значимое преимущество в снижении боли и улучшении функциональности по сравнению с плацебо, кортикостероидами, гиалуроновой кислотой и другими консервативными методами, включая медикаментозное лечение и ультразвук.

УВТ по сравнению с кинезитерапией обеспечивает статистически значимое улучшение функциональной реабилитации, однако по сравнению с тромбоцитарной плазмой — показывает лучшие результаты только в снижении боли, не демонстрируя значительного функционального улучшения. Эти данные подчёркивают важность выбора метода лечения на основе специфических клинических потребностей пациента.

Безопасность применения УВТ подчёркивает отсутствие в исследованиях серьёзных побочных эффектов, однако стоит учитывать некоторые методологические недостатки, в частности ограниченное количество сравнительных исследований, что делает трудным проведение подгруппового анализа и анализа чувствительности. К тому же в большинстве исследований ограничивались краткосрочным наблюдением, что затрудняет оценку долгосрочных эффектов УВТ.

Эффективность УВТ может быть связана с её способностью регулировать факторы роста, стимулировать ангиогенез, остеогенез и хондрогенез, а также улучшать метаболизм клеток. Эти механизмы предполагают потенциальную пользу УВТ в долгосрочной перспективе, однако для более точного понимания этих процессов требуются многоцентровые исследования с более продолжительным периодом наблюдения и большими выборками.

В нескольких исследованиях [65–67] было показано, что ВИЛТ может быть более эффективной по сравнению с УВТ в аспектах снижения боли, улучшения физической функции и снижения степени инвалидности у пациентов. Эти исследования предполагают, что ВИЛТ может оказывать более мощное противовоспалительное и анальгетическое действие, что делает её предпочтительным выбором для некоторых категорий пациентов, особенно тех, кто страдает от выраженного болевого синдрома и значительного снижения подвижности. Тем не менее при сравнении этих двух методов необходимо учитывать не только их непосредственную эффективность, но и такие факторы, как доступность оборудования, стоимость процедур, возможность регулярного применения без риска для здоровья и комфорта пациентов. Хотя ВИЛТ показывает высокие результаты в короткие сроки, УВТ может представлять собой более доступный и экономически выгодный вариант в клинических условиях, особенно в рамках долгосрочной терапии.

Критически важно также рассмотреть долгосрочные эффекты обоих способов лечения. В то время как краткосрочные результаты могут фаворизировать ВИЛТ, долгосрочные исходы и побочные эффекты, связанные с каждым из методов, должны быть тщательно изучены в рамках продолжительных клинических испытаний.

Рассмотрение хирургического лечения также является важным аспектом обсуждения в контексте применения УВТ и ВИЛТ при лечении остеоартроза. Хирургическое лечение, включая артроскопию и полную замену сустава, часто рассматривается как последняя мера для пациентов, у которых консервативные методы не принесли значительного облегчения. Операции эффективны в снижении боли и улучшении функциональности у пациентов на поздних стадиях заболевания, однако сопряжены с рисками, осложнениями и необходимостью длительного восстановления. Хирургическое лечение может не подходить для пожилых пациентов или пациентов с сопутствующими заболеваниями, что делает методы УВТ и ВИЛТ особенно ценными. Они предлагают меньшую инвазивность и сниженные риски по сравнению с оперативным вмешательством, делая их предпочтительными для начальных и средних стадий остеоартроза.

УВТ и ВИЛТ можно использовать также в качестве дополнительных мер, отсрочивая необходимость хирургического вмешательства и улучшая качество жизни пациентов. Методики УВТ и ВИЛТ способствуют регенерации тканей, снижают воспаление и улучшают мобильность без серьёзных побочных эффектов, что делает их особенно привлекательными для широкого круга пациентов.

Выбор между УВТ, ВИЛТ и хирургическим лечением должен базироваться на комплексной оценке состояния пациента, стадии заболевания и личных предпочтений. В то время как ВИЛТ показывает высокую эффективность в снижении боли и улучшении функциональности на короткие сроки, УВТ представляет собой эффективное и безопасное средство для долгосрочного лечения

и может служить отличной альтернативой или дополнением к хирургическим методам. Дальнейшие исследования и клинические испытания помогут уточнить роль этих методов в общем плане лечения остеоартроза, предоставляя врачам более широкие возможности для индивидуализации подходов к каждому конкретному пациенту.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа научных статей и клинических исследований детализированы и расширены выводы о применении УВТ в лечении гонартроза I–II степени. Гонартроз, особенно в развитых странах с высоким уровнем индустриализации и стареющим населением, продолжает оставаться значительной проблемой общественного здравоохранения. Факторы риска, такие как сидячий образ жизни, ожирение и недостаток физической активности, способствуют его распространению, что подчёркивает необходимость разработки эффективных и безопасных методов лечения.

УВТ показала значительные преимущества по сравнению с традиционными методами лечения, такими как внутрисуставные инъекции и фармакологические подходы. В исследованиях УВТ демонстрировала улучшение кровообращения, стимуляцию регенерации хрящевой ткани и снижение воспаления, что способствует снижению боли и улучшению подвижности суставов. Тем не менее сравнение с ВИЛТ показало большую эффективность последней в улучшении боли, физической функции и снижении инвалидности. Это открытие указывает на потенциал ВИЛТ как более предпочтительный метод лечения в определённых клинических случаях.

Дальнейшие исследования с большим объёмом данных необходимы для подтверждения результатов и определения наиболее эффективных и безопасных методов лечения остеоартрита коленного сустава. В частности, следует разработать долгосрочные исследования для сравнения УВТ и ВИЛТ, а также для оценки их воздействия в сочетании с консервативными и хирургическими методами лечения.

УВТ представляет собой перспективный и неинвазивный метод лечения гонартроза, который может значительно улучшить качество жизни пациентов, особенно в комбинации с другими методами лечения, однако для создания комплексных и индивидуальных стратегий лечения, учитывающих специфику каждого случая, требуются дальнейшие исследования и сравнительный анализ различных терапевтических подходов, включая ВИЛТ.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Поисково-аналитическая работа проведена на личные средства авторского коллектива.

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

Вклад авторов. Д.Б. Нурпеисов — сбор и анализ литературы по теме ударно-волновой терапии, разработка структуры статьи

и формулирование основных научных выводов; С.С. Эм — анализ методологических аспектов исследований, представленных в литературе, оформление разделов, посвященных обсуждению результатов и разработке рекомендаций для будущих исследований; Н.В. Куриленко — критический анализ исходных данных, окончательное редактирование текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. D.B. Nurpeisov — collection and analysis of literature related to the topic of shockwave therapy, development of the structure of the article and formulation of the main scientific conclusions; S.S. Em — analysis of methodological aspects of the research presented in the literature, design of sections devoted to the discussion of the results and development of recommendations for future research; N.V. Kurilenko — critical analysis of the original data, final editing of the text of the article. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang Y.F., Yang L.I., Shao-Wen C.H., Hao W.E. Dose-related effects of radial extracorporeal shock wave therapy for knee osteoarthritis: A randomized controlled trial // *J Rehabil Med*. 2021. Vol. 53, N 1. P. jrm00144. doi: 10.2340/16501977-2782
2. Li W., Pan Y., Yang Q., et al. Extracorporeal shockwave therapy for the treatment of knee osteoarthritis: A retrospective study // *Medicine*. 2018. Vol. 97, N 27. P. e11418. doi: 10.1097/MD.00000000000011418
3. Arden N.K., Perry T.A., Bannuru R.R., et al. Non-surgical management of knee osteoarthritis: Comparison of ESCO and OARSI 2019 guidelines // *Nat Rev Rheumatol*. 2021. Vol. 17, N 1. P. 59–66. EDN: QRHBOT doi: 10.1038/s41584-020-00523-9
4. Silva A.C., Almeida V.S., Veras P.M., et al. Effect of extracorporeal shock wave therapy on pain and function in patients with knee osteoarthritis: A systematic review with meta-analysis and grade recommendations // *Clin Rehabil*. 2022. Vol. 37, N 6. P. 760–773. EDN: KBXRIV doi: 10.1177/02692155221146086
5. Grazina R., Andrade R., Bastos R., et al. Clinical management in early OA // *Adv Exp Med Biol*. 2018. N 1059. P. 111–135. doi: 10.1007/978-3-319-76735-2_5
6. Auersperg V., Trieb K. Extracorporeal shock wave therapy: An update // *EFORT Open Rev*. 2020. Vol. 5, N 10. P. 584–592. doi: 10.1302/2058-5241.5.190067
7. Wang C.J. Extracorporeal shockwave therapy in musculoskeletal disorders // *J Orthop Surg Res*. 2019. N 7. P. 11. EDN: QULFTK doi: 10.1186/1749-799X-7-11
8. Fu M., Zhou H., Li Y., et al. Global, regional, and national burdens of hip osteoarthritis from 1990 to 2019: Estimates from the 2019 Global Burden of Disease Study // *Arthritis Res Ther*. 2022. Vol. 24, N 1. P. 8. EDN: TIOWEE doi: 10.1186/s13075-021-02705-6
9. Hawker G.A., King L.K. The burden of osteoarthritis in older adults // *Clin Geriatr Med*. 2022. Vol. 38, N 2. P. 181–192. EDN: AQFNCE doi: 10.1016/j.cger.2021.11.005
10. Ochiai N., Ohtori S., Sasho T., et al. Extracorporeal shock wave therapy improves motor dysfunction and pain originating from knee osteoarthritis in rats // *Osteoarthr Cartil*. 2019. Vol. 15, N 9. P. 1093–1096. doi: 10.1016/j.joca.2007.03.011
11. Spitaels D., Mamouris P., Vaes B., et al. Epidemiology of knee osteoarthritis in general practice: A registry-based study // *BMJ Open*. 2020. Vol. 10, N 1. P. e031734. EDN: OJAIES doi: 10.1136/bmjopen-2019-031734
12. Li D., Li S., Chen Q., et al. The prevalence of symptomatic knee osteoarthritis in relation to age, sex, area, region, and body mass index in China: A systematic review and meta-analysis // *Front Med*. 2020. N 7. P. 304. doi: 10.3389/fmed.2020.00304
13. Sulaiman S. Understanding chronic pain among people with knee osteoarthritis // *Int J Care Scholars*. 2021. Vol. 4, N 2. P. 93–94. doi: 10.31436/ijcs.v4i2.195
14. Allen K.D., Thoma L.M., Golightly Y.M. Epidemiology of osteoarthritis // *Osteoarthr Cartil*. 2022. Vol. 30, N 2. P. 184–195. EDN: LHSUHZ doi: 10.1016/j.joca.2021.04.020
15. Xia Y., Wu Q., Wang H., et al. Global, regional and national burden of gout, 1990–2017: A systematic analysis of the Global Burden of Disease Study // *Rheumatology*. 2019. Vol. 59, N 7. P. 1529–1538. EDN: LECNXH doi: 10.1093/rheumatology/kez476
16. Abbott A., Gustafsson K., Zhou C., et al. Analgesic prescriptions received by patients before commencing the BOA model of care for osteoarthritis: A Swedish national registry study with matched reference and clinical guideline benchmarking // *Acta Orthop*. 2021. N 93. P. 51–58. EDN: UQOLIO doi: 10.1080/17453674.2021.1992932
17. Yoshimura N., Muraki S., Iidaka T., et al. Prevalence and co-existence of locomotive syndrome, sarcopenia, and frailty: The third survey of Research on Osteoarthritis/Osteoporosis Against Disability (ROAD) study // *J Bone Miner Metab*. 2019. Vol. 37, N 6. P. 1058–1066. EDN: WDJOWS doi: 10.1007/s00774-019-01012-0
18. Al Saleh J., Almoallim H., Elzorkany B., et al. Assessing the burden of osteoarthritis in africa and the middle east: A rapid evidence assessment // *Open Access Rheumatol*. 2023. N 15. P. 23–32. EDN: XMBDYM doi: 10.2147/OARRR.S390778
19. Chou W.Y., Cheng J.H., Wang C.J., et al. Shockwave targeting on subchondral bone is more suitable than articular cartilage for knee osteoarthritis // *Int J Med Sci*. 2019. Vol. 16, N 1. P. 156–166. doi: 10.7150/ijms.26659
20. Gao Y., Du L., Cai J., et al. Effects of functional limitations and activities of daily living on the mortality of the older people: A cohort study in China // *Front Public Health*. 2022. N 10. P. 1098794. EDN: ISPRLW doi: 10.3389/fpubh.2022.1098794

21. Liao C.D., Chen H.C., Huang M.H., et al. Comparative efficacy of intra-articular injection, physical therapy, and combined treatments on pain, function, and sarcopenia indices in knee osteoarthritis: A network meta-analysis of randomized controlled trials // *Int J Mol Sci.* 2023. Vol. 24, N 7. P. 6078. doi: 10.3390/ijms24076078
22. Noor N.A., Nurul A.A., Zain MR, et al. Extracellular vesicles from mesenchymal stem cells as potential treatments for osteoarthritis // *Cells.* 2021. Vol. 10, N 6. P. 1287. EDN: UJEAGO doi: 10.3390/cells10061287
23. Olsson S., Akbarian E., Lind A., et al. Automating classification of osteoarthritis according to Kellgren-Lawrence in the knee using deep learning in an unfiltered adult population // *BMC Musculoskelet Disord.* 2021. Vol. 22, N 1. P. 844. EDN: RDZZSH doi: 10.1186/s12891-021-04722-7
24. Martins M., Araújo R., Pinheiro R., et al. Beyond gonarthrosis in the elderly: A case report of subchondral insufficiency fracture of the knee // *Cureus.* 2023. Vol. 15, N 1. P. e34366. EDN: PMUTJW doi: 10.7759/cureus.34366
25. Atukorala I., Hunter D.J. A review of quality-of-life in elderly osteoarthritis // *Expert Rev Pharmacoecon Outcomes Res.* 2023. Vol. 23, N 4. P. 365–381. EDN: OEBSXV doi: 10.1080/14737167.2023.2181791
26. Messina O.D., Wilman V.M., Neira L.F. Nutrition, osteoarthritis and cartilage metabolism // *Aging Clin Exp Res.* 2019. Vol. 31, N 6. P. 807–813. EDN: XLXZMU doi: 10.1007/s40520-019-01191-w
27. Anil U., Markus D.H., Hurley E.T., et al. The efficacy of intra-articular injections in the treatment of knee osteoarthritis: A network meta-analysis of randomized controlled trials // *The Knee.* 2021. N 32. P. 173–182. EDN: METTTN doi: 10.1016/j.knee.2021.08.008
28. Tognolo L., Maccarone M.C., de Trane S., et al. Therapeutic exercise and conservative injection treatment for early knee osteoarthritis in athletes: A scoping review // *Medicina.* 2022. Vol. 58, N 1. P. 69. EDN: KHPFWV doi: 10.3390/medicina58010069
29. Alexander L.A., Denisov L.N., Zotkin E.G., et al. Pharmacological management of osteoarthritis with a focus on symptomatic slow-acting drugs: Recommendations from leading Russian experts // *J Clin Rheumatol.* 2021. Vol. 27, N 8. P. e533–e539. EDN: EIFVLN doi: 10.1097/RHU.0000000000001507
30. Quicke J.G., Holden M.A., Bennell K.L., et al. Where to from here? Is there a role for physical therapists in enacting evidence-based guidelines for weight loss in adults with osteoarthritis who are overweight? // *Physical Therapy.* 2020. Vol. 100, N 1. P. 3–7. doi: 10.1093/ptj/pzz135
31. Peng H., Ou A., Huang X., et al. Osteotomy around the knee: The surgical treatment of osteoarthritis // *Orthop Surg.* 2021. Vol. 13, N 5. P. 1465–1473. doi: 10.1111/os.13021
32. Atar S., Demirhan E., Cabuk H., et al. Comparison of pain, muscle strength, and functional status following unicompartmental knee arthroplasty, Total knee arthroplasty, and conservative management of gonarthrosis // *Indian J Orthop.* 2022. Vol. 56, N 3. P. 464–472. EDN: BMJHGL doi: 10.1007/s43465-021-00549-5
33. Han S.B., Seo I.W., Shin Y.S. Intra-articular injections of hyaluronic acid or steroids associated with better outcomes than platelet-rich plasma, adipose mesenchymal stromal cells, or placebo in knee osteoarthritis: A network meta-analysis // *Arthroscopy.* 2021. Vol. 37, N 1. P. 292–306. doi: 10.1016/j.arthro.2020.03.041
34. Sargin S., Guler N.Ş., Sahin N., Aslan A. Effects of total knee arthroplasty on balance and fall risk in elderly patients with severe gonarthrosis: An age-and sex-matched comparative study // *Niger J Clin Pract.* 2022. Vol. 25, N 9. P. 1445–1451. EDN: NSJWZI doi: 10.4103/njcp.njcp_1856_21
35. Notarnicola A., Moretti L., Baglioni M., et al. Efficacy of shock waves combined with adjuvant therapy with tendon supplement in the treatment of plantar fasciitis: A prospective randomized study // *J Food Nutr Res.* 2021. Vol. 9, N 3. P. 148–153. doi: 10.12691/jfmr-9-3-7
36. An S., Li J., Xie W., et al. Extracorporeal shockwave treatment in knee osteoarthritis: Therapeutic effects and possible mechanism // *Biosci Rep.* 2020. Vol. 40, N 11. P. BSR20200926. doi: 10.1042/BSR20200926
37. Sokolakis I., Dimitriadis F., Teo P., et al. The basic science behind low-intensity extracorporeal shockwave therapy for erectile dysfunction: A systematic scoping review of pre-clinical studies // *J Sex Med.* 2019. Vol. 16, N 2. P. 168–194. doi: 10.1016/j.jsxm.2018.12.016
38. Xu D., Jiang W., Huang D., et al. Comparison between extracorporeal shock wave therapy and local corticosteroid injection for plantar fasciitis // *Foot Ankle Int.* 2020. Vol. 41, N 2. P. 200–205. doi: 10.1177/1071100719891111
39. Ma H., Zhang W., Shi J., et al. The efficacy and safety of extracorporeal shockwave therapy in knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis // *Int J Surg.* 2020. N 75. P. 24–34. doi: 10.1016/j.ijsu.2020.01.017
40. Zhao Z., Li J., Bai X., et al. Microfracture augmentation with direct in situ radial shockwave stimulation with appropriate energy has comparable repair performance with tissue engineering in the porcine osteochondral defect model // *Am J Sports Med.* 2022. Vol. 50, N 13. P. 3660–3670. EDN: KZKWKV doi: 10.1177/03635465221125936
41. Jhan S.W., Wang C.J., Wu K.T., et al. Comparison of extracorporeal shockwave therapy with non-steroid anti-inflammatory drugs and intra-articular hyaluronic acid injection for early osteoarthritis of the knees // *Biomedicine.* 2022. Vol. 10, N 2. P. 202. EDN: KVJMV0 doi: 10.3390/biomedicine10020202
42. Aguilera-Saez J., Munoz P., Serracanta J., et al. Extracorporeal shock wave therapy role in the treatment of burn patients: A systematic literature review // *Burns.* 2020. Vol. 46, N 7. P. 1525–1532. doi: 10.1016/j.burns.2019.07.023
43. Ho K.D., Yang C.L., Lo H.Y., et al. Extracorporeal shockwave therapy with a modified technique on tendon and ligament for knee osteoarthritis: A randomized controlled trial // *Am J Phys Med Rehabil.* 2022. Vol. 101, N 1. P. 11–17. doi: 10.1097/PHM.0000000000001730
44. Cheng J.H., Wang C.J. Biological mechanism of shockwave in bone // *Int J Surg.* 2015. Vol. 24, Pt. B. P. 143–146. doi: 10.1016/j.ijsu.2015.06.059
45. Moya D., Ramón S., Schaden W., et al. The role of extracorporeal shockwave treatment in musculoskeletal disorders // *JBJs.* 2018. Vol. 100, N 3. P. 251–263. doi: 10.2106/JBJs.17.00661
46. Holfeld J., Tepeköylü C., Kozaryn R., et al. Shockwave therapy differentially stimulates endothelial cells: Implications on the control of inflammation via toll-like receptor 3 // *Inflammation.* 2014. Vol. 37, N 1. P. 65–70. EDN: FSAVLD doi: 10.1007/s10753-013-9712-1
47. Chang C.N., Ko N.Y., Hu Y.N., et al. Extracorporeal shock wave therapy in the treatment of knee osteoarthritis: A review of mechanism of action and clinical efficacy // *Int J Gerontol.* 2020. Vol. 14, N 3. P. 154–158. doi: 10.6890/IJGE.202008_14(3).0001
48. Poenaru D., Sandulescu M.I., Cinteza D. Biological effects of extracorporeal shockwave therapy in tendons: A systematic

review // *Biomed Rep.* 2023. Vol. 18, N 2. P. 15. EDN: SUOQHA doi: 10.3892/br.2022.1597

49. Cheng J.H., Jhan S.W., Hsu C.C., et al. Extracorporeal shockwave therapy modulates the expressions of proinflammatory cytokines IL33 and IL17A, and their receptors ST2 and IL17RA, within the articular cartilage in early avascular necrosis of the femoral head in a rat model // *Mediators Inflamm.* 2021. Vol. 2021. P. 9915877. doi: 10.1155/2021/9915877

50. Zhao W., Gao Y., Zhang S., et al. Extracorporeal shock wave therapy for bone marrow edema syndrome in patients with osteonecrosis of the femoral head: A retrospective cohort study // *J Orthop Surg Res.* 2021. Vol. 16, N 1. P. 21. EDN: CESZUH doi: 10.1186/s13018-020-02159-7

51. Fan Y., Feng Z., Cao J., et al. Efficacy of extracorporeal shock wave therapy for achilles tendinopathy: A meta-analysis // *Orthop J Sports Med.* 2020. Vol. 8, N 2. P. 2325967120903430. doi: 10.1177/2325967120903430

52. Ma H., Zhang W., Shi J., et al. The efficacy and safety of extracorporeal shockwave therapy in knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis // *Int J Surg.* 2020. N 75. P. 24–34. doi: 10.1016/j.ijsu.2020.01.017

53. Ashmwe M., Posa K., Rührnößl A., et al. Effects of extracorporeal shockwave therapy on functional recovery and circulating miR-375 and miR-382-5p after subacute and chronic spinal cord contusion injury in rats // *Biomedicines.* 2022. Vol. 10, N 7. P. 1630. EDN: BKJUER doi: 10.3390/biomedicines10071630

54. Paterson K.L., Gates L. Clinical assessment and management of foot and ankle osteoarthritis: A review of current evidence and focus on pharmacological treatment // *Drugs Aging.* 2019. Vol. 36. P. 203–211. EDN: BSIQDO doi: 10.1007/s40266-019-00639-y

55. Abbott J.H., Wilson R., Pinto D., et al. Incremental clinical effectiveness and cost effectiveness of providing supervised physiotherapy in addition to usual medical care in patients with osteoarthritis of the hip or knee: 2-year results of the MOA randomised controlled trial // *Osteoarthritis Cartilage.* 2019. Vol. 27, N 3. P. 424–434. doi: 10.1016/j.joca.2018.12.004

56. Migliorini F., Driessen A., Quack V., et al. Comparison between intra-articular infiltrations of placebo, steroids, hyaluronic and PRP for knee osteoarthritis: A Bayesian network meta-analysis // *Arch Orthop Trauma Surg.* 2021. Vol. 141, N 9. P. 1473–1490. EDN: LOWMTH doi: 10.1007/s00402-020-03551-y

57. Rodríguez-Merchán E.C. Intraarticular injections of mesenchymal stem cells in knee osteoarthritis: A review of their current molecular mechanisms of action and their efficacy // *Int J Mol Sci.* 2022. Vol. 23, N 23. P. 14953. EDN: UUSXOP doi: 10.3390/ijms232314953

58. Ko N.Y., Chang C.N., Cheng C.H., et al. Comparative effectiveness of focused extracorporeal versus radial extracorporeal shockwave therapy for knee osteoarthritis: Randomized controlled study // *Int J Environ Res Public Health.* 2022. Vol. 19, N 15. P. 9001. EDN: FMBUDA doi: 10.3390/ijerph19159001

59. Elgendy M.H., Elsamahy S.A., Mostafa M.S., et al. Efficacy of shockwave therapy versus intra-articular platelet-rich plasma injection in management of knee osteoarthritis: A randomized controlled trial // *Int J Pharm Res.* 2020. Vol. 12, N 4. P. 4283–4289. doi: 10.31838/ijpr/2020.12.04.589

60. Bernardo-Filho M., Sañudo B., Seixas A., et al. Integrated role of nonpharmacological interventions for rehabilitation of individuals with musculoskeletal disorders // *BioMed Res Int.* 2020. Vol. 2020. P. 9493623. doi: 10.1155/2020/9493623

61. Ishijima M., Nakamura T., Shimizu K., et al. Intra-articular hyaluronic acid injection versus oral non-steroidal anti-inflammatory drug for the treatment of knee osteoarthritis: A multi-center, randomized, open-label, non-inferiority trial // *Arthritis Res Ther.* 2014. Vol. 16, N 1. P. R18. EDN: TRIYTV doi: 10.1186/ar4446

62. Lee J.K., Lee B.Y., Shin W.Y., et al. Effect of extracorporeal shockwave therapy versus intra-articular injections of hyaluronic acid for the treatment of knee osteoarthritis // *Ann Rehabil Med.* 2017. Vol. 41, N 5. P. 828–835. doi: 10.5535/arm.2017.41.5.828

63. Vetrano M., Ranieri D., Nanni M., et al. Hyaluronic acid (HA), platelet-rich plasma and extracorporeal shock wave therapy (ESWT) promote human chondrocyte regeneration in vitro and ESWT-mediated increase of CD44 expression enhances their susceptibility to HA treatment // *PLoS One.* 2019. Vol. 14, N 6. P. e0218740. doi: 10.1371/journal.pone.0218740

64. Li T., Ma J., Zhao T., et al. Application and efficacy of extracorporeal shockwave treatment for knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis // *Exp Ther Med.* 2019. Vol. 18, N 4. P. 2843–2850. doi: 10.3892/etm.2019.7897

65. Karaca İ., Gül H., Erel S. Comparison of extracorporeal shock wave therapy and high-intensity laser therapy on pain, grip strength, and function in patients with lateral epicondylalgia: A randomized controlled study // *Lasers Med Sci.* 2022. Vol. 37, N 8. P. 3309–3317. EDN: FMDDOI doi: 10.1007/s10103-022-03631-y

66. Thammajaree C., Theapthong M., Palee P., et al. Effects of radial extracorporeal shockwave therapy versus high intensity laser therapy in individuals with plantar fasciitis: A randomised clinical trial // *Lasers Med Sci.* 2023. Vol. 38, N 1. P. 127. EDN: TMSUHV doi: 10.1007/s10103-023-03791-5

67. ElMeligie M.M., Gbreel M.I., Yehia R.M., et al. Clinical efficacy of high-intensity laser therapy on lateral epicondylitis patients: A systematic review and meta-analysis // *Am J Phys Med Rehabil.* 2023. Vol. 102, N 1. P. 64–70. doi: 10.1097/PHM.0000000000002039

68. Lian J., Mohamadi A., Chan J.J., et al. Comparative efficacy and safety of nonsurgical treatment options for enthesopathy of the extensor carpi radialis brevis: A systematic review and meta-analysis of randomized placebo-controlled trials // *Am J Sports Med.* 2019. Vol. 47, N 12. P. 3019–3029. EDN: OUSCBU doi: 10.1177/0363546518801914

69. Xu D., Ma W., Jiang W., et al. A randomized controlled trial: Comparing extracorporeal shock wave therapy versus local corticosteroid injection for the treatment of carpal tunnel syndrome // *Int Orthop.* 2020. Vol. 44, N 1. P. 141–146. EDN: RGSHBX doi: 10.1007/s00264-019-04432-9

70. Zhao Z., Jing R., Shi Z., et al. Efficacy of extracorporeal shockwave therapy for knee osteoarthritis: A randomized controlled trial // *J Surg Res.* 2013. Vol. 185, N 2. P. 661–666. doi: 10.1016/j.jss.2013.07.004

71. Liao C.D., Tsao J.Y., Liou T.H., et al. Clinical efficacy of extracorporeal shockwave therapy for knee osteoarthritis: A systematic review and meta-regression of randomized controlled trials // *Clin Rehabil.* 2019. Vol. 33, N 9. P. 1419–1430. doi: 10.1177/0269215519846942

REFERENCES

1. Zhang YF, Yang LI, Shao-Wen CH, Hao WE. Dose-related effects of radial extracorporeal shock wave therapy for knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. *J Rehabil Med*. 2021;53(1):jrm00144. doi: 10.2340/16501977-2782
2. Li W, Pan Y, Yang Q, et al. Extracorporeal shockwave therapy for the treatment of knee osteoarthritis: A retrospective study. *Medicine*. 2018;97(27):e11418. doi: 10.1097/MD.00000000000011418
3. Arden NK, Perry TA, Bannuru RR, et al. Non-surgical management of knee osteoarthritis: Comparison of ESCEO and OARS1 2019 guidelines. *Nat Rev Rheumatol*. 2021;17(1):59–66. EDN: QRHBOT doi: 10.1038/s41584-020-00523-9
4. Silva AC, Almeida VS, Veras PM, et al. Effect of extracorporeal shock wave therapy on pain and function in patients with knee osteoarthritis: A systematic review with meta-analysis and grade recommendations. *Clin Rehabil*. 2022;37(6):760–773. EDN: KBXRIV doi: 10.1177/02692155221146086
5. Grazina R, Andrade R, Bastos R, et al. Clinical management in early OA. *Adv Exp Med Biol*. 2018;(1059):111–135. doi: 10.1007/978-3-319-76735-2_5
6. Auersperg V, Trieb K. Extracorporeal shock wave therapy: An update. *EFORT Open Rev*. 2020;5(10):584–592. doi: 10.1302/2058-5241.5.190067
7. Wang CJ. Extracorporeal shockwave therapy in musculoskeletal disorders. *J Orthop Surg Res*. 2019;(7):11. EDN: QULFTK doi: 10.1186/1749-799X-7-11
8. Fu M, Zhou H, Li Y, et al. Global, regional, and national burdens of hip osteoarthritis from 1990 to 2019: Estimates from the 2019 Global Burden of Disease Study. *Arthritis Res Ther*. 2022;24(1):8. EDN: TIOWEE doi: 10.1186/s13075-021-02705-6
9. Hawker GA, King LK. The burden of osteoarthritis in older adults. *Clin Geriatr Med*. 2022;38(2):181–192. EDN: AQFNCE doi: 10.1016/j.cger.2021.11.005
10. Ochiai N, Ohtori S, Sasho T, et al. Extracorporeal shock wave therapy improves motor dysfunction and pain originating from knee osteoarthritis in rats. *Osteoarthr Cartil*. 2019;15(9):1093–1096. doi: 10.1016/j.joca.2007.03.011
11. Spitaels D, Mamouris P, Vaes B, et al. Epidemiology of knee osteoarthritis in general practice: A registry-based study. *BMJ Open*. 2020;10(1):e031734. EDN: OJAIES doi: 10.1136/bmjopen-2019-031734
12. Li D, Li S, Chen Q, et al. The prevalence of symptomatic knee osteoarthritis in relation to age, sex, area, region, and body mass index in China: A systematic review and meta-analysis. *Front Med*. 2020;(7):304. doi: 10.3389/fmed.2020.00304
13. Sulaiman S. Understanding chronic pain among people with knee osteoarthritis. *Int J Care Scholars*. 2021;4(2):93–94. doi: 10.31436/ijcs.v4i2.195
14. Allen KD, Thoma LM, Golightly YM. Epidemiology of osteoarthritis. *Osteoarthr Cartil*. 2022;30(2):184–195. EDN: LSHSUZ doi: 10.1016/j.joca.2021.04.020
15. Xia Y, Wu Q, Wang H, et al. Global, regional and national burden of gout, 1990–2017: A systematic analysis of the Global Burden of Disease Study. *Rheumatology*. 2019;59(7):1529–1538. EDN: LECNXH doi: 10.1093/rheumatology/kez476
16. Abbott A, Gustafsson K, Zhou C, et al. Analgesic prescriptions received by patients before commencing the BOA model of care for osteoarthritis: A Swedish national registry study with matched reference and clinical guideline benchmarking. *Acta Orthop*. 2022;(93):51–58. EDN: UQOLIO doi: 10.1080/17453674.2021.1992932
17. Yoshimura N, Muraki S, Iidaka T, et al. Prevalence and co-existence of locomotive syndrome, sarcopenia, and frailty: The third survey of Research on Osteoarthritis/Osteoporosis Against Disability (ROAD) study. *J Bone Miner Metab*. 2019;37(6):1058–1066. EDN: WDJOWS doi: 10.1007/s00774-019-01012-0
18. Al Saleh J, Almoallim H, Elzorkany B, et al. Assessing the burden of osteoarthritis in africa and the middle east: A rapid evidence assessment. *Open Access Rheumatol*. 2023;(15):23–32. EDN: XMBDYM doi: 10.2147/OARRR.S390778
19. Chou WY, Cheng JH, Wang CJ, et al. Shockwave targeting on subchondral bone is more suitable than articular cartilage for knee osteoarthritis. *Int J Med Sci*. 2019;16(1):156–166. doi: 10.7150/ijms.26659
20. Gao Y, Du L, Cai J, et al. Effects of functional limitations and activities of daily living on the mortality of the older people: A cohort study in China. *Front Public Health*. 2022;(10):1098794. EDN: ISPRLW doi: 10.3389/fpubh.2022.1098794
21. Liao CD, Chen HC, Huang MH, et al. Comparative efficacy of intra-articular injection, physical therapy, and combined treatments on pain, function, and sarcopenia indices in knee osteoarthritis: A network meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Mol Sci*. 2023;24(7):6078. doi: 10.3390/ijms24076078
22. Noor NA, Nurul AA, Zain MR, et al. Extracellular vesicles from mesenchymal stem cells as potential treatments for osteoarthritis. *Cells*. 2021;10(6):1287. EDN: UJEAGO doi: 10.3390/cells10061287
23. Olsson S, Akbarian E, Lind A, et al. Automating classification of osteoarthritis according to Kellgren-Lawrence in the knee using deep learning in an unfiltered adult population. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):844. EDN: RDZZSH doi: 10.1186/s12891-021-04722-7
24. Martins M, Araújo R, Pinheiro R, et al. Beyond gonarthrosis in the elderly: A case report of subchondral insufficiency fracture of the knee. *Cureus*. 2023;15(1):e34366. EDN: PMUTJW doi: 10.7759/cureus.34366
25. Atukorala I, Hunter DJ. A review of quality-of-life in elderly osteoarthritis. *Expert Rev Pharmacoecon Outcomes Res*. 2023;23(4):365–381. EDN: OEBSXV doi: 10.1080/14737167.2023.2181791
26. Messina OD, Wilman VM, Neira LF. Nutrition, osteoarthritis and cartilage metabolism. *Aging Clin Exp Res*. 2019;31(6):807–813. EDN: XLXZMU doi: 10.1007/s40520-019-01191-w
27. Anil U, Markus DH, Hurley ET, et al. The efficacy of intra-articular injections in the treatment of knee osteoarthritis: A network meta-analysis of randomized controlled trials. *The Knee*. 2021;(32):173–182. EDN: METTTN doi: 10.1016/j.knee.2021.08.008
28. Tognolo L, Maccarone MC, de Trane S, et al. Therapeutic exercise and conservative injection treatment for early knee osteoarthritis in athletes: A scoping review. *Medicina*. 2022;58(1):69. EDN: KHPFWV doi: 10.3390/medicina58010069
29. Alexander LA, Denisov LN, Zotkin EG, et al. Pharmacological management of osteoarthritis with a focus on symptomatic slow-acting drugs: Recommendations from leading Russian experts. *J Clin Rheumatol*. 2021;27(8):e533–e539. EDN: EIFVLN doi: 10.1097/RHU.0000000000001507
30. Quicke JG, Holden MA, Bennell KL, et al. Where to from here? Is there a role for physical therapists in enacting evidence-based guidelines for weight loss in adults with osteoarthritis who are overweight? *Physical Therapy*. 2020;100(1):3–7. doi: 10.1093/ptj/pzz135

31. Peng H, Ou A, Huang X, et al. Osteotomy around the knee: The surgical treatment of osteoarthritis. *Orthop Surg.* 2021;13(5): 1465–1473. doi: 10.1111/os.13021
32. Atar S, Demirhan E, Cabuk H, et al. Comparison of pain, muscle strength, and functional status following unicompartmental knee arthroplasty, total knee arthroplasty, and conservative management of gonarthrosis. *Indian J Orthop.* 2022;56(3):464–472 EDN: BMJHGL doi: 10.1007/s43465-021-00549-5
33. Han SB, Seo IW, Shin YS. Intra-articular injections of hyaluronic acid or steroids associated with better outcomes than platelet-rich plasma, adipose mesenchymal stromal cells, or placebo in knee osteoarthritis: A network meta-analysis. *Arthroscopy.* 2021;37(1):292–306. doi: 10.1016/j.arthro.2020.03.041
34. Sargin S, Guler NŞ, Sahin N, Aslan A. Effects of total knee arthroplasty on balance and fall risk in elderly patients with severe gonarthrosis: An age-and sex-matched comparative study. *Niger J Clin Pract.* 2022;25(9):1445–1451. EDN: NSJWZI doi: 10.4103/njcp.njcp_1856_21
35. Notarnicola A, Moretti L, Baglioni M, et al. Efficacy of shock waves combined with adjuvant therapy with tendon supplement in the treatment of plantar fasciitis: A prospective randomized study. *J Food Nutr Res.* 2021;9(3):148–153. doi: 10.12691/jfmr-9-3-7
36. An S, Li J, Xie W, et al. Extracorporeal shockwave treatment in knee osteoarthritis: Therapeutic effects and possible mechanism. *Biosci Rep.* 2020;40(11):BSR20200926. doi: 10.1042/BSR20200926
37. Sokolakis I, Dimitriadis F, Teo P, et al. The basic science behind low-intensity extracorporeal shockwave therapy for erectile dysfunction: A systematic scoping review of pre-clinical studies. *J Sex Med.* 2019;16(2):168–194. doi: 10.1016/j.jsxm.2018.12.016
38. Xu D, Jiang W, Huang D, et al. Comparison between extracorporeal shock wave therapy and local corticosteroid injection for plantar fasciitis. *Foot Ankle Int.* 2020;41(2):200–205. doi: 10.1177/1071100719891111
39. Ma H, Zhang W, Shi J, et al. The efficacy and safety of extracorporeal shockwave therapy in knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Int J Surg.* 2020;(75):24–34. doi: 10.1016/j.ijsu.2020.01.017
40. Zhao Z, Li J, Bai X, et al. Microfracture augmentation with direct in situ radial shockwave stimulation with appropriate energy has comparable repair performance with tissue engineering in the porcine osteochondral defect model. *Am J Sports Med.* 2022;50(13): 3660–3670. EDN: KZKWKV doi: 10.1177/03635465221125936
41. Jhan SW, Wang CJ, Wu KT, et al. Comparison of extracorporeal shockwave therapy with non-steroid anti-inflammatory drugs and intra-articular hyaluronic acid injection for early osteoarthritis of the knees. *Biomedicines.* 2022;10(2):202. EDN: KVJMV0 doi: 10.3390/biomedicines10020202
42. Aguilera-Saez J, Munoz P, Serracanta J, et al. Extracorporeal shock wave therapy role in the treatment of burn patients: A systematic literature review. *Burns.* 2020;46(7):1525–1532. doi: 10.1016/j.burns.2019.07.023
43. Ho KD, Yang CL, Lo HY, et al. Extracorporeal shockwave therapy with a modified technique on tendon and ligament for knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. *Am J Phys Med Rehabil.* 2022;101(1):11–17. doi: 10.1097/PHM.0000000000001730
44. Cheng JH, Wang CJ. Biological mechanism of shockwave in bone. *Int J Surg.* 2015;24(Pt B):143–146. doi: 10.1016/j.ijsu.2015.06.059
45. Moya D, Ramón S, Schaden W, et al. The role of extracorporeal shockwave treatment in musculoskeletal disorders. *JBJS.* 2018;100(3):251–263. doi: 10.2106/JBJS.17.00661
46. Holfeld J, Tepeköylü C, Kozaryn R, et al. Shockwave therapy differentially stimulates endothelial cells: Implications on the control of inflammation via toll-like receptor 3. *Inflammation.* 2014;37(1): 65–70. EDN: FSAVLD doi: 10.1007/s10753-013-9712-1
47. Chang CN, Ko NY, Hu YN, et al. Extracorporeal shock wave therapy in the treatment of knee osteoarthritis: A review of mechanism of action and clinical efficacy. *Int J Gerontol.* 2020;14(3):154–158. doi: 10.6890/IJGE.202008_14(3).0001
48. Poenaru D, Sandulescu MI, Cinteza D. Biological effects of extracorporeal shockwave therapy in tendons: A systematic review. *Biomed Rep.* 2023;18(2):15. EDN: SUOQHA doi: 10.3892/br.2022.1597
49. Cheng JH, Jhan SW, Hsu CC, et al. Extracorporeal shockwave therapy modulates the expressions of proinflammatory cytokines IL33 and IL17A, and their receptors ST2 and IL17RA, within the articular cartilage in early avascular necrosis of the femoral head in a rat model. *Mediators Inflamm.* 2021;2021:9915877. doi: 10.1155/2021/9915877
50. Zhao W, Gao Y, Zhang S, et al. Extracorporeal shock wave therapy for bone marrow edema syndrome in patients with osteonecrosis of the femoral head: A retrospective cohort study. *J Orthop Surg Res.* 2021;16(1):21. EDN: CESZUH doi: 10.1186/s13018-020-02159-7
51. Fan Y, Feng Z, Cao J, et al. Efficacy of extracorporeal shock wave therapy for achilles tendinopathy: A meta-analysis. *Orthop J Sports Med.* 2020;8(2):2325967120903430. doi: 10.1177/2325967120903430
52. Ma H, Zhang W, Shi J, et al. The efficacy and safety of extracorporeal shockwave therapy in knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Int J Surg.* 2020;(75):24–34. doi: 10.1016/j.ijsu.2020.01.017
53. Ashmwe M, Posa K, Rührnößl A, et al. Effects of extracorporeal shockwave therapy on functional recovery and circulating miR-375 and miR-382-5p after subacute and chronic spinal cord contusion injury in rats. *Biomedicines.* 2022;10(7):1630. EDN: BKJUER doi: 10.3390/biomedicines10071630
54. Paterson KL, Gates L. Clinical assessment and management of foot and ankle osteoarthritis: A review of current evidence and focus on pharmacological treatment. *Drugs Aging.* 2019;36:203–211. EDN: BSIQDO doi: 10.1007/s40266-019-00639-y
55. Abbott JH, Wilson R, Pinto D, et al. Incremental clinical effectiveness and cost effectiveness of providing supervised physiotherapy in addition to usual medical care in patients with osteoarthritis of the hip or knee: 2-year results of the MOA randomised controlled trial. *Osteoarthritis Cartilage.* 2019;27(3): 424–434. doi: 10.1016/j.joca.2018.12.004
56. Migliorini F, Driessen A, Quack V, et al. Comparison between intra-articular infiltrations of placebo, steroids, hyaluronic and PRP for knee osteoarthritis: A bayesian network meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2021;141(9):1473–1490. EDN: LOWMTH doi: 10.1007/s00402-020-03551-y
57. Rodríguez-Merchán EC. Intraarticular injections of mesenchymal stem cells in knee osteoarthritis: A review of their current molecular mechanisms of action and their efficacy. *Int J Mol Sci.* 2022;23(23):14953. EDN: UUSXOP doi: 10.3390/ijms232314953
58. Ko NY, Chang CN, Cheng CH, et al. Comparative effectiveness of focused extracorporeal versus radial extracorporeal shockwave

therapy for knee osteoarthritis: Randomized controlled study. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(15):9001. EDN: FMBUDA doi: 10.3390/ijerph19159001

59. Elgendy MH, Elsamahy SA, Mostafa MS, et al. Efficacy of shockwave therapy versus intra-articular platelet-rich plasma injection in management of knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. *Int J Pharm Res*. 2020;12(4):4283–4289. doi: 10.31838/ijpr/2020.12.04.589

60. Bernardo-Filho M, Sañudo B, Seixas A, et al. Integrated role of nonpharmacological interventions for rehabilitation of individuals with musculoskeletal disorders. *BioMed Res Int*. 2020;2020:9493623. doi: 10.1155/2020/9493623

61. Ishijima M, Nakamura T, Shimizu K, et al. Intra-articular hyaluronic acid injection versus oral non-steroidal anti-inflammatory drug for the treatment of knee osteoarthritis: A multi-center, randomized, open-label, non-inferiority trial. *Arthritis Res Ther*. 2014;16(1):R18. EDN: TRIYTV doi: 10.1186/ar4446.

62. Lee JK, Lee BY, Shin WY, et al. Effect of extracorporeal shockwave therapy versus intra-articular injections of hyaluronic acid for the treatment of knee osteoarthritis. *Ann Rehabil Med*. 2017;41(5):828–835. doi: 10.5535/arm.2017.41.5.828

63. Vetrano M, Ranieri D, Nanni M, et al. Hyaluronic acid (HA), platelet-rich plasma and extracorporeal shock wave therapy (ESWT) promote human chondrocyte regeneration in vitro and ESWT-mediated increase of CD44 expression enhances their susceptibility to HA treatment. *PLoS One*. 2019;14(6):e0218740. doi: 10.1371/journal.pone.0218740

64. Li T, Ma J, Zhao T, et al. Application and efficacy of extracorporeal shockwave treatment for knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Exp Ther Med*. 2019;18(4):2843–2850. doi: 10.3892/etm.2019.7897

65. Karaca İ, Gül H, Erel S. Comparison of extracorporeal shock wave therapy and high-intensity laser therapy on pain, grip strength, and function in patients with lateral epicondylalgia: A randomized controlled study. *Lasers Med Sci*. 2022;37(8):3309–3317. EDN: FMDDOI doi: 10.1007/s10103-022-03631-y

66. Thammajaree C, Theapthong M, Palee P, et al. Effects of radial extracorporeal shockwave therapy versus high intensity laser therapy in individuals with plantar fasciitis: A randomised clinical trial. *Lasers Med Sci*. 2023;38(1):127. EDN: TMSSUH doi: 10.1007/s10103-023-03791-5

67. ElMeligie MM, Gbreel MI, Yehia RM, et al. Clinical efficacy of high-intensity laser therapy on lateral epicondylitis patients: A systematic review and meta-analysis. *Am J Phys Med Rehabil*. 2023;102(1):64–70. doi: 10.1097/PHM.0000000000002039

68. Lian J, Mohamadi A, Chan JJ, et al. Comparative efficacy and safety of nonsurgical treatment options for enthesopathy of the extensor carpi radialis brevis: A systematic review and meta-analysis of randomized placebo-controlled trials. *Am J Sports Med*. 2019;47(12):3019–3029. EDN: OUSCBU doi: 10.1177/0363546518801914

69. Xu D, Ma W, Jiang W, et al. A randomized controlled trial: Comparing extracorporeal shock wave therapy versus local corticosteroid injection for the treatment of carpal tunnel syndrome. *Int Orthop*. 2020;44(1):141–146. EDN: RGSBHX doi: 10.1007/s00264-019-04432-9

70. Zhao Z, Jing R, Shi Z, et al. Efficacy of extracorporeal shockwave therapy for knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. *J Surg Res*. 2013;185(2):661–666. doi: 10.1016/j.jss.2013.07.004

71. Liao CD, Tsao JY, Liou TH, et al. Clinical efficacy of extracorporeal shockwave therapy for knee osteoarthritis: A systematic review and meta-regression of randomized controlled trials. *Clin Rehabil*. 2019;33(9):1419–1430. doi: 10.1177/0269215519846942

ОБ АВТОРАХ

* **Нурпеисов Данияр Багдадович**, резидент-реабилитолог;
адрес: 100000, Республика Казахстан,
Караганда, ул. Гоголя, 40;
e-mail: nurpeisov707@mail.ru

Эм Сабина Сергеевна, резидент-реабилитолог;
e-mail: sse11@mail.ru

Куриленко Наталья Валерьевна, резидент-реабилитолог;
e-mail: kkvv@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Daniyar B. Nurpeisov**, MD, Resident Rehabilitologist;
address: 40 Gogol street, Karaganda,
100000, Republic of Kazakhstan;
e-mail: nurpeisov707@mail.ru

Sabina S. Em, MD, Resident Rehabilitologist;
e-mail: sse11@mail.ru

Natalya V. Kurilenko, MD, Resident Rehabilitologist;
e-mail: kkvv@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author