



ФНКЦ РР

ISSN 2658-6843

Том 2, № 4
ДЕКАБРЬ 2020

ФИЗИЧЕСКАЯ И РЕАБИЛИТАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА, МЕДИЦИНСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ

PHYSICAL AND REHABILITATION
MEDICINE, MEDICAL REHABILITATION

Официальное научное издание
специализированной медицинской прессы для врачей

Подписной индекс 71395

«ФИЗИЧЕСКАЯ И РЕАБИЛИТАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА, МЕДИЦИНСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ»

Том 2, № 4, 2020

Издается с 2019 г. Выходит раз в три месяца

**Учредитель и издатель:
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научно-клинический центр
реаниматологии и реабилитологии» (ФНКЦ РР)**

**При поддержке
Общероссийской общественной организации содействия развитию
медицинской реабилитологии «Союз реабилитологов России»**

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Регистрационный номер № ФС77-74092 от 19 октября 2018 г.

Ответственность за достоверность сведений, содержащихся в рекламных объявлениях, несут рекламодатели.

Все права данного издания защищены. Ни одна из частей журнала не может быть воспроизведена или передана ни в обычной форме, ни с помощью любых средств, включая электронные и механические, а также фотокопирование, без предварительного письменного разрешения его учредителей.

Формат 60 x 84 1/8. Бумага мелованная. Печать офсетная. Объем 9 п. л. тираж 1000 экз. Заказ № 20302.

Отпечатано в ООО «Группа Компаний Море»
101000, Москва, Хохловский пер., д. 9; тел.: (495) 917-80-37; e-mail: sea.more@mail.ru

PHYSICAL AND REHABILITATION MEDICINE, MEDICAL REHABILITATION Peer-review medical journal

Vol 2, № 4 (2020)

Published since 2019. Issued once in three months

**Editorial office and founder
Federal Research and Clinical Center for Resuscitation and Rehabilitation**

**Sources of Support :
«Union of rehabilitation specialists of Russia»
25 bld 2, Petrovka street, 107031, Moscow, Russia**

The journal is registered with Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media and Federal Service for Monitoring Compliance with Cultural Heritage Protection Law № FS77-74092 October, 19, 2018.

© Any unauthorized use or copying is strictly prohibited by the law of the Russian Federation.

Edition 1000 copies

**Состав редколлегии журнала
«Физическая и реабилитационная медицина,
медицинская реабилитация»:**

Главный редактор:

Председатель Общероссийской общественной организации содействия развитию медицинской реабилитологии «Союз реабилитологов России», главный специалист по медицинской реабилитации Минздрава России, заведующая отделом медико-социальной реабилитации инсульта НИИ ЦВПИИ, заведующая кафедрой медицинской реабилитации ФДПО ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, д.м.н., профессор Иванова Галина Евгеньевна

Первый заместитель главного редактора:
д.м.н., проф., академик РАН Пузин С.Н.

**Зам. главного редактора по направлению
«Медицинская реабилитация в анестезиологии
и реаниматологии»:**
д.м.н., проф. Белкин А.А.

**Зам. главного редактора по направлению
«Медицинская реабилитация в неврологии
(нервные болезни)»:**
д.м.н., проф. Прокопенко С.В.

**Зам. главного редактора по направлению
«Медицинская реабилитация в травматологии
и ортопедии»:**
д.м.н., проф. Цыкунов М.Б.

**Зам. главного редактора по направлению
«Медицинская реабилитация в кардиологии»:**
д.м.н., проф. Мишина И.Е.

**Зам. главного редактора по направлению
«Медицинская реабилитация в онкологии»:**
д.м.н., проф. Семиглазова Т.Ю.

**Зам. главного редактора по направлению
«Медицинская реабилитация в педиатрии»:**
д.м.н., проф. Валиуллина С.А.

**Зам. главного редактора по направлению
«Медико-социальная экспертиза и медико-
социальная реабилитация»:**
д.м.н., проф. Пряников И.В.

**Зам. главного редактора по направлению
«Медицинская реабилитация в геронтологии
и гериатрии»:**
д.м.н., проф. Маличенко С.В.

**Зам. главного редактора по направлению
«Эстетическая реабилитация – регенеративно-
активные и реконструктивные технологии»:**
д.б.н. Труханов А.И.

Ответственный секретарь:
Пугачева Ульяна Григорьевна

**Члены редколлегии и редакционного совета журнала
«Физическая и реабилитационная медицина,
медицинская реабилитация»:**

Аронов Давид Меерович, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Батышева Татьяна Тимофеевна, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Бердникович Елена Семёновна, к.п.н., доц. (Россия, Москва)
Бойцов Сергей Анатольевич, д.м.н., проф., член-корр. РАН (Россия, Москва)
Бубнова Марина Геннадьевна, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Буйлова Татьяна Валентиновна, д.м.н., проф. (Россия, Нижний Новгород)
Герасименко Марина Юрьевна, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Гречко Андрей Вячеславович, д.м.н., проф., член-корр. РАН (Россия, Москва)
Даминов Вадим Дамирович, д.м.н. (Россия, Москва)
Данилов Алексей Борисович, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Дымочка Михаил Анатольевич, д.м.н., доц. (Россия, Москва)
Zampolini Mauro, Professor, MD (Италия, Фолиньо, Перуджа)
Звоников Вячеслав Михайлович, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Зельман Владимир Лазаревич, д.м.н., проф., академик РАН (США, Санта-Моника)
Зилов Вадим Георгиевич, д.м.н., проф., академик РАН (Россия, Москва)
Кадыков Альберт Серафимович, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Касаткин Владимир Николаевич, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Корчажкина Наталья Борисовна, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Кузовлев Артём Николаевич, д.м.н., доц. (Россия, Москва)
Лебединский Константин Михайлович, д.м.н., проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Левин Олег Семёнович, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Лайшева Ольга Арленовна, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Мельникова Елена Валентиновна, д.м.н., доц. (Россия, Санкт-Петербург)
Молчанов Игорь Владимирович, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Никитин Игорь Геннадьевич, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Николаев Николай Станиславович, д.м.н., проф. (Россия, Чебоксары)
Олескин Александр Владимирович, д.б.н., проф. (Россия, Москва)
Перепелица Светлана Александровна, д.м.н., проф. (Россия, Калининград)
Петриков Сергей Сергеевич, д.м.н., проф., член-корр. РАН (Россия, Москва)
Петрова Марина Владимировна, д.м.н. (Россия, Москва)
Пирадов Михаил Александрович, д.м.н., проф., академик РАН (Россия, Москва)
Полетаев Александр Борисович, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Поляев Борис Александрович, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Румянцев Александр Григорьевич, д.м.н., проф., академик РАН (Россия, Москва)
Саидбегов Джалалутдин Гаджиевич, д.м.н., проф. (Италия, Рим)
Сарана Андрей Михайлович, к.м.н. (Россия, Санкт-Петербург)
Сергеев Сергей Васильевич, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Carmelo Rizzo, Professor, MD (Италия, Рим)
Sobotka Lubos, Professor, MD, PhD (Чешская Республика, Градец-Кралове)
Суворов Андрей Юрьевич, к.м.н. (Россия, Москва)
Супонева Наталья Александровна, д.м.н., проф., член-корр. РАН (Россия, Москва)
Weerkamp-Bartholomeus Paula, Professor, MD (Нидерланды, Вурендал)
Филоненко Елена Вячеславовна, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Хасанова Дина Рустемовна, д.м.н., проф. (Россия, Казань)
Хатькова Светлана Евгеньевна, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Чичановская Леся Васильевна, д.м.н., доц. (Россия, Тверь)
Шамалов Николай Анатольевич, д.м.н. (Россия, Москва)
Шакула Александр Васильевич, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Шендеров Борис Аркадьевич, д.м.н., проф. (Россия, Москва)

Шестопалов Александр Ефимович, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Щегольков Александр Михайлович, д.м.н., проф. (Россия, Москва)
Juosevicius Alvydas, PhD, Doctor of science, Professor. Academician EARM
(Больница Вильнюсского университета Santaros Klinikos, Литва, Вильнюс)

Адрес редакции:

107031, г. Москва, ул. Петровка, д. 25, стр. 2

Тел.: +7 (926) 001-43-85, +7 (925) 083-89-48; e-mail: prm-journal@fnkcr.ru

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

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Оригинальные исследования

А.Е. Хижникова, А.С. Ключков, А.М. Котов-Смоленский,
А.А. Фукс, Н.А. Супонева, М.А. Пирадов
**Влияние когнитивно-моторных тренировок
в виртуальной среде на психофизиологические
параметры и функцию равновесия
в пожилом возрасте** 292

Ю.Ю. Кирячков, М.В. Петрова, И.В. Пряников,
Д.Л. Колесов, А.Л. Парфёнов, С.А. Босенко
**Качество моделей шкал уровня сознания,
функционального состояния и общесоматической
тяжести у пациентов с последствиями
повреждения головного мозга в отделениях
интенсивной терапии и реабилитации** 303

Н.И. Пряникова, Н.Н. Амосова, Е.С. Бердникович
**Новый стимулирующий метод в комплексе
логопедических мероприятий для восстановления
функции глотания при тяжелых поражениях
головного мозга** 315

Е.С. Силантьева
**Применение магнитотерапии высокой и низкой
интенсивности в реабилитации пациентов
с COVID-19: рандомизированное контролируемое
пилотное исследование** 322

Обзоры

С.А. Перепелица
**Клиническое применение высокоточных
методов нейровизуализации у новорожденных
с повреждениями головного мозга** 329

Новые методы и технологии, дискуссии

Ю.Ю. Некрасова, М.М. Канарский, И.В. Борисов,
Д.С. Янкевич, Д.Л. Колесов, О.Б. Лукьянец,
К.М. Горшков, Н.П. Шпичко, Т.Н. Крылова,
Н.Ю. Ковалёва, О.Ю. Люткин, В.В. Евстифеев
**Спектральная оценка ЭЭГ сна у пациентов
с хроническими нарушениями сознания
посредством многооконного дискретного
преобразования Фурье** 337

М. Койва, А.Ф. Беляев
**Организация медицинской реабилитации
в Японии: состояние и перспективы** 350

Рецензии

А.В. Новиков, Е.А. Галова
**О монографии Н.С. Николаева и Р.В. Петровой
«Физическая реабилитация пациентов
после эндопротезирования крупных суставов
нижних конечностей»** 357

Original studies

A.E. Khizhnikova, A.S. Klochkov,
A.M. Kotov-Smolenskiy, A.A. Fuks,
N.A. Suponeva, M.A. Piradov
**The Effect of Virtual Reality Based Cognitive-Motor
Training on Psychophysiological Parameters
and Balance Function in the Elderly** 292

Yu.Yu. Kiryachkov, M.V. Petrova, I.V. Pryanikov,
D.L. Kolesov, A.L. Parfenov, S.A. Bosenko
**Quality of Models of Scales of Consciousness
Level, Functional State, and General Somatic
Severity in Patients with Consequences
of Brain Damage in Intensive Care
and Rehabilitation Department** 303

N.I. Pryanikova, N.N. Amosova, E.S. Berdnikovitch
**A New Stimulating Method in a Complex
of Speech Therapy Measures to Restore
the Function of Swallowing in Severe
Brain Damage** 315

E.S. Silantyeva
**The Application of High Intensity and Low Intensity
Magnetotherapy in Rehabilitation of Patients
with COVID-19: A Randomized Controlled
Pilot Study** 322

Reviews

S.A. Perepelitsa
**Clinical Application of High-Precision
Neuroimaging Methods in Newborns
with Brain Injuries** 329

New methods and technologies, discussions

J.Y. Nekrasova, M.M. Kanarskii, I.V. Borisov,
D.S. Yankevich, D.L. Kolesov, O.B. Lukyanets,
K.M. Gorshkov, N.P. Shpichko, T.N. Krylova,
N.Yu. Kovaleva, O.Yu. Lutkin, V.V. Evstifeev
**Spectral Analysis of Sleep Eeg
in Patients with Chronic Disorders
of Consciousness by Multitaper Discrete
Fourier Transform** 337

M. Koiva, A.F. Belyaev
**Organization of Medical Rehabilitation in Japan:
Condition and Prospects** 350

Book review

A.V. Novikov, E.A. Galova
**About the monograph by N.S. Nikolaev and R.V. Petrova
“Physical rehabilitation of patients
after arthroplasty of large joints
of the lower extremities”** 357

<https://doi.org/10.36425/rehab52594>

Влияние когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде на психофизиологические параметры и функцию равновесия в пожилом возрасте

А.Е. Хижникова¹, А.С. Клочков¹, А.М. Котов-Смоленский¹, А.А. Фукс², Н.А. Супонева¹, М.А. Пирадов¹

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научный центр неврологии», Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Российская Федерация

Обоснование. Нарушение функции равновесия является одной из самых распространенных проблем у людей пожилого возраста. Исследования показывают, что время реакции на визуальный и аудиальный стимул является показателем процессов ингибирования, играющих решающую роль в поддержании равновесия у пожилых людей, а тесты времени реакции ингибирования могут служить предиктором риска падений у пожилых. Одним из преимуществ технологии виртуальной реальности является возможность реализации когнитивно-моторных тренировок. Высказывается мнение, что тренировки в виртуальной среде способствуют улучшению реакции на быструю смену обстановки, внимания, пространственно-временной памяти и планирования, что благоприятно сказывается на постуральных функциях. Тем не менее в настоящий момент влияние тренировок в виртуальной среде на нейродинамические процессы недостаточно изучено. **Цель исследования** — изучить статус и динамику психофизиологических показателей, и их взаимосвязь с функцией равновесия на фоне когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде у пациентов с хронической ишемией головного мозга. **Методы.** В исследовании приняло участие 24 человека. В экспериментальную группу вошло 14 пациентов с подтвержденным диагнозом хронической ишемии головного мозга. В группе здоровых добровольцев проводилось тестирование на системе УПФТ-1/30 «Психофизиолог». Пациенты, включенные в экспериментальную группу, проходили тестирование по клиническим шкалам (шкала баланса Берг и шкала МоСА), а также инструментальную оценку на УПФТ-1/30 «Психофизиолог». Все пациенты проходили когнитивно-моторную тренировку на системе виртуальной реальности Rehabunculus (Россия), направленную на восстановление функции равновесия. **Результаты.** На фоне курса когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде у пациентов было отмечено достоверное ($p=0,01$) улучшение функции поддержания равновесия, оцениваемой по шкале баланса Берг, а также уменьшение количества ошибок при выполнении теста простой зрительно-моторной реакции, улучшение стабильности скорости простой зрительно-моторной реакции. Кроме того, была выявлена отрицательная корреляция медианы времени реакции с функцией равновесия по шкале баланса Берг ($r=-0,715$). **Заключение.** Полученные данные позволяют сделать вывод, что объективные показатели скорости реакции на визуальный раздражитель могут служить маркерами процессов адаптации нервной системы на фоне проведения когнитивно-моторных тренировок, которые в свою очередь оказывают положительный эффект на функцию равновесия.

Ключевые слова: цереброваскулярные заболевания, реабилитация, пожилые, время реакции, психофизиология.

Для цитирования: Хижникова А. Е., Клочков А. С., Котов-Смоленский А. М., Фукс А. А., Супонева Н. А., Пирадов М. А. Влияние когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде на психофизиологические параметры и функцию равновесия в пожилом возрасте. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2020;2(4):292–302. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab52594>

Поступила: 28.11.2020 Принята: 01.12.2020

Список сокращений

ПЗМР — простая зрительно-моторная реакция
СВР — среднее время реакций

СЗМР — сложная зрительно-моторная реакция
ХИГМ — хроническая ишемия головного мозга
ЦНС — центральная нервная система

The Effect of Virtual Reality Based Cognitive-Motor Training on Psychophysiological Parameters and Balance Function in the Elderly

A.E. Khizhnikova¹, A.S. Klochkov¹, A.M. Kotov-Smolenskiy¹, A.A. Fuks², N.A. Suponeva¹, M.A. Piradov¹

¹ Research Center of Neurology, Moscow, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Background. Balance dysfunction is one of the most common problems in older people. Research shows that response time to visual and auditory stimuli is an indicator of inhibition processes that play a critical role in maintaining balance in the elderly, and time reaction tests can predict the risk of falls in the elderly. One of the advantages of virtual reality technology is the ability to implement cognitive-motor training. It is considered that training in a virtual environment helps to improve the reaction to a rapid change of environment, attention, space-time memory, and planning, which has a beneficial effect on postural functions. Nevertheless, the effect of training in a virtual environment on neurodynamic processes has not been sufficiently studied. **Aims:** to study the status and dynamics of psychophysiological indicators and their relationship with the balance function after cognitive-motor training in a virtual environment in patients with CCI. **Methods.** The study involved 24 people. The experimental group included 14 patients with a confirmed diagnosis of chronic cerebral ischemia. A group of 10 healthy volunteers were tested on the UPFT-1/30 «Psychophysilogist» system. Patients included in the experimental group were tested using clinical scales (the Berg balance assessment scale and the MOCA scale) and instrumental assessment on UPFT-1/30 «Psychophysilogist». All patients underwent cognitive-motor training on the «Rehabunculus» virtual reality system (Russia), aimed at restoring the balance function. **Results.** After the course of cognitive-motor training in a virtual environment, the patients showed a significant ($p=0.01$) improvement in the balance functions, assessed by the Berg Balance Scale, as well as a decrease in the number of errors and an improvement in the stability of visual-motor reaction test. In addition, a negative correlation was found between the median response time and the balance function on the Berg scale ($r=-0.715$). **Conclusions.** The speed of reaction to a visual stimulus can serve as markers of the adaptation processes of the nervous system to cognitive-motor training in virtual environment, which, in turn, have a positive effect on balance function.

Keywords: cerebrovascular disorders, rehabilitation, aged, psychophysiology, reaction time.

For citation: Khizhnikova AE, Klochkov AS, Kotov-Smolenskiy AM, Fuks AA, Suponeva NA, Piradov MA. The Effect of Virtual Reality Based Cognitive-Motor Training on Psychophysiological Parameters and Balance Function in the Elderly. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2020;2(4):292–302. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab52594>

Received: 28.11.2020 **Accepted:** 01.12.2020

Обоснование

Как известно, нарушение функции равновесия является одной из самых распространенных проблем у людей пожилого возраста. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно происходит 37,3 млн падений, при этом самая высокая распространенность наблюдается у лиц старше 65 лет [1]. По данным отдельных исследований, риск падения в возрасте 60 лет составляет 30% и в дальнейшем он увеличивается, достигая 45% к 70 годам [2]. Одной из основных причин, влияющих на нарушение равновесия в пожилом возрасте, является замедление большого количества нейродинамических и когнитивных процессов [3], происходящее в процессе старения организма. При этом

ухудшается выполнение задач, требующих внимания [4], а наибольшее снижение наблюдается в показателях, связанных со зрительными стимулами [5]; замедление таких реакций начинается уже с 43 лет. Снижение общей адаптивности головного мозга в пожилом и старческом возрасте ведет к увеличению риска падений и инвалидизации, снижая тем самым возраст активного долголетия. Исследования показывают, что время реакции на визуальный и аудиальный стимул является показателем процессов ингибирования, играющего решающую роль в поддержании равновесия у пожилых людей [6], а тесты времени реакции ингибирования могут служить предиктором риска падений у пожилых людей [7]. Помимо общих процессов, характерных

для стареющего головного мозга, важным фактором является наличие заболеваний, приводящих к дисфункции центральной нервной системы (ЦНС). Самой частой группой заболеваний, которые встречаются в пожилом и старческом возрасте и приводят к нарушению постуральных функций, являются цереброваскулярные заболевания. Среди них ведущую позицию занимает хроническая ишемия головного мозга (ХИГМ), на которую приходится до 60% всех случаев цереброваскулярных заболеваний [8].

В настоящее время для реабилитации и поддержания двигательной активности пожилых пациентов все шире используются технологии виртуальной реальности, при этом, согласно результатам контролируемых исследований, применение данных технологий способствует улучшению психофизиологических показателей [9–12]. Одним из преимуществ технологии виртуальной реальности является возможность реализации когнитивно-моторных тренировок, которые хорошо зарекомендовали себя в реабилитации постинсультных больных и пожилых пациентов с двигательными расстройствами [10, 12].

Исследования показали, что при классической физической тренировке с включением в двигательную задачу когнитивного домена наблюдается значительное улучшение постуральной устойчивости и скорости реакции, чем исключительно при двигательной тренировке [13, 14]. В отдельных исследованиях было показано, что на фоне подобной тренировки улучшаются не только показатели устойчивости, но и память пациентов [15].

Существует предположение, что виртуальная среда может способствовать улучшению реакции на быструю смену обстановки, а также модулировать различные характеристики внимания, пространственно-временной памяти и планирования, что благоприятно сказывается на постуральных функциях [9].

Однако доказательной базы влияния когнитивно-моторных тренировок в виртуальной реальности на нейродинамические процессы у пожилых людей в настоящее время накоплено недостаточно, поэтому данное направление исследования представляется актуальным и перспективным. Также заслуживает внимания вопрос первичности и взаимосвязи изменений психофизиологических параметров и улучшения функции равновесия. Решение указанных проблем позволит в дальнейшем сформировать более эффективные методы тренировки и поддержания функции у пожилых людей, лучше понять механизм и эффект двигательных тренировок и своевременно модифицировать тренировочный протокол в зависимости от изменяющихся потребностей у пожилых

пациентов, что в конечном счете повысит эффективность реабилитационных вмешательств и продлит период их активного долголетия.

Цель исследования — изучить статус и динамику психофизиологических показателей и их взаимосвязь с функцией равновесия на фоне когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде у пациентов с ХИГМ.

Методы

Дизайн исследования

Выполнено проспективное клиническое и нейрофизиологическое исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения: возраст от 60 до 85 лет; подтвержденный диагноз ХИГМ; наличие признаков нарушения функции статического и динамического равновесия, выявленных в ходе неврологического осмотра.

Критерии невключения: грубые нарушения по шкале МоСА (менее 10 баллов); наличие грубых зрительных нарушений, не позволяющих эффективно выполнять задачи, которые были представлены на экране; наличие других подтвержденных неврологических расстройств, повлекших нарушение статического и динамического равновесия.

Критерии исключения: добровольный отказ пациента от дальнейшего участия; возникновение дискомфортных ощущений в ходе занятий в виртуальной реальности, не позволяющих продолжать дальнейшие тренировки.

Условия проведения

Исследование проводилось на базе отделения нейрореабилитации и физиотерапии ФГБНУ «Научный центр неврологии» (Москва, Россия).

Продолжительность исследования

Исследование было начато в феврале 2020 г. при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-118.2020.7 и продолжается по настоящий момент. В статье представлены предварительные результаты исследования. Все пациенты, включенные в исследование, проходили курс тренировок на системе виртуальной реальности длительностью 30 мин, 5 раз в неделю на протяжении 2 нед.

Описание медицинского вмешательства

В исследовании приняло участие 24 человека. В экспериментальную группу вошло 14 пациентов с подтвержденным диагнозом ХИГМ. Все участники

данного исследования подписали информированное согласие. Группы были сопоставимы по возрасту, однако в экспериментальной группе преобладали пациенты женского пола.

Все пациенты проходили когнитивно-моторную тренировку на системе виртуальной реальности Rehabunculus (Россия), направленную на восстановление функции равновесия.

Когнитивно-моторная тренировка

Тренировка в экспериментальной группе подразумевала выполнение комплекса вестибулярных упражнений, содержащих когнитивный компонент, специально адаптированных и интегрированных в виртуальную среду.

Погружение в виртуальную среду осуществлялось посредством персонального компьютера, а также инфракрасного сенсора Kinect (Microsoft, США); для более эффективной визуализации виртуального пространства использовался экран с широкой диагональю.

Программное обеспечение было представлено комплексом Rehabunculus (ООО «Интеллект и инновации», Россия), включающим в себя виртуальное пространство, имитирующее специальный гимнастический зал и различные условия для выполнения физических упражнений. Помимо этого, в комплекс тренировок входили мини-игры, для успешного прохождения которых требовалось выполнение различных двигательных действий, направленных на восстановление функции равновесия (рис. 1).

Методика когнитивно-моторных тренировок состояла из ряда упражнений, направленных на развитие функции поддержания равновесия, и включала в себя такие упражнения, как «Дартс», «Перешагивание через планку» для левой и правой ноги, «Уклонение», «Вышибалы», «Футбол» для левой и правой ноги, «Пятнашки».

Упражнение «Дартс»: управление виртуальным прицелом посредством смещения общего центра масс и совмещения его с виртуальной мишенью от дартс, которая постоянно меняет свое местоположение на экране. Для совмещения прицела и мишени отводится 5 сек, по истечении которых происходит выстрел дротика, предоставляя визуальную обратную связь о степени успешности выполнения задачи.

Упражнение «Перешагивание через планку». На экране отображается аватар пользователя от 3-го лица. Данное упражнение состоит из двигательной задачи, главным смыслом которой является перешагивание виртуальной планки, при этом пользователю, помимо планки, на экране предъявляется красный след — виртуальная точка, куда необходи-

Рис. 1. Когнитивно-моторная тренировка на системе виртуальной реальности Rehabunculus



мо поставить стопу целевой ноги. След постоянно меняет место своего появления, тем самым обуславливая необходимость постоянной корректировки пространственных двигательных параметров. После успешного выполнения двигательной задачи цвет следа меняется с красного на зеленый.

Упражнение «Уклонение»: управление аватаром, представленным от 3-го лица, в сторону которого летят виртуальные мячи. Управление осуществляется посредством наклонов туловища влево и вправо, при этом перед каждым последующим появлением мяча показывается траектория его вылета, предоставляя пользователю возможность, сопоставив информацию, успешно выполнить условия данного упражнения.

Упражнение «Вышибалы»: управление аватаром, представленным от 3-го лица, в сторону которого летят виртуальные мячи. Управление осуществляется посредством приставных шагов влево и вправо, при этом перед каждым последующим появлением мяча показывается траектория его вылета, предоставляя пользователю возможность, сопоставив информацию, успешно выполнить условия данного упражнения.

Упражнение «Футбол»: пользователь управляет аватаром от 3-го лица, отбивая ногами виртуальные мячи. Каждый новый вылет мяча сопровождается показом его виртуальной траектории.

Упражнение «Пятнашки»: выполнение задач классической игры «Пятнашки» посредством перемещений пользователя в пространстве. На экран транслируются аватар от 3-го лица и поле для игры. Каждый успешный этап сопровождается загоранием зеленого индикатора под правильной цифрой виртуального поля «Пятнашек».

Уровень сложности упражнений в комплексе Rehabunculus может устанавливаться в соответствии с индивидуальными возможностями пользователей: очень легкий, легкий, средний, тяжелый, очень тяжелый. Для участников экспериментальной группы устанавливался средний уровень сложности. Курс тренировок состоял из 5 занятий в неделю в течение 2 нед. Продолжительность одного занятия составляла не более 30 мин, при этом в середине занятия пациентам предоставлялся трехминутный отдых.

Исходы исследования

Основной исход исследования: на фоне курса когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде у пациентов было отмечено достоверное ($p=0,01$) улучшение функции поддержания равновесия, оцениваемой по шкале баланса Берг.

Дополнительные исходы исследования: после курса тренировок у пациентов отмечалось снижение количества ошибок при выполнении теста простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР), а также отмечалось улучшение ее стабильности, что свидетельствует о положительном влиянии тренировки в виртуальной реальности на улучшение внимания пациентов во время выполнения теста. Кроме того, была выявлена отрицательная корреляция медианы времени реакции с функцией равновесия по шкале баланса Берг ($r=-0,715$).

Анализ в подгруппах

Разделение на подгруппы проходило с учетом пола пациентов.

Методы регистрации исходов

Оценка функции равновесия проводилась до и после курса тренировок при помощи шкалы баланса Берг. Перед началом и по окончании исследования у пациентов, допущенных к тренировкам, была проведена инструментальная оценка психофизиологических характеристик с помощью устройства психофизиологического тестирования УПФТ-1/30 «Психофизиолог» (Медиком МТД, Россия). Данный аппарат предназначен для оценки функционального состояния ЦНС, зрительного и слухового анализаторов, центрального утомления, качества сенсомоторного воздействия, оценки скорости принятия

решения и точности реагирования, оценки тонкой сенсомоторной координации — точности воспроизведения движений и их пространственных характеристик в статике и динамике. Оценка на аппарате УПФТ-1/30 «Психофизиолог» включала ПЗМР, направленную на оценку функционального состояния ЦНС, и сложную зрительно-моторную реакцию (СЗМР), направленную на оценку уровня операторской работоспособности.

В качестве оцениваемых во время психофизиологического тестирования параметров были выбраны:

- интегральный показатель надежности: для расчета показателя использовалось среднее время реакции и количество допущенных ошибок; данный показатель позволяет в процентном отношении оценить количество допущенных ошибок во время каждого ПЗМР ответа;
- уровень активации ЦНС: для расчета показателя используется среднее время ответной реакции и его среднее квадратичное отклонение; данный показатель отражает функциональное состояние ЦНС от 1 до 5, где 5 соответствует высокому уровню, а 1 — низкому;
- оценка уровня активации ЦНС: данный показатель отражает количественную оценку уровня активации ЦНС путем преобразования параметров (среднее время реакции и его среднее квадратичное отклонение) в относительные единицы, которые измеряются от 0 до 1;
- номер квадрата классификации отражает уровень функциональных возможностей ЦНС к устойчивости регуляторных механизмов, на основании сочетания показателей среднего времени реакции и среднее квадратичного отклонения времени реакции (табл. 1) [16];
- среднее время реакции (СВР, в мс) отражает среднее время реакции на зрительный стимул;
- уровень бысродействия определяется на основе времени реакции, при этом меньшее время реакции соответствует большему уровню бысродействия;
- оценка бысродействия отражает уровень бысродействия в относительных единицах;
- медиана (Me) среднего времени реакции.

Здоровым добровольцам также была проведена инструментальная психофизиологическая оценка на аппарате УПФТ-1/30 «Психофизиолог» с целью определения физиологической нормы для последующего сравнения с полученными результатами в экспериментальной группе.

Этическая экспертиза

Исследование одобрено Локальным этическим комитетом ФГБНУ НЦН. Протокол № 1-5/20 от 12.02.2020.

Таблица 1. Классификация уровней активации центральной нервной системы по методике простой зрительно-моторной реакции

Диапазоны СВР, мс		СКО ВР, мс				
		Низкая	Ниже средней	Средняя	Выше средней	Высокая
Высокое 150≤СВР<201	5	21 (0,656)	22 (0,795)	23 (0,909)	24 (0,940)	25 (0,960)
Выше среднего 201≤СВР<212	4	16 (0,523)	17 (0,634)	18 (0,725)	19 (0,750)	20 (0,766)
Среднее 212≤СВР<257	3	11 (0,361)	12 (0,437)	13 (0,500)	14 (0,517)	15 (0,528)
Ниже среднего 257≤СВР<282	2	6 (0,083)	7 (0,100)	8 (0,114)	9 (0,118)	10 (0,121)
Низкое 282≤СВР<500	1	1 (0,010)	2 (0,012)	3 (0,014)	4 (0,014)	5 (0,015)
		1	2	3	4	5
Уровни критерия, баллы / Р-оценки						

Примечание. Квадраты классификации представлены числами от 1 до 25; Р-оценки уровня активации центральной нервной системы (Р, отн. ед.) представлены в каждом квадрате в круглых скобках. СВР — среднее время реакции, СКО ВР — среднеквадратическое отклонение времени реакции.

Статистический анализ

Статистическая обработка результатов проводилась с помощью критериев Манна–Уитни (при сравнении независимых выборок), Вилкоксона (при сравнении зависимых выборок), коэффициента корреляции Спирмена на персональном компьютере с применением пакета прикладных программ Statistica v. 7.0 (StatSoft, США). Данные представлены в виде медианы и квартилей (25; 75%) медианы. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты

Объекты (участники) исследования

В исследовании приняло участие 24 человека мужского и женского пола. В экспериментальную группу вошло 14 неврологических пациентов (10 женщин, 4 мужчины) с подтвержденным диагнозом дисциркуляторной энцефалопатии (хроническая ишемия головного мозга, средний возраст участников составил 71 [66; 74] год, медиана баллов по Монреальской шкале когнитивной оценки (Montreal Cognitive Assessment, MoCA) — 24 [21; 25] балла. В группу контроля вошло 10 здоровых добровольцев, средний возраст которых составил 34 [32; 37] года. Все участники данного исследования подписали информированное согласие.

Основные результаты исследования

Полученные в ходе психофизиологического тестирования данные показали, что у большинства

пациентов наблюдалось увеличение СВР и, соответственно, значительное снижение уровня бысродействия. По общей оценке ПЗМР, согласно квадрату классификации, у пациентов наблюдались сниженный уровень активации ЦНС, преобладание процессов торможения, а также сниженный уровень функциональных возможностей ЦНС (табл. 2).

При оценке СЗМР также были выявлены статистически значимые изменения, отличающие пациентов от группы здоровых добровольцев, по следующим показателям (табл. 3):

- интегральный показатель надежности;
- уровень активации ЦНС;
- номер квадрата классификации;
- СВР;
- оценка бысродействия;
- уровень бысродействия;
- медиана СВР;
- Мах — максимальное значение СВР.

На основании данных СЗМР можно сделать вывод, что у большинства пациентов наблюдалось увеличение СВР и, соответственно, значительное снижение уровня бысродействия. По общей оценке СЗМР, согласно квадрату классификации, у пациентов наблюдалась выраженная установка на качественное выполнение задач в ущерб бысродействию.

На фоне курса тренировок во всей выборке пациентов экспериментальной группы было выявлено статистически значимое ($p = 0,01$) улучшение функции равновесия по шкале баланса Берг (рис. 2).

Таблица 2. Сравнительная характеристика основных параметров простой зрительно-моторной реакции в норме и у пожилых пациентов с хронической ишемией головного мозга (Me [25; 75%])

Показатель ПЗМР	Норма	Пациенты с ХИГМ
Интегральный показатель надежности, %	71,5 [66,75; 75,74]	59,5 [30,75; 63,75] $p < 0,05$
Уровень активации ЦНС	3 [3; 3]	2 [0,75; 2] $p < 0,05$
Оценка уровня активации ЦНС, отн. ед.	0,5 [0,5; 0,51]	0,114 [0,09; 0,115] $p < 0,05$
Номер квадрата классификации	13 [13; 14,25]	8 [1,5; 8,25] $p < 0,05$
СВР, мс	246 [233; 255]	270 [260,5; 342,75] $p < 0,05$
Уровень быстродействия	3 [3; 3]	2 [0,75; 2] $p < 0,05$
Оценка быстродействия, отн. ед.	0,5 [0,5; 0,5]	0,1 [0,0075; 0,1] $p < 0,05$
Медиана (Me), мс	225,5 [217,75; 236,75]	252 [243,25; 287] $p < 0,05$

Примечание. ПЗМР — простая зрительно-моторная реакция, ЦНС — центральная нервная система, СВР — среднее время реакции, ХИГМ — хроническая ишемия головного мозга.

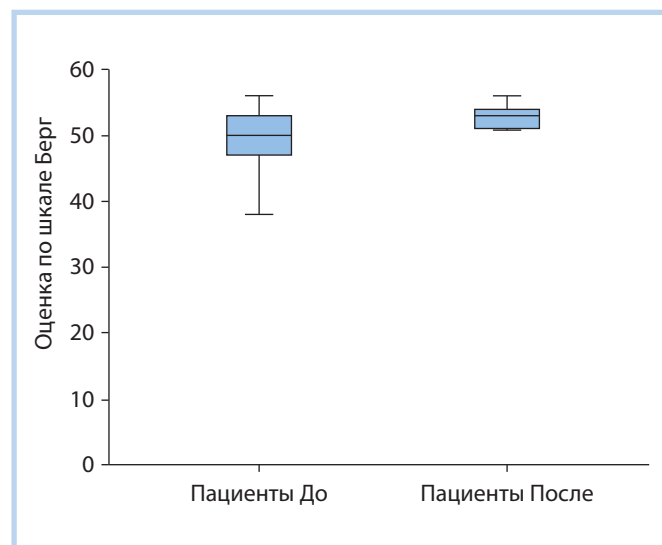
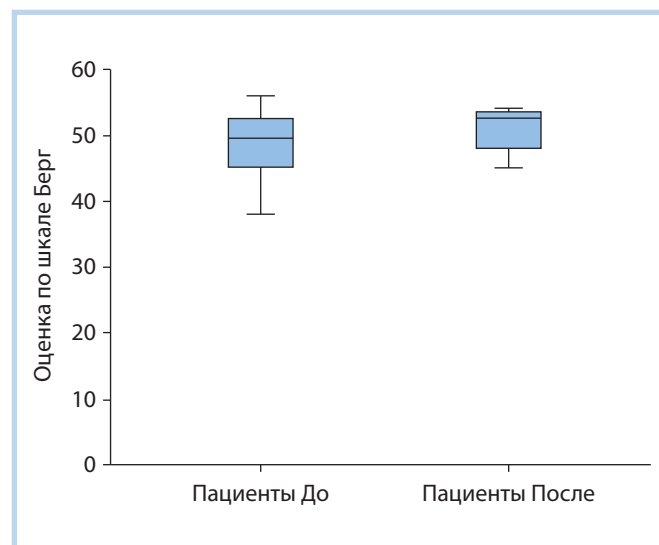
Таблица 3. Сравнительная характеристика основных параметров сложной зрительно-моторной реакции в норме и у пожилых пациентов с хронической ишемией головного мозга (Me [25; 75%])

Показатель СЗМР	Норма	Пациенты с ХИГМ
Интегральный показатель надежности, %	53 [44,5; 57,5]	27 [10; 38,25] $p < 0,05$
Уровень активации ЦНС	3 [1,75; 3]	1 [0,75; 2,25] $p < 0,05$
Номер квадрата классификации	16 [13; 18,25]	5,5 [2,25; 11,5] $p < 0,05$
СВР, мс	449,5 [434; 489,25]	579 [517,5; 659,75] $p < 0,05$
Уровень быстродействия	4 [3; 4]	1,5 [0,75; 3] $p < 0,05$
Оценка быстродействия, отн. ед.	0,75 [0,5; 0,75]	0,01 [0,0075; 0,5] $p < 0,05$
Медиана (Me), мс	438,5 [415,75; 480,25]	552 [505; 661] $p < 0,05$
Максимум (Max), мс	760 [689,75; 817,5]	1062 [876,25; 1157,75] $p < 0,05$

Примечание. СЗМР — сложная зрительно-моторная реакция, ХИГМ — хроническая ишемия головного мозга, ЦНС — центральная нервная система, СВР — среднее время реакции.

Учитывая преобладание в экспериментальной группе пациентов женского пола, было проведено разделение пациентов на группы по полу, при этом

в группе женщин отмечалась только тенденция ($p=0,07$) к улучшению функции равновесия (рис. 3), а в группе мужчин статистически значимых измене-

Рис. 2. Функция равновесия по шкале баланса Берг до и после реабилитации (экспериментальная группа)**Рис. 3.** Функция равновесия по шкале баланса Берг до и после реабилитации (экспериментальная группа, только женщины)

ний не выявлено, что может быть связано с малым объемом выборки пациентов мужского пола.

На фоне курса когнитивно-моторных тренировок в виртуальной реальности у пациентов с ХИГМ также наблюдались изменения регистрируемых психофизиологических показателей. В частности, отмечалась положительная динамика по следующим показателям ПЗМР (табл. 4):

- уровень безошибочности отражает количество допущенных за время выполнения теста ошибок;
- уровень стабильности реакций отражает стабильность выполнения теста и зависит от СВР: чем хуже время реакции, тем больше диапазон среднего квадратичного отклонения уровня стабильности;
- оценка уровня стабильности реакций отражает оценку стабильность в относительных единицах.

Таким образом, после курса тренировок у пациентов отмечалось уменьшение количества оши-

бок за время выполнения теста, а также улучшение стабильности ПЗМР, что позволяет сделать вывод о положительном влиянии тренировки в виртуальной реальности на улучшение внимания пациентов во время выполнения теста. Тем не менее после курса реабилитации пациенты с ХИГМ продолжали отличаться от группы здоровых добровольцев.

Проведенный корреляционный анализ позволил выявить, что до курса реабилитации наблюдалась положительная корреляция показателя уровня быстроедействия ($r=0,805$) и оценки уровня быстроедействия ($r=0,899$) с функцией равновесия по шкале баланса Берг. Также положительные корреляции функции равновесия наблюдались с показателями уровня активации ЦНС ($r=0,805$), номером квадрата классификации ($r=0,896$), уровнем стабильности реакции ($r=0,868$) и уровнем быстроедействия ($r=0,805$).

После курса реабилитации наблюдалась отрицательная корреляция медианы времени реакции

Таблица 4. Сравнительная характеристика основных параметров простой зрительно-моторной реакции до и после реабилитации у пожилых пациентов с хронической ишемией головного мозга (Me [25; 75%])

Показатель ПЗМР	Пациенты с ХИГМ до реабилитации	Пациенты с ХИГМ после реабилитации
Уровень безошибочности	4 [2; 4]	5 [3; 5] $p<0,05$
Уровень стабильности реакций	3 [2; 3]	4 [3; 4] $p<0,05$
Оценка уровня стабильности реакций, отн. ед.	0,5 [0,075; 0,5]	0,625 [0,5; 0,75] $p<0,05$

Примечание. ПЗМР — простая зрительно-моторная реакция, ХИГМ — хроническая ишемия головного мозга.

с функцией равновесия по шкале баланса Берг ($r=-0,715$).

На фоне проведенного курса реабилитации статистически значимых изменений по показателям СЗМР в группе пациентов не получено. Однако наблюдалось увеличение минимального времени реакции по сравнению с нормой ($p<0,05$).

До и после курса реабилитации значимых корреляций между показателями СЗМР и функцией равновесия по шкале баланса Берг не обнаружено.

Нежелательные явления

Во время проведения исследования пациенты отмечали некоторый дискомфорт из-за длительности психофизиологического исследования (40 мин). Во время проведения тренировок нежелательных реакций не отмечалось.

Обсуждение

Резюме основного результата исследования

Предварительные данные исследования позволили определить основные нарушения психофизиологических функций у пациентов с ХИГМ, а также их взаимосвязь с нарушением функции равновесия. После проведенного курса реабилитации выявлено статистически значимое улучшение функции равновесия на фоне тренировок в виртуальной реальности, а также изменение отдельных параметров ПЗМР, таких как уровень безошибочности и уровень стабильности реакций.

Обсуждение основного результата исследования

Результаты предварительного исследования показали, что тренировка на системе виртуальной реальности положительно влияет на функцию равновесия по шкале баланса Берг у пожилых пациентов с ХИГМ и вестибуло-атактическим синдромом. Данные изменения не наблюдались в подгруппе мужчин, что может быть связано с небольшой выборкой (4 человека). Схожие результаты по улучшению функции равновесия у пожилых пациентов на фоне когнитивно-моторных тренировок были получены другими исследователями [17–19]. Как показывают данные отдельных исследований, для получения более выраженного эффекта длительность тренировок для пожилых пациентов должна составлять не менее 3 часов в неделю, что было соблюдено в рамках нашего исследования [18]. Однако стоит отметить, что для поддержания эффекта тренировки должны продолжаться на амбулаторном этапе реабилита-

ции, но для подтверждения этого требуется проведение крупного продолжительного исследования, что не было целью настоящей работы.

Данные психофизиологического исследования позволили оценить основные изменения у пациентов с ХИГМ и вестибуло-атактическим синдромом и сформировать их общий психофизиологический профиль. Самым главным нарушением является увеличение СВР, что отмечалось при тестировании простой и сложной зрительно-моторных реакций и что в целом наблюдается у пожилых людей и отражает процессы общего старения организма [20, 21]. Таким образом, на основании проведенного нами комплексного обследования можно сделать вывод, что в группе пожилых пациентов с ХИГМ и вестибуло-атактическим синдромом наблюдаются преобладание процессов торможения и установка на качество выполнения задач в ущерб быстрдействию. Учитывая наличие положительных корреляций отдельных показателей психофизиологического тестирования с клинической оценкой по шкале баланса Берг, можно также сделать вывод, что данные изменения достаточно сильно влияют на функцию равновесия у этих пациентов. Подобные корреляции наблюдались и в других исследованиях, посвященных данной тематике [7, 22].

На фоне курса реабилитационных мероприятий у пациентов, помимо улучшения функции равновесия, также отмечалось улучшение по отдельным показателям ПЗМР, таким как уровень безошибочности и уровень стабильности реакций, что может говорить о положительном влиянии когнитивно-моторных тренировок в виртуальной реальности на функцию внимания у пожилых пациентов с ХИГМ. Отсутствие изменений по данным СЗМР, вероятнее всего, связано с небольшой выборкой пациентов, и в дальнейшем с увеличением мощности исследования данный показатель может внести весомый вклад в общую картину изменений, наблюдаемых у пациентов пожилого возраста с нарушением функции равновесия.

Ограничения исследования

Основным ограничением проведенного исследования является небольшая выборка пациентов, однако в данной статье представлены предварительные результаты, и набор пациентов продолжается. Для объективизации данных изменения функции равновесия на фоне когнитивно-моторных тренировок в последующем будет применяться стабилометрическая платформа, также будет расширен объем психофизиологических тестов.

Заключение

Проведенные ранее исследования показали общее снижение скорости простой и сложной зрительно-моторных реакций у пожилых людей, что сопровождает процессы общего старения организма. В отдельных исследованиях показана связь вариабельности времени реакции с риском падения у пожилых людей. Тем не менее остается неизученным влияние когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде на функцию равновесия и показатели зрительно-моторной реакции у пожилых людей. В результате проведенного исследования были получены данные, подтверждающие влияние курса когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде на уменьшение количества ошибок за время выполнения теста, а также улучшение стабильности ПЗМР, что позволило сделать вывод о положительном влиянии тренировок в виртуальной реальности на улучшение внимания пациентов во время выполнения теста. Также было выявлено улучшение функции поддержания равновесия, оцениваемой по шкале баланса Берг ($p=0,01$), у пациентов с хронической ишемией головного мозга. Кроме того, обнаружена отрицательная корреляция медианы времени реакции с функцией равновесия по шкале баланса Берг ($r=-0,715$) после курса тренировок, что может свидетельствовать о зависимости эффективности двигательной тренировки равновесия в виртуальной среде от степени изменения нейродинамических

процессов. Полученные в результате исследования данные могут внести вклад в изучение возрастных изменений нейродинамических процессов, а также послужить предпосылками к разработке персонализированных методик двигательных тренировок, основанных на объективных психофизиологических параметрах.

Источник финансирования

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-118.2020.7.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Участие авторов

А. Е. Хижникова — планирование и проведение исследования, отбор пациентов, написание черновика рукописи; **А. С. Ключков** — планирование и проведение исследования, написание черновика рукописи; **А. М. Котов-Смоленский** — проведение исследования, клиническая и инструментальная оценка пациентов, написание черновика рукописи; **А. А. Фукс** — статистическая обработка данных исследования, написание черновика рукописи; **Н. А. Супонева, М. А. Пирадов** — написание рукописи.

Список литературы / References

1. World Health Organization. *WHO Global Report on Falls Prevention in Older Age*. WHO; 2007. Available from: https://www.who.int/ageing/publications/Falls_prevention7March.pdf.
2. Ou LC, Chang YF, Chang CS, et al. Epidemiological survey of the feasibility of broadband ultrasound attenuation measured using calcaneal quantitative ultrasound to predict the incidence of falls in the middle aged and elderly. *BMJ Open*. 2017;7(1):e013420. doi: 10.1136/bmjopen-2016-013420.
3. Salthouse TA. When does age-related cognitive decline begin? *Neurobiol Aging*. 2009;30(4):507–514. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2008.09.023.
4. Salthouse T. Consequences of age-related cognitive declines. *Annu Rev Psychol*. 2012;63(1):201–226. doi: 10.1146/annurev-psych-120710-100328.
5. Fortenbaugh FC, DeGutis J, Germine L, et al. Sustained attention across the life Span in a sample of 10,000. *Psychol Science*. 2015;26(9):1497–1510. doi: 10.1177/0956797615594896.
6. Mendelson DN, Redfern MS, Nebes RD, Jennings RJ. Inhibitory processes relate differently to balance/ reaction time dual tasks in young and older adults. *Aging, Neuropsychol Cogn*. 2009;17(1):1–18. doi: 10.1080/13825580902914040.
7. Schoene D, Delbaere K, Lord SR. Impaired response selection during stepping predicts falls in older people — a cohort study. *J Am Med Dir Assoc*. 2017;18(8):719–725. doi: 10.1016/j.jamda.2017.03.010.
8. Кадыков А.С., Манвелов Л.С., Шахпаронова Н.В. *Хронические сосудистые заболевания головного мозга (дисциркуляторная энцефалопатия)*. — М.: ГЭОТАР-Мед, 2006. [Kadykov AS, Manvelov LS, Shakhparonova NV. *Khronicheskie sosudistye zabolevaniya golovnogogo mozga (distsirkulyatornaya ehntsefalopatiya)*. Moscow: GEOTAR-Med; 2006. (In Russ).]
9. Kim BR, Chun MH, Kim LS, Park JY. Effect of virtual reality on cognition in stroke patients. *Ann Rehabil Med*. 2011;35(4):450. doi: 10.5535/arm.2011.35.4.450.
10. Bisson E, Contant B, Sveistrup H, Lajoie Y. Functional balance and dual-task reaction times in older adults are improved by virtual reality and biofeedback training. *Cyber Psychol Behav*. 2007;10(1):16–23. doi: 10.1089/cpb.2006.9997.

11. Kizony R, Levin MF, Hughey L, et al. Cognitive load and dual-task performance during locomotion poststroke: a feasibility study using a functional virtual environment. *Phys Ther.* 2010;90(2):252–260. doi: 10.2522/ptj.20090061.
12. Kannan L, Vora J, Bhatt T, Hughes SL. Cognitive-motor exergaming for reducing fall risk in people with chronic stroke: A randomized controlled trial. *NeuroRehabilitation.* 2019;44(4):493–510. doi: 10.3233/NRE-182683.
13. Li KZ, Roudaia E, Lussier M, et al. Benefits of cognitive dual-task training on balance performance in healthy older adults. *J Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci.* 2010;65A(12): 1344–1352. doi: 10.1093/gerona/g1151.
14. De Bruin E, Eggenberger P, Angst M, et al. Does multicomponent physical exercise with simultaneous cognitive training boost cognitive performance in older adults? A 6-month randomized controlled trial with a 1-year follow-up. *Clin Interv Aging.* 2015;10:1335–1349. doi: 10.2147/CIA.S87732.
15. Subramaniam S, Wan-Ying Hui-Chan C, Bhatt T. A cognitive-balance control training paradigm using wii fit to reduce fall risk in chronic stroke survivors. *J Neurol Phys Ther.* 2014;38(4):216–225. doi: 10.1097/NPT.0000000000000056.
16. Косачев В.Е., Талалаев А.А. Экспресс-метод оценки функционального состояния центральной нервной системы в процессе психофизиологического мониторинга персонала энергопредприятий // *Известия Таганрогского государственного радиотехнического университета.* — 2000. — № 4. — С. 24–26. [Kosachev VE, Talalaev AA. Ehkspress-metod otsenki funktsional'nogo sostoyaniya tsentral'noi nervnoi sistemy v protsesse psikhofiziologicheskogo monitoringa personala ehnergopredpriyatii. *Izvestiya Taganrogskego gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta.* 2000; (4):24–26. (In Russ).]
17. Phu S, Vogrin S, Al Saedi A, Duque G. Balance training using virtual reality improves balance and physical performance in older adults at high risk of falls. *Clin Interv Aging.* 2019;14:1567–1577. doi: 10.2147/CIA.S220890.
18. Sherrington C, Michaleff ZA, Fairhall N, et al. Exercise to prevent falls in older adults: An updated systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2017;51(24): 1750–1758. doi: 10.1136/bjsports-2016-096547.
19. Yeşilyaprak SS, Yıldırım MŞ, Tomruk M, et al. Comparison of the effects of virtual reality-based balance exercises and conventional exercises on balance and fall risk in older adults living in nursing homes in Turkey. *Physiother Theory Pract.* 2016;32(3):191–201. doi: 10.3109/09593985.2015.1138009.
20. Der G, Deary IJ. Age and sex differences in reaction time in adulthood: Results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey. *Psychol Aging.* 2006;21(1):62–73. doi: 10.1037/0882-7974.21.1.62.
21. Eckner JT, Richardson JK, Kim H, et al. A novel clinical test of recognition reaction time in healthy adults. *Psychol Assess.* 2012;24(1):249–254. doi: 10.1037/a0025042.
22. Wang D, Zhang J, Sun Y, et al. Evaluating the fall risk among elderly population by choice step reaction test. *Clin Interv Aging.* 2016;11:1075–1082. doi: 10.2147/CIA.S106606.

Информация об авторах

Хижникова Анастасия Евгеньевна, к.м.н. [Anastasiya E. Khizhnikova, MD, PhD]; 125367, Москва, Волоколамское шоссе, д. 80 [address: 80 Volokolamsk sh., 125367 Moscow, Russia]; e-mail: nastushkapal@gmail.com, SPIN-код: 4824-1240

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1395-6645>

Клочков Антон Сергеевич, к.м.н. [Anton S. Klochkov, MD, PhD]; e-mail: klochkov@neurology.ru, SPIN-код: 3445-8770

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4730-3338>

Котов-Смоленский Артём Михайлович [Artem M. Kotov-Smolenskiy]; e-mail: a.kotov.smolenskiy@gmail.com, SPIN-код: 9603-9135

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2738-9939>

Фукс Анна Антоновна [Anna A. Fuks]; e-mail: myfannamail@gmail.com, SPIN-код: 8236-1787

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4335-6344>

Супонева Наталья Александровна [Natalia A. Suponeva]; e-mail: nasu2709@mail.ru, SPIN-код: 3223-6006

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3956-6362>,

Пирадов Михаил Александрович [Michael A. Piradov]; e-mail: dir@neurology.ru, SPIN-код: 2860-1689

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6338-0392>

<https://doi.org/10.36425/rehab46402>

Качество моделей шкал уровня сознания, функционального состояния и общесоматической тяжести у пациентов с последствиями повреждения головного мозга в отделениях интенсивной терапии и реабилитации

Ю.Ю. Кирычков¹, М.В. Петрова^{1, 2}, И.В. Пряников^{1, 2}, Д.Л. Колесов¹, А.Л. Парфёнов¹, С.А. Босенко¹

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии», Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», Москва, Российская Федерация

Обоснование. Применение шкал оценок уровня сознания, функционального и общесоматического статуса для отделений реабилитации и интенсивной терапии статистически и клинически недостаточно обосновано. **Цель исследования** — обосновать типовую схему клинического применения шкал уровня сознания, общесоматического и функционального статуса пациентов с последствиями повреждения головного мозга различной этиологии. **Методы.** Одноцентровое проспективное, ретроспективное исследование, в которое включены 118 пациентов с повреждением головного мозга различной этиологии на 20–50-е сут после нарушения сознания. В группах пациентов, находящихся в коме, вегетативном статусе, состоянии минимального сознания и состоянии ясного сознания, проведен анализ статистического качества следующих клинических шкал: шкал сознания (шкала ком Глазго GCS; шкала подробной оценки состояния ареактивных пациентов FOUR; пересмотренная шкала восстановления после комы CRS-R; шкала выхода из ком Глазго GOS; расширенная шкала выхода из ком Глазго GOSE; шкала сознания и взаимодействия с окружающей средой Ранчос Лос Амигос RLAS); шкал функционального состояния (шкала инвалидности DRS; модифицированная шкала Рэнкина mRS; индекс активности повседневной жизнедеятельности Бартела ADL; шкала функциональной независимости FIM; индекс Карновского; индекс мобильности Ривермид RMI; шкала самооценки бытовых возможностей повседневной жизни Мертон и Саттон); шкал общесоматической тяжести (оценка мультиорганной дисфункции по шкалам APACHE II и APACHE IV; шкала упрощенной оценки физиологических расстройств SAPS II; шкала динамической оценки органной недостаточности SOFA). Функциональное состояние автономной нервной системы регистрировали по параметрам variability ритма сердца путем пятиминутной записи RR-интервалов электрокардиограммы. **Результаты.** Выделены 4 группы пациентов, находящихся в состоянии комы, вегетативного статуса, минимального и ясного сознания. У 67/118 (56,8%) пациентов после повреждения головного мозга в результате черепно-мозговой травмы, аноксии, острого нарушения мозгового кровообращения параметры функциональной активности автономной нервной системы находились в зоне патологических (симпатическая/парасимпатическая гиперактивность) значений. Проявления симпатической/парасимпатической гиперактивности прогрессивно снижаются — от пациентов, находящихся в состоянии комы, до пациентов в ясном сознании. **Заключение.** Различные шкалы уровня сознания, функциональной и общесоматической тяжести пациентов с последствиями повреждения головного мозга объективно отличаются между собой клинической значимостью в градации кома–вегетативный статус–минимальное сознание–ясное сознание.

Ключевые слова: шкала ком Глазго, FOUR, CRS-R, GOS, GOSE.

Для цитирования: Кирычков Ю.Ю., Петрова М.В., Пряников И.В., Колесов Д.Л., Парфёнов А.Л., Босенко С.А. Качество моделей шкал уровня сознания, функционального состояния и общесоматической тяжести у пациентов с последствиями повреждения головного мозга в отделениях интенсивной терапии и реабилитации. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2020;2(4):303–314. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab46402>

Поступила: 05.10.2020 Принята: 01.12.2020

Обоснование

В настоящее время для оценки сознания, функционального и общесоматического статуса у пациентов с повреждением головного мозга травматического и нетравматического генеза используются многочисленные оценочные клинические шкалы

и индексы [1–3]. Однако до сих пор оценка качества прогноза и дифференцированный подход к применению оценочных шкал и индексов для отделений реабилитации и интенсивной терапии статистически и клинически недостаточно обоснованы.

Quality of Models of Scales of Consciousness Level, Functional State, and General Somatic Severity in Patients with Consequences of Brain Damage in Intensive Care and Rehabilitation Department

Yu.Yu. Kiryachkov¹, M.V. Petrova^{1,2}, I.V. Pryanikov^{1,2}, D.L. Kolesov¹, A.L. Parfenov¹, S.A. Bosenko¹

¹ Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russian Federation

² Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

Background. The approach to the use of scales for assessing the level of consciousness, functional and general somatic status for rehabilitation and intensive care units is statistically and clinically insufficiently substantiated. **Aims:** development and substantiation of a typical scheme for the clinical use of scales of the level of consciousness, general somatic and functional status of patients with consequences of brain damage of various etiologies. **Methods.** A single-center prospective, retrospective study that included 118 patients on 20–50 days after traumatic brain injury, anoxic damage; consequences of acute cerebral circulatory disorders, and neurosurgical operations. In groups of patients who are in a coma, vegetative status, a state of minimal consciousness and a state of clear consciousness, the analysis of the statistical quality of clinical scales was carried out: scales of consciousness: the Glasgow Coma Scale (GCS); FOUR (Full Outline of UnResponsiveness); Coma Recovery Scale-Revised (CRS-R); the Glasgow Outcome Scale (GOS); the Extended Scale of the Glasgow Coma (Glasgow Outcome Scale Extended, GOSE); Rancho Los Amigos scale — scale of consciousness and interaction with the environment (the Rancho Los Amigos scale, RLAS); Functional status scales: DRS (the Disability Rating Scale); modified Rankin Scale mRS; Barthel Activities of Daily Living (ADL) Index; Functional Independence Measure (FIM); Karnovsky Index; Rivermead Mobility Index self-assessment of everyday life opportunities in Merton and Sutton (checklist self-maintenance Merton and Sutton community NHS trust); Scales of General somatic severity: assessment of multi-organ dysfunction on the APACHE II scale (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation); APACHE IV scale; SAPS II scale (Simplified Acute Physiology Score); SOFA scale (Sequential Organ Failure Assessment). The functional state of the ANS was recorded using HRV parameters by recording 5-minute RR intervals of the electrocardiogram. **Results.** There are 4 groups of patients who are in a state of coma, vegetative status, a state of minimal consciousness and a state of clear consciousness. In 67 patients out of 118 examined (56.8%) after brain and brain damage as a result of TBI, anoxia, stroke, the parameters of ANS functional activity are in the zone of pathological (sympathetic/parasympathetic hyperactivity) values. Manifestations of sympathetic/parasympathetic hyperactivity is progressively reduced from the patients in a coma to patients in clear consciousness. **Conclusions.** Various scales of the level of consciousness, functional and general somatic severity of patients with the consequences of brain damage, objectively differ in clinical significance in the gradation of coma–vegetative status–minimal consciousness–clear consciousness.

Keywords: GCS, FOUR, CRS-R, GOS, GOSE, RLAS-R.

For citation: Kiryachkov YuYu, Petrova MV, Pryanikov IV, Kolesov DL, Parfenov AL, Bosenko SA. Quality of Models of Scales of Consciousness Level, Functional State, and General Somatic Severity in Patients with Consequences of Brain Damage in Intensive Care and Rehabilitation Department. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2020;2(4):303–314. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab46402>

Received: 05.10.2020 **Accepted:** 01.12.2020

Цель исследования — разработка и обоснование типовой схемы клинического применения шкал уровня сознания, общесоматического и функционального статуса пациентов с последствиями повреждения головного мозга различной этиологии.

Методы

Дизайн исследования

Одноцентровое ретроспективное и проспективное исследование, выполненное на 20–50-е сут у па-

циентов после черепно-мозговой травмы или патологии головного мозга нетравматического генеза (аноксическое повреждение; последствия оперативных вмешательств и острых нарушений мозгового кровообращения).

Критерии соответствия

Критерии включения: пациенты после черепно-мозговой травмы, острого нарушения мозгового кровообращения, аноксического повреждения го-

ловного мозга, осложнений нейрохирургических операций давностью от 20 до 60 сут.

Критерии не включения: массивное кровотечение, септическое состояние, острая почечная и печеночная недостаточность, пациенты с постоянной формой мерцательной аритмии ввиду особенностей записи вариабельности ритма сердца.

Условия проведения

В исследовании в режиме сплошной выборки приняли участие пациенты, госпитализированные в отделения анестезиологии и реаниматологии и нейрореабилитации стационара ФГБНУ ФНКЦ РР (Москва).

Продолжительность исследования

Исследование проводили в 2019 г. Пациентов обследовали от момента поступления и на протяжении 60 сут интенсивной терапии и реабилитации.

Описание медицинского вмешательства

Пациенты были разделены на 4 группы по следующим качественным клиническим компонентам:

- 1-я группа — кома: нет реакции на окрик; повреждение рефлексов ствола мозга (зрачкового, роговичного, кашлевого рефлексов); нет открывания глаз; нет смены цикла сон–бодрствование; нет следования командам; нет коммуникации; наличие искусственной вентиляции легких;
- 2-я группа — вегетативное состояние: есть открывание глаз; есть смена цикла сон–бодрствование; нет движения глаз и фиксации взора; нет распознавания объектов; нет следования командам; нет коммуникации; сохранены рефлексы ствола мозга;
- 3-я группа — состояние минимального сознания: есть открывание глаз; есть смена цикла сон–бодрствование; есть движение глаз с фиксацией взора; спонтанное открывание глаз на окрик; визуальная фиксация и/или слежение за предметом (пасьют);
- 4-я группа — ясное сознание: адекватная реакция на внешние стимулы и ориентирование в окружающей ситуации, месте, времени и собственной личности.

Для отнесения пациента в ту или иную группу (кома; вегетативное состояние; минимальное сознание или ясное сознание) должны иметься все указанные клинические критерии [4, 5].

В группах пациентов, находящихся в коме, вегетативном состоянии, состоянии минимального сознания и состоянии ясного сознания, проведен анализ качества диагностической модели клинических шкал:

- шкалы сознания:
 - шкала ком Глазго (Glasgow Coma Scale, GCS): наименьший и наибольший уровень сознания — 3 и 15 баллов соответственно;

Список сокращений

АНС — автономная нервная система
BPC — вариабельность ритма сердца
ADL (Barthel Activities of Daily Living Index) — индекс активности повседневной жизнедеятельности Бартела
APACHE II, APACHE IV (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation) — оценка мультиорганной дисфункции
CRS-R (Coma Recovery Scale-Revised) — пересмотренная шкала восстановления после комы
DRS (the Disability Rating Scale) — шкала инвалидности для оценки динамики социальной реинтеграции
FIM (Functional Independence Measure) — шкала функциональной независимости с оценкой двигательных и интеллектуальных функций
FOUR (Full Outline of UnResponsiveness) — шкала подробной оценки состояния ареактивных пациентов
GCS (Glasgow Coma Scale) — шкала ком Глазго
GOS (Glasgow Outcome Scale) — шкала выхода из ком Глазго
GOSE (Glasgow Outcome Scale Extended) — расширенная шкала выхода из ком Глазго
Karnovsky Index — индекс Карновского
mRS (Modified Rankin Scale) — модифицированная шкала Рэнкина
RLAS (the Rancho Los Amigos Scale; Rancho Los Amigos, Национальный реабилитационный центр, Калифорния, США) — шкала сознания и взаимодействия с окружающей средой, или шкала Ранчос Лос Амигос
RMI (Rivermead Mobility Index) — индекс мобильности Ривермид
SAPS II (Simplified Acute Physiology Score) — упрощенная шкала оценки физиологических расстройств II
SOFA (Sequential Organ Failure Assessment) — динамическая оценка органной недостаточности

- шкала подробной оценки состояния ареактивных пациентов (Full Outline of UnResponsiveness, FOUR): наименьший и наибольший уровень сознания — 0 и 16 баллов соответственно;
 - пересмотренная шкала восстановления после комы (Coma Recovery Scale-Revised, CRS-R): наименьший и наибольший уровень — 0 и 23 балла соответственно;
 - шкала выхода из ком Глазго (Glasgow Outcome Scale, GOS): наименьшее и наибольшее значение — 1 и 5 баллов соответственно;
 - расширенная шкала выхода из ком Глазго (Glasgow Outcome Scale Extended, GOSE): наименьшее и наибольшее значение — 1 и 8 баллов соответственно;
 - шкала сознания и взаимодействия с окружающей средой — шкала Ранчос Лос Амигос (the Rancho Los Amigos Scale, RLAS; Rancho Los Amigos, Национальный реабилитационный центр, Калифорния, США): минимальное и максимальное значение (уровень) — 1 и 10 баллов соответственно;
 - шкалы функционального состояния:
 - шкала инвалидности (the Disability Rating Scale, DRS) для оценки динамики социальной реинтеграции: минимальное и максимальное значение — 0 (отсутствие инвалидности) и 29 (экстремальный вегетативный уровень) баллов соответственно;
 - модифицированная шкала Рэнкина (Modified Rankin Scale, mRS): минимальное и максимальное значение — 0 (нет симптомов нарушения жизнедеятельности) и 6 (летальный исход) баллов соответственно;
 - индекс активности повседневной жизнедеятельности Бартела (Barthel Activities of Daily Living Index, ADL): наименьшее и наибольшее значение — 0 и 120 баллов соответственно;
 - шкала функциональной независимости (Functional Independence Measure, FIM) с оценкой двигательных и интеллектуальных функций: минимальное и максимальное значение — 18 и 126 баллов соответственно;
 - оценка функционального состояния по индексу Карновского (Karnovsky Index): минимальное и максимальное значение — 0 и 100% соответственно;
 - индекс мобильности Ривермид (Rivermead Mobility Index, RMI): минимальное и максимальное значение — 1 и 15 баллов соответственно;
 - шкала самооценки бытовых возможностей повседневной жизни Мертон и Саттон (Великобритания) для оценки уровня бытовой и социальной адаптации (использование туалета, умывание, принятие ванны, одевание, прием и приготовление пищи, вождение автомобиля): минимальное и максимальное значение — 0 и 59 баллов соответственно;
 - шкалы общесоматической тяжести:
 - оценка мультиорганной дисфункции по шкалам APACHE II (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation) и APACHE IV: минимальное и максимальное значение — 0 и 71 балл и 0 и 150 баллов соответственно;
 - упрощенная шкала оценки физиологических расстройств II (Simplified Acute Physiology Score, SAPS II): минимальное и максимальное значение — 0 и 163 балла соответственно;
 - динамическая оценка органной недостаточности (Sequential Organ Failure Assessment, SOFA): минимальное и максимальное значение — 0 и 24 балла соответственно.
- Выполнена оценка функционального состояния автономной нервной системы (АНС) как важнейшей системы поддержания гомеостаза в критических состояниях на основе регистрации электрофизиологических показателей вариабельности ритма сердца (BPC):
- SI (Bayevsky's stress index) — стресс-индекс Баяевского (индекс напряжения регуляторных систем, индекс напряжения) в нормализованных единицах (н. е.);
 - SDNN — среднеквадратичное отклонение R-R-кардиоинтервалов в миллисекундах (мс);
 - rMSSD — среднеквадратичное отклонение разности двух смежных отсчетов R-R-кардиоинтервалов в мс;
 - pNN50% — доля R-R-кардиоинтервалов в процентах (%), отличающихся от предыдущего более чем на 50 мс;
 - HF (high frequency) — спектр высоких частот в мс² и %;
 - LF (low frequency) — спектр низких частот в мс² и %;
 - LF/HF — соотношение спектра низких и высоких частот в н. е.;
 - VLF (very low frequency) — спектр очень низких частот в мс² и %;
 - TP (total power) — общая мощность спектра частот <0,4 Hz в мс².
- Симпатическая гиперактивность принималась в пределах следующих значений: <4,54 мс для SDNN;

<2,25 мс для RMSSD; <0,109% для pNN50%; >900 н.е. для SI; <200 мс² для TP.

Показателями нормы параметров ВРС и функционального состояния АНС принимались следующие значения: 13,31–41,4 мс для SDNN; 5,78–42,3 мс для RMSSD; 0,110–8,1% для pNN50%; 80–900 н.е. для SI; 200–2000 мс² для TP.

Парасимпатическая гиперактивность принималась в пределах следующих значений: >41,5 мс для SDNN; >42,4 мс для RMSSD; >8,1% для pNN50%; <80 н.е. для SI; >2000 мс² для TP.

Симпатическая гиперактивность, норма или парасимпатическая гиперактивность в указанных пределах верифицируются как минимум при 3 из 5 параметров ВРС.

Исходы исследования

Основной исход исследования. Различия статистической значимости шкал уровня сознания функционального состояния, общесоматической тяжести в градации кома–вегетативный статус–состояние минимального сознания–ясное сознание обуславливают их применение в отделениях интенсивной терапии или нейрореабилитации.

Дополнительные исходы исследования. Частота патологических изменений со стороны функционального состояния автономной нервной системы достоверно нарастает в группах пациентов от нормального уровня сознания до состояния минимального сознания, вегетативного статуса и комы, где основным вариантом патологии является симпатическая гиперактивность.

Анализ в подгруппах

1-я группа ($n=11$) — пациенты в состоянии комы: 6 мужчин, 5 женщин, средний возраст $57\pm 1,8$ года. По нозологии пациенты распределились следующим образом: последствия черепно-мозговой травмы — 3; последствия острого нарушения мозгового кровообращения — 1; последствия аноксического повреждения головного мозга — 2; последствия субарахноидального кровоизлияния — 4; последствия удаления опухоли и артериовенозной мальформации головного мозга — 1.

2-я группа ($n=41$) — пациенты в вегетативном состоянии: 17 мужчин, 24 женщины, средний возраст $43,8\pm 2,8$ года. По нозологии пациенты распределились следующим образом: последствия черепно-мозговой травмы — 14; последствия острого нарушения мозгового кровообращения — 6; последствия аноксического повреждения головного мозга — 15; последствия субарахноидального кровоизлияния — 5; последствия удаления опухоли

и артериовенозной мальформации головного мозга — 1.

3-я группа ($n=40$) — пациенты в состоянии минимального сознания: 12 мужчин, 28 женщин, средний возраст $47,4\pm 2,9$ года. По нозологии пациенты распределились следующим образом: последствия черепно-мозговой травмы — 15; последствия острого нарушения мозгового кровообращения — 10; последствия аноксического повреждения головного мозга — 3; последствия субарахноидального кровоизлияния — 8; последствия удаления опухоли и артериовенозной мальформации головного мозга — 4.

4-я группа ($n=26$) — пациенты в состоянии ясного сознания: 20 мужчин, 6 женщин, средний возраст $51,5\pm 2,8$ года. По нозологии пациенты распределились следующим образом: последствия черепно-мозговой травмы — 12; последствия острого нарушения мозгового кровообращения — 7; последствия аноксического повреждения головного мозга — 2; последствия субарахноидального кровоизлияния — 3; последствия удаления опухоли и артериовенозной мальформации головного мозга — 2.

Методы регистрации исходов

Сравнительная и динамическая оценка клинических данных и исходов лечения проведена в группах от момента поступления и на протяжении 60 сут интенсивной терапии и реабилитации.

Автономная дисфункция — наличие симпатической/парасимпатической гиперактивности по параметрам вариабельности ритма сердца. Норма функционального состояния автономной нервной системы — норма показателей вариабельности ритма сердца.

Автономная дисфункция/уровень сознания: за автономную дисфункцию принималось наличие или отсутствие симпатической/парасимпатической гиперактивности; за низкий уровень сознания принималось наличие комы и вегетативного статуса, за высокий уровень сознания — минимальное или ясное сознание.

Автономная дисфункция/тяжесть общесоматической патологии по шкале SOFA: за автономную дисфункцию принималось наличие или отсутствие симпатической/парасимпатической гиперактивности, низкий уровень общесоматической тяжести усатанавливался при ≤ 2 баллах, высокий — при ≥ 3 .

Автономная дисфункция/степень нарушения функционального статуса по шкале DRS: за автономную дисфункцию принималось наличие или отсутствие симпатической/парасимпатической гиперактивности, низкий уровень расстройства функционального статуса признавался при ≤ 16 баллах,

высокий уровень функциональных расстройств и тяжелая инвалидизация — при ≥ 17 .

Чувствительность — истинно позитивная частота наличия заболевания или более тяжелой патологии; специфичность — истинно негативная частота отсутствия заболевания или менее тяжелое клиническое состояние.

Этическая экспертиза

Исследование одобрено Комитетом по этике ФНКЦ РР (протокол № 1/19/7 от 27 мая 2019).

Статистический анализ

Принципы расчета размера выборки. Нулевая гипотеза оценивалась с применением критериев Пирсона (хи-квадрат, χ^2), анализа дисперсий выборок (ANalysis Of VAriance, ANOVA). Определение качества изученных шкал и их предсказательной ценности проведено на основе ROC-анализа (receiver operator characteristic — рабочая характеристика приемника).

Методы статистического анализа данных. Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием программы MedCalc Software, версия 18.10.2.

Результаты

Объекты (участники) исследования

В исследование включены 118 пациентов, из них мужчин 71, женщин 47, средний возраст $47,9 \pm 3,7$ года. Наибольшее число участников было в возрасте 50–59 лет. По нозологии пациенты распределены следующим образом: последствия черепно-мозговой травмы — у 43; последствия остро-

го нарушения мозгового кровообращения — у 24; последствия аноксического повреждения головного мозга — у 22; последствия субарахноидального кровоизлияния — у 20; последствия удаления опухоли и артериовенозной мальформации головного мозга — у 9.

Основные результаты исследования

Полученные параметры шкал уровня сознания, функционального статуса и тяжести общесоматической патологии представлены в табл. 1.

При оценке качества шкал у пациентов с последствиями повреждения головного мозга травматического и нетравматического генеза наилучшие статистические значения по уровню сознания с применением ROC-анализа продемонстрировали GCS, FOUR, CRS-R, невысокие результаты бинарной оценки — GOS, GOSE и RLAS-R (табл. 2). Сходные данные о преимуществе ряда клинических методик получены при оценке качества применения шкал (ROC-анализ) и прогнозировании летальности у пациентов с последствиями повреждения головного мозга травматического и нетравматического генеза (табл. 3).

При анализе степени корреляционных взаимосвязей шкал уровня сознания и показателей (шкалы, индексы) функционального статуса и общесоматической патологии также получены результаты, указывающие на наиболее статистически значимые клинические подходы к применению данных качественных и количественных характеристик оценки пациентов с последствиями повреждения головного мозга травматического и нетравматического генеза (табл. 4).

Таблица 1. Параметрические показатели шкал уровня сознания, функционального и общесоматического статуса в исследуемых группах пациентов, $M \pm m$

Шкала уровня сознания, балл	1-я группа <i>n</i> =11	2-я группа <i>n</i> =41	3-я группа <i>n</i> =40	4-я группа <i>n</i> =26
	Кома	Вегетативное состояние	Минимальный уровень сознания	Ясное сознание
Шкалы сознания				
GCS	$4,9 \pm 0,31$	$7,26 \pm 0,24$ $f=19,3$ $p=0,000058$	$10,5 \pm 0,29$ $f=77,6$ $p=0,00001$	$13,2 \pm 0,33$ $f=29,84$ $p=0,00001$
FOUR	$5,27 \pm 0,8$	$11,09 \pm 0,35$ $f=34,7$ $p=0,0001$	$13,6 \pm 0,41$ $f=23,01$ $p=0,00001$	$15,4 \pm 0,21$ $f=11,9$ $p=0,00096$
CRS-R	$1,9 \pm 0,57$	$3,9 \pm 0,37$ $f=5,27$ $p=0,02583$	$8,12 \pm 0,6$ $f=37,23$ $p=0,00001$	$18,34 \pm 0,8$ $f=87,6$ $p=0,00001$

Таблица 1. Продолжение

Шкала уровня сознания, балл	1-я группа n=11	2-я группа n=41	3-я группа n=40	4-я группа n=26
	Кома	Вегетативное состояние	Минимальный уровень сознания	Ясное сознание
GOS	2,09±0,04	2±0 f=3,94 p=0,05258	2,95±0,04 f=305,6 p=0,0001	3,03±0,03 f=0,68 p=0,4112
GOSE	2±0	2±0*	3±0*	3,38±0,09 f=14,69 p=0,00029
RLAS-R	1±0	1,63±0,07 f=18,3 p=0,000084	2,425±0,09 f=39,36 p=0,00001	5,07±0,3 f=68,4 p=0,00001
Шкалы функционального состояния				
DRS	27±0,45	24,9±0,26 f=10,42 p=0,0021	21,42±0,47 f=43,34 p=0,00001	13,76±0,92 f=51,92 p=0,00001
ADL	0	0*	0,75±0,54 f=2,1 p=0,1508	28,07±3,78 f=54,8 p=0,00001
mRS	5	5*	5*	4,43±0,14 f=13,78 p=0,00043
Karnovsky Index, %	10,9±0,49	15,36±0,96 f=5,7 p=0,02	20,25±0,69 f=18,02 p=0,000059	39,6±2,5 f=57,35 p=0,00001
FIM	18	18*	18,8±0,47 f=3,02 p=0,085	40,07±4,04 f=29,47 p=0,00001
RMI	0	0*	0,15±0,05 f=7,05 p=0,009	5,23±0,52 f=98,7 p=0,000017
Мертон и Саттон	0	0*	0,1±0,06 f=1,66 p=0,2*	9,61±2,17 f=20,74 p=0,000024
Шкалы общесоматический тяжести				
SOFA	6,54±0,6	3,56±0,19 f=20,03 p=0,00004	2,32±0,24 f=16,41 p=0,0001	0,96±0,23 f=12,86 p=0,00064
APACHE II	16,54±0,6	14,51±0,82 f=1,32 p=0,254*	12,92±0,64 f=2,21 p=0,14*	3,38±0,6 f=93,19 p=0,00001
APACHE IV	65,27±2,89	53,8±1,15 f=11,12 p=0,0016	37,72±1,8 f=59,16 p=0,00001	39,23±2,46 f=0,2 p=0,654*
SAPS II	46±1,92	33,41±1,77 f=11,23 p=0,0015	25,15±1,97 f=10,31 p=0,0019	12,57±1,34 f=21,03 p=0,000021

Примечание. * — невозможно выполнить дисперсионный анализ (отличия недостоверны). Критерий Фишера (ANOVA, f) и уровень достоверности (p) по отношению к показателям в градации кома–вегетативное состояние–минимальное сознание–ясное сознание.

Таблица 2. Дифференцированная оценка состояния сознания в группах пациентов с последствиями повреждения головного мозга, $M \pm m$

Шкала уровня сознания, балл	AUC (площадь под кривой)		
	Кома / Вегетативное состояние	Вегетативное состояние / Минимальное сознание	Минимальное сознание / Ясное сознание
GCS	0,8534 $\pm$ 0,0828	0,9236 $\pm$ 0,0329	0,8553 $\pm$ 0,0524
FOUR	0,8655 $\pm$ 0,0809	0,6952 $\pm$ 0,0417	0,8286 $\pm$ 0,0687
CRS-R	-	0,8534 $\pm$ 0,0419	0,9343 $\pm$ 0,031
GOS	-	-	-
GOSE, балл	-	-	-
RLAS-R	-	-	-

Примечание. Здесь и в табл. 3: данные приведены при парном сравнении уровней сознания: вегетативное состояние и кома; минимальное сознание и вегетативное состояние; ясное сознание и минимальное сознание. AUC (area under curve) — площадь под ROC-кривыми (параметр показывает, насколько точно шкала отделяет два уровня сознания: чем ближе показатель к 1,0, тем менее вероятна нулевая гипотеза). «-» — дегенеративные данные с невозможностью оценки ROC-кривой.

Таблица 3. Прогностическая взаимосвязь шкал функционального состояния и тяжести соматической патологии при оценке состояния сознания в группах пациентов с повреждением головного мозга, $M \pm m$

Шкала уровня сознания, балл	AUC (площадь под кривой)		
	Кома / Вегетативное состояние	Вегетативное состояние / Минимальное сознание	Минимальное сознание / Ясное сознание
DRS	0,8215 $\pm$ 0,101	0,8899 $\pm$ 0,0372	0,9132 $\pm$ 0,0351
ADL	-	-	0,9802 $\pm$ 0,0157
mRS	-	-	-
Carnovsky Index, %	-	0,7682 $\pm$ 0,0613	0,9713 $\pm$ 0,024
FIM	-	-	0,9646 $\pm$ 0,0239
RMI	-	-	-
Мертон и Саттон	-	-	0,9784 $\pm$ 0,0278
SOFA	0,8457 $\pm$ 0,0756	0,7669 $\pm$ 0,0544	0,7761 $\pm$ 0,0638
APACHE II	0,5971 $\pm$ 0,0823	0,5957 $\pm$ 0,0625	0,9469 $\pm$ 0,0274
APACHE IV	0,759 $\pm$ 0,0874	0,8934 $\pm$ 0,0366	0,4669 $\pm$ 0,0775
SAPS II	0,7697 $\pm$ 0,098	0,7048 $\pm$ 0,1902	0,8089 $\pm$ 0,0521

Таблица 4. Корреляционные зависимости шкал уровня сознания и функционального состояния, общесоматической тяжести у пациентов с повреждением головного мозга, $M \pm m$

Изучаемая шкала, балл	Коэффициент корреляции					
	GCS	FOUR	CRS-R	GOS	GOSE	RLAS-R
DRS	-0,759	-0,5813	-0,824	-0,6151	-0,7563	-0,7927
ADL	0,555	0,314	0,6427	0,4378	0,5967	0,776
mRS	-0,404	-0,2411	-0,464	-0,318	-0,5105	-0,6511
Karnovsky Index, %	0,7156	0,5344	0,7299	0,5766	0,7105	0,8253
FIM	0,4989	0,3212	0,5621	0,393	0,5895	0,7437
RMI	0,5951	0,4164	0,6895	0,4552	0,6192	0,7557
Мертон и Саттон	0,441	0,2803	0,4985	0,3501	0,5332	0,7079
SOFA	-0,705	-0,772	-0,6042	-0,5244	-0,5449	-0,5236
APACHE II	-0,505	-0,5154	-0,5166	-0,4741	-0,5653	-0,6861
APACHE IV	-0,6275	-0,5741	-0,3213	-0,5358	-0,5856	-0,4836
SAPS II	-0,6693	-0,6244	-0,5696	-0,3101	-0,6031	-0,5834

При оценке корреляционных значений и полученных уравнений регрессии изученных шкал сознания с показателями функционального статуса и общесоматической патологии наилучшие статистические значения получены для GCS, FOUR, CRS-R, менее значимые результаты — для RLAS-R, низкие — для GOS и GOSE.

Дополнительные результаты исследования

У 67 (56,8%) из 118 обследованных пациентов после повреждения головного мозга в результате черепно-мозговой травмы, аноксии или острого нарушения мозгового кровообращения параметры функциональной активности АНС находились в зоне патологических (симпатическая/парасимпатическая гиперактивность) значений. Проявления симпатической/парасимпатической гиперактивности прогрессивно снижаются — от пациентов, находящихся в состоянии комы, до пациентов в ясном сознании: в 1-й группе (пациенты в состоянии комы) дисфункция АНС установлена у 8/11 (72,7%), во 2-й группе (пациенты в вегетативном состоянии) — у 30/41 (73,2%), в 3-й группе (пациенты в состоянии минимального сознания) — у 21/40 (52,5%), в 4-й группе (пациенты в состоянии ясного сознания) — только у 8/26 (30,8%).

Наибольшие достоверные отличия по электрофизиологическим параметрам ВРС получены между группами пациентов с нормальным уровнем сознания и пациентами в вегетативном состоянии и коме. Достоверных отличий по параметрам ВРС между группами пациентов с нормальным (4-я группа) и минимальным (3-я группа) уровнем сознания не получено, что, возможно, указывает на восстановление центральной (гипоталамической) функ-

циональной активности АНС и может служить хорошим прогностическим признаком (табл. 5).

Важность оценки функциональной активности АНС в данной когорте пациентов подтверждается полученной статистической зависимостью параметров дисфункции АНС (симпатическая/парасимпатическая гиперактивность) с клиническим статусом пациентов с последствиями повреждения головного мозга различной этиологии (табл. 6).

Нежелательные явления

Нежелательных явлений во время проведения исследования не отмечено.

Обсуждение

Травматическое повреждение головного мозга и острое нарушение мозгового кровообращения являются наиболее распространенными причинами смерти и тяжелой инвалидности во всем мире [6]. Шкалы, характеризующие в большей степени функцию стволовых структур головного мозга (FOUR), более информативны в градации уровня сознания кома–вегетативный статус, а шкалы, отражающие в большей мере высшие функции головного мозга (CRS-R), имеют большую репрезентативность в градации уровня сознания вегетативный статус–минимальное сознание–ясное сознание. Согласно ряду современных публикаций, CRS-R, являясь «золотым стандартом» в оценке уровня сознания, слабоинформативна и не позволяет разграничивать группы пациентов, находящихся в коме или вегетативном статусе, ввиду отсутствия в шкале балльной оценки рефлексов ствола головного мозга.

Шкала GCS продемонстрировала высокий уровень достоверности и дифференцированности во

Таблица 5. Временной и спектральный анализ вариабельности ритма сердца в группах пациентов с различным уровнем сознания с повреждениями головного мозга, $M \pm m$

Показатель, в международных единицах	1-я группа <i>n</i> =11	2-я группа <i>n</i> =41	3-я группа <i>n</i> =40	4-я группа <i>n</i> =26
	Кома	Вегетативное состояние	Минимальный уровень сознания	Ясное сознание
SDNN, мс	9,5±0,84	11,37±2,71*	15,12±2,3	18,5±3,31***
RMSSD, мс	5,3±0,75	6,86±2,92	7,51±1,19	8,23±1,44***
pNN50, %	0	1,38±1,8	0,35±0,2	0,61±0,5
SI, н.е.	1449,3±164	1387,9±335,8	1250±235,5	802,1±228,8***
TP, мс ²	141,1±16,9	261,5±126,03	354,4±93,8**	551,8±162***

Примечание. $p < 0,05$: * — между пациентами в вегетативном состоянии и ясном сознании; ** — между пациентами в коме и минимальном сознании; *** — между пациентами в коме и ясном сознании с применением критерия Стьюдента и дисперсионного анализа (ANOVA).

Таблица 6. Взаимосвязь дисфункции автономной нервной системы с уровнем сознания, тяжестью расстройства функционального статуса, общесоматической патологии у пациентов с повреждением головного мозга

Клинические параметры	Se (95% CI)	Sp (95% CI)	χ^2	p
Автономная дисфункция / Летальность при коме и вегетативном состоянии	90% (68,3–98,77)	34,38% (18,57–53,19)	3,9	<0,05
Автономная дисфункция / Летальность при минимальном сознании и ясном сознании	71,43% (41,9–91,61)	63,46% (48,96–76,38)	5,45	0,048
Автономная дисфункция / Общая летальность	82,35% (65,47–93,2)	52,38% (41,19–63,4)	11,95	<0,05
Автономная дисфункция / Уровень сознания	75% (61,05–85,9)	56,06% (43,3–68,26)	11,49	0,019
Автономная дисфункция / Тяжесть общесоматической патологии по шкале SOFA	69,12% (56,7–79,7)	60% (45,18–73,59)	9,95	<0,05
Автономная дисфункция / Функциональный статус по шкале DRS	64,95% (54,59–74,3)	78,95% (54,43–93,95)	12,54	0,0005

Примечание. Se/Sp (95% CI) — чувствительность (Sensitivity) / специфичность (Specificity) с 95% доверительным интервалом (Confidence Interval); χ^2 — критерий Пирсона между клиническими параметрами.

всех 4 клинических группах, что подтверждает актуальность ее применения у пациентов с последствиями повреждения головного мозга. Клиническая ценность GCS отражена в исследованиях у пациентов в периоде острой черепно-мозговой травмы, при различной патологии головного мозга, интоксикациях, а также в реабилитационных мероприятиях, контроле лекарственной терапии [7, 8].

Исследование-опрос об актуальности использования шкал уровня сознания в настоящий момент, проведенное R. Formisano и соавт. (2019) [9] в 50 медицинских центрах США и Европы, показало наибольшую востребованность GCS и CRS-R.

Наиболее информативные и статистически значимые отличия клинических шкал, отражающих функциональное состояние, получены по DRS, которая фиксирует значения от 0 до 15 баллов у пациентов в состоянии ясного или минимального сознания и от 20 до 29 баллов (экстремальные значения низкого функционального и физического состояния) при коме и вегетативном статусе.

Наиболее существенные различия всех групп пациентов при использовании клинических шкал, отражающих общесоматический статус тяжести, получены по SOFA, что делает ее наиболее достоверной в разграничении пациентов, находящихся в градации кома-вегетативный статус-минимальное-ясное сознание. Анализ функционального состояния автономной нервной системы с помощью оценки ВРС позволяет выполнить оценку координации структурных (анатомических) и функциональных систем [10–13].

Резюме основного результата исследования

Полученные данные различной статистической значимости шкал уровня сознания функционального состояния, общесоматической тяжести в градации кома-вегетативный статус-состояние минимального сознания-ясное сознание подтверждают их применение в отделениях интенсивной терапии или нейрореабилитации. Корреляционные взаимоотношения позволяют сформировать типовую схему применения шкал, характеризующих уровень сознания, функциональный и общесоматический статус пациентов с последствиями повреждения головного мозга.

Обсуждение основного результата исследования

В проведенном исследовании с применением высокоинформативных математических подходов произведена селекция прогностической ценности и качества клинических шкал, отражающих сознание, функциональный статус, параметры повседневной активности, тяжесть общесоматического состояния у пациентов с патологией головного мозга. Наиболее достоверные результаты по разграничению пациентов, находящихся в градации кома-вегетативный статус-минимальное сознание-ясное сознание, получены по шкалам GCS, FOUR, CRS-R, менее информативны шкала GOS и ее расширенная версия GOSE, пересмотренная 10-балльная шкала RLAS-R: разграничение достоверно при градации минимальное сознание-ясное сознание.

Клинические шкалы, отражающие функциональное состояние, различны в характеристике статуса пациентов, находящихся в коме, вегетативном статусе, минимальном и ясном сознании. Наиболее информативные и статистически значимые отличия получены по шкале DRS (M. Rapport, 1982), в то время как использование других шкал, характеризующих функциональное состояние или физический статус (индекс Карновского, модифицированная шкала Рэнкина, индекс повседневной активности Мертон и Саттон, индекс мобильности Ривермид, шкала функциональной независимости), имеют слабые различия у пациентов в градации кома–вегетативный статус–минимальное сознание–ясное сознание и не могут полностью дифференцировать динамику состояния пациентов в отделении реанимации, поэтому более пригодны к применению в отделениях реабилитации.

Оценка достоверности клинических шкал, отражающих общесоматический статус тяжести, также показала различный характер их информативности. Наиболее существенные различия групп пациентов получены при использовании шкалы SOFA, что делает инструмент наиболее достоверным в разграничении пациентов, находящихся в градации кома–вегетативный статус–минимальное сознание–ясное сознание, по степени тяжести их общесоматического состояния.

Использование шкал APACHE II, IV, SAPS не показало их функциональности у пациентов с последствиями повреждения головного мозга.

Ограничения исследования

Для повышения достоверности проведенного исследования следует увеличить репрезентативность выборки по группам уровня сознания для более точного соответствия характеристикам популяции или генеральной совокупности в целом.

Заключение

Различные шкалы уровня сознания, функциональной и общесоматической тяжести пациентов с последствиями повреждения головного мозга объективно отличаются между собой клинической значимостью в градации кома–вегетативное состояние–минимальное сознание–ясное сознание. Наибольшая клиническая значимость, характеризующая состояние комы, вегетативного состояния,

минимального и ясного сознания, получена для GCS (шкала ком Глазго), CRS-R (шкала восстановления после комы, пересмотренная), DRS (шкала инвалидности), SOFA (шкала оценки органной недостаточности). Выявлена взаимосвязь между клинически значимыми шкалами уровня сознания, функциональной и общесоматической тяжести пациентов и функциональным состоянием автономной нервной системы. Частота патологических изменений со стороны функционального состояния автономной нервной системы достоверно нарастает в группах пациентов от нормального уровня сознания до состояния минимального сознания, вегетативного статуса и комы, где основным вариантом патологии является симпатическая гиперактивность, превышающая 70% при коме и вегетативном состоянии.

Источник финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Участие авторов

Ю. Ю. Кирячков — разработка цели, метода исследования; **М. В. Петрова** — оптимизация подачи материала; **И. В. Пряников** — формирование рубрики «Обсуждение полученных результатов»; **Д. Л. Колесов** — непосредственное проведение оценки уровня сознания по предложенным методам; **А. Л. Парфёнов** — проведение оценки сознания, функционального статуса, общесоматической патологии; **С. А. Босенко** — подготовка статистических данных. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

Выражение признательности

Написание данной научной статьи стало возможным благодаря коллективам отделений анестезиологии и реаниматологии и нейрореабилитации стационара ФГБНУ «Федеральный научный клинический центр реаниматологии и реабилитологии», их ежедневной работе у постели пациента.

Список литературы / References

1. Zappa S, Fagoni N, Selleri C, et al. Determination of imminent brain death using the full outline of unresponsiveness score and the glasgow coma scale: a prospective, multicenter, pilot feasibility study. *J Intensive Care Med*. 2020;35(2):203–207. doi: 10.1177/0885066617738714.
2. Salmani F, Mohammadi E, Rezvani M, Kazemnezhad A. The effects of family-centered affective stimulation on brain-injured comatose patients' level of consciousness: a randomized controlled trial. *Int J Nurs Stud*. 2017; 74:44–52. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2017.05.014.
3. Majdan M, Brazinova A, Rusnak M, Leitgeb J. Outcome prediction after traumatic brain injury: Comparison of the performance of routinely used severity scores and multivariable prognostic models. *J Neurosci Rural Pract*. 2017;8(1):20–29. doi: 10.4103/0976-3147.193543.
4. Edlow BL, Chatelle C, Spencer CA, et al. Early detection of consciousness in patients with acute severe traumatic brain injury. *Brain*. 2017;140(9):2399–2414. doi: 10.1093/brain/awx176.
5. Feigin VL, Barker-Collo S, Krishnamurthi R, et al. Epidemiology of ischaemic stroke and traumatic brain injury. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2010;24(4):485–494. doi: 10.1016/j.bpa.2010.10.006.
6. Montano N, Stifano V, Skrap B, Mazzucchi E. Management of residual subdural hematoma after burr-hole evacuation. The role of fluid therapy and review of the literature. *J Clin Neurosci*. 2017;46:26–29. doi: 10.1016/j.jocn.2017.08.041.
7. Kinoshita T, Nishimura Y, Nakamura T, et al. Effects of physiatrist and registered therapist operating acute rehabilitation (PROr) in patients with stroke. *PLoS One*. 2017; 12(10):e0187099. doi: 10.1371/journal.pone.0187099.
8. He Q, Zhou Y, Wang F, et al. Blood type o predicts hematoma expansion in patients with intracerebral hemorrhage. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2019;28(8):2311–2317. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.05.022.
9. Formisano R, Giustini M, Aloisi M. An International survey on diagnostic and prognostic protocols in patients with disorder of consciousness. *Brain Inj*. 2019;33(8):974–984. doi: 10.1080/02699052.2019.1622785.
10. Mirow S, Wilson SH, Weaver LK, et al. Linear analysis of heart rate variability in post-concussive syndrome. *Undersea Hyperb Med*. 2016;43(5):531–547.
11. Osteras ND, Lee VH. Neurocardiology. *Handb Clin Neurol*. 2017;140:49–65. doi: 10.1016/B978-0-444-63600-3.00004-0.
12. Esterov D, Greenwald BD. Autonomic dysfunction after mild traumatic brain injury. *Brain Sci*. 2017;7(8):100. doi: 10.3390/brainsci7080100.
13. Hilz MJ, Wang R, Markus J, et al. Severity of traumatic brain injury correlates with long-term cardiovascular autonomic dysfunction. *J Neurol*. 2017;264(9):1956–1967. doi: 10.1007/s00415-017-8581-1.

Информация об авторах

Кирячков Юрий Юрьевич, д.м.н. [Yuri Yu. Kiryachkov, MD, PhD]; адрес: 107031, Москва, ул. Петровка, д. 25, стр. 2 [address: 25-2, Petrovka street, Moscow 107031, Russia]; e-mail: kirychyu@yandex.ru, SPIN-код: 2726-8833

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5113-199X>

Петрова Марина Владимировна, д.м.н., профессор [Marina V. Petrova, MD, PhD, Professor]; e-mail: mail@petrovamv.ru, SPIN-код: 9132-4190

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4272-0957>

Пряников Игорь Валентинович, д.м.н., профессор [Igor V. Pryanikov, MD, PhD, Professor]; e-mail: drpr@ya.ru, SPIN-код: 8551-2286

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3792-9107>

Колесов Дмитрий Львович [Dmitry L. Kolesov, MD], врач анестезиолог-реаниматолог, заведующий отделением; e-mail: dimoz@yandex.ru, SPIN-код: 1016-1374

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8450-5211>

Парфёнов Александр Леонидович, к.м.н., ведущий научный сотрудник [Alexander L. Parfenov, MD, PhD]; e-mail: Alpar45r@mail.ru, SPIN-код: 5952-1959

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5012-0516>

Босенко Сергей Александрович [Sergey A. Bosenko, MD]; врач анестезиолог-реаниматолог; e-mail: bosenich@mail.ru, SPIN-код: 3285-5759

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9447-0622>

<https://doi.org/10.36425/rehab51496>

Новый стимулирующий метод в комплексе логопедических мероприятий для восстановления функции глотания при тяжелых поражениях головного мозга

Н.И. Пряникова¹, Н.Н. Амосова², Е.С. Бердникович³

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии», Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко», Москва, Российская Федерация

³ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научный центр неврологии», Москва, Российская Федерация

Обоснование. Актуальность проведенного исследования обусловлена высокой частотой встречаемости и тяжестью осложнений в виде дисфагии у пациентов с тяжелым повреждением головного мозга в результате инсульта, черепно-мозговой травмы, иных заболеваний и повреждений. **Цель исследования** — оценка эффективности разработанного нового стимулирующего метода — пассивно-активный логопедический криомассаж — для восстановления нарушенной функции глотания (дисфагии) у пациентов с тяжелым повреждением головного мозга, применяемого в комплексе логопедических мероприятий на этапе ранней реабилитации в отделении нейрореанимации. **Методы.** Обследованы 96 пациентов с дисфагией, обусловленной тяжелым повреждением головного мозга, получавшие логопедическую помощь, направленную на восстановление нарушенной функции глотания, в комплексе мероприятий ранней реабилитации, проводимых в условиях отделения нейрореанимации. В соответствии с целью исследования до и после завершения курса реабилитации проводилась оценка степени тяжести дисфагии с применением Шкалы интегративной оценки функции глотания. **Результаты.** Опыт применения нового метода сочетанной низкотемпературной и тактильной стимуляции (пассивно-активный логопедический криомассаж) свидетельствовал о его более высокой эффективности по сравнению с традиционно применяемыми методами логопедической стимуляции. В ходе проводимого исследования выделено три категории пациентов: пациенты с быстрым положительным эффектом, пациенты с более отсроченным эффектом и пациенты без отчетливого положительного эффекта. Проведен анализ возможных причин различного терапевтического эффекта. **Заключение.** Новый метод сочетанной низкотемпературной и тактильной стимуляции — пассивно-активный логопедический криомассаж — можно рекомендовать с учетом разработанных показаний и противопоказаний к широкому применению в практике логопедов, оказывающих помощь при восстановлении нарушенной функции глотания пациентам с тяжелым повреждением головного мозга.

Ключевые слова: дисфагия, тяжелое повреждение головного мозга, реабилитация, логопедическая помощь, оценка функции глотания.

Для цитирования: Пряникова Н. И., Амосова Н. Н., Бердникович Е. С. Новый стимулирующий метод в комплексе логопедических мероприятий для восстановления функции глотания при тяжелых поражениях головного мозга. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2020;2(4):315–321. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab51496>

Поступила: 25.11.2020 **Принята:** 02.12.2020

Обоснование

Современные модели построения индивидуальных реабилитационных программ для пациентов с тяжелым повреждением головного мозга после перенесенных инсультов, черепно-мозговых травм, операций на головном мозге предусматривают возможность максимально раннего начала реабилитационных мероприятий и активное участие всех профильных специалистов мультидисциплинарной бригады для скорейшего восстановления сложного паттерна нарушенных функций. Применительно к этому включение в состав мультидисциплинарной

Список сокращений

ШИОФГ — Шкала интегративной оценки функции глотания

бригады логопедов с первых дней реабилитационных мероприятий, в случае имеющейся у пациентов дисфагии как следствия бульбарных и псевдобульбарных нарушений, представляется клинически обоснованным и целесообразным [1–4].

A New Stimulating Method in a Complex of Speech Therapy Measures to Restore the Function of Swallowing in Severe Brain Damage

N.I. Pryanikova¹, N.N. Amosova², E.S. Berdnikovitch³

¹ Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russian Federation

² N.N. Burdenko National Scientific and Practical Center for Neurosurgery, Moscow, Russian Federation

³ Research Center of Neurology, Moscow, Russian Federation

Background. The significance of this study becomes more relevant due to the higher incidence and complication of dysphagia in patients with severe brain damage as a result of stroke, traumatic brain injury, and other diseases and injuries. **Aims:** the study aimed to assess the effectiveness of the new stimulating method — "passive-active logopedic cryomassage" for restoring impaired swallowing function (dysphagia) in patients with severe brain injury, used in the system of speech therapy measures at the early stage of rehabilitation in the neurointensive care unit. **Methods.** The study involved 96 patients with dysphagia caused by severe brain damage, who received speech therapy assistance aimed at restoring the impaired swallowing function in a system of early rehabilitation measures carried out in a neurorehabilitation department. The severity of dysphagia was evaluated using an integrative assessment of swallowing function scale. **Results.** The practice of using the new method developed in combination with thermal and tactile stimulation (passive-active logopedic cryomassage) indicated its higher efficiency in comparison with the traditionally used methods of speech therapy stimulation. In the course of this study, there were three categories of patients: patients with a rapid positive effect, patients with a delayed effect, and patients with no apparent positive effects. There was an analysis of all possible causes of different therapeutic effects. **Conclusion.** The new method of combined low temperature and tactile stimulation — passive-active logopedic cryomassage — can be approved with all its indications and contraindications for widespread use in the clinical practice assisting speech therapists in the restoration of impaired swallowing function in patients with severe brain injury.

Keywords: dysphagia, severe brain injury, rehabilitation, speech therapy, assessment of swallowing function.

For citation: Pryanikova NI, Amosova NN, Berdnikovitch ES. A New Stimulating Method in a Complex of Speech Therapy Measures to Restore the Function of Swallowing in Severe Brain Damage. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2020;2(4):315–321. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab51496>

Received: 25.11.2020 **Accepted:** 02.12.2020

Дисфагия — достаточно частая проблема у пациентов означенного профиля, поскольку в той или иной степени выраженности диагностируется практически в каждом втором случае. Необходимо понимать, что дисфагия приводит не только к снижению потребления пищи и жидкости, но и тем самым к дефициту питания и обезвоживанию: при дисфагии существенно возрастает риск проникновения в дыхательные пути пищи, жидкости, слюны с последующим развитием тяжелой аспирационной пневмонии, заканчивающейся летальным исходом. Таким образом, одна из самых важных, первостепенных задач логопеда на раннем этапе реабилитации — восстановление акта глотания с предотвращением аспирации и решением вопроса о возможности перевода пациента на физиологическое пероральное кормление, восстановление вербального общения и как итог удаление имплантатов (назогастральный зонд, гастростома, трахеостомическая канюля) [5–7].

При оказании логопедической помощи с целью восстановления нарушенной функции глотания,

учитывая уровень сознания и степень тяжести состояния пациента, как правило, применяется комплекс методов — стимулирующий, компенсаторный, тренировочный, диетический [8]. Доказано, что в случаях дисфагии при имеющейся отсроченной инициации глотательного рефлекса особое значение приобретает именно стимулирующий метод, поскольку улучшение восприятия ротовой чувствительности крайне важно для адекватного формирования пищевого комка. С данной целью перед попыткой пациента осуществить глоток обычно применяется сенсорный стимул, такой как давление ложкой на язык при подаче пищи в рот или кислый, реже холодный пищевой болюс [9–11].

В дополнение к существующей практике логопеда при восстановлении нарушенной функции глотания (дисфагия) у пациентов с тяжелым повреждением головного мозга для активации сомоторной интеграции и скорейшего включения естественных адаптационных реакций нами предложен новый метод сочетанной низкотемператур-

ной и тактильной стимуляции — пассивно-активный логопедический криомассаж.

Цель исследования — оценка эффективности нового стимулирующего метода — пассивно-активного логопедического криомассажа — для восстановления нарушенной функции глотания (дисфагии) у пациентов с тяжелым повреждением головного мозга, применяемого в комплексе логопедических мероприятий на этапе ранней реабилитации в отделении нейрореанимации.

Методы

Дизайн исследования

Выполнено контролируемое (сравнительное) проспективное нерандомизированное когортное клиническое исследование.

Критерии включения

Пациенты с дисфагией легкой, умеренной и тяжелой степени выраженности (степень D_I–D_{III} по Шкале интегративной оценки функции глотания) как следствием тяжелого повреждения головного мозга в результате перенесенных инсультов, черепно-мозговых травм, иных заболеваний и повреждений головного мозга при возможности пациента понимать и выполнять инструкции логопеда.

Условия проведения

Исследование проведено на базе ФГБНУ «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии» (далее ФНКЦ РР).

Продолжительность исследования

Данное исследование проводилось в 2017/2020 гг. Длительность курса ранней нейрореабилитации в условиях отделения нейрореанимации для одного пациента составляло в среднем 32±4,0 дня.

Описание медицинского вмешательства

Работа проводилась в рамках реабилитационного процесса, осуществляемого согласно стандартам оказания медицинской помощи по направлению «Ранняя нейрореабилитация в условиях отделения нейрореанимации пациентов с тяжелыми повреждениями головного мозга, нуждающихся в протезировании жизненно важных функций».

Индивидуальная программа логопедической помощи обследуемых пациентов предусматривала логопедический массаж (активизирующий/расслабляющий); пассивную артикуляционную гимнастику (по мере восстановления мышечного тонуса — активная артикуляционная гимнастика);

использование постуральных методик; комплекс мероприятий по восстановлению функции глотания трахеостомированных пациентов (методика «сухой глоток»; глотание воды при туго раздутой манжетке, часто на фоне использования постуральных методик; последовательный переход от использования различных по консистенции болюсов — от жидкости до загущенной пищи); кормление при частично сдутой манжетке при отсутствии заброса пищи в надманжеточное пространство; пассивно-активный логопедический криомассаж специально подготовленным криоагентом локальных участков ротоглотки. Зоны воздействия криоагентом определялись на основании комплексного логопедического обследования с учетом топики поражения головного мозга, степени выраженности функционального дефекта, внешних специфических признаков поражения (тургор тканей, состояние тонуса мышц, изменение естественного цвета слизистой оболочки полости ротоглотки).

Техника пассивно-активного логопедического криомассажа для восстановления нарушенной функции глотания (дисфагии) у пациентов с тяжелым повреждением головного мозга, применяемого в комплексе логопедических мероприятий на этапе ранней реабилитации в отделении нейрореанимации

Стимуляция глоточной зоны. Зафиксировать язык пациента медицинским шпателем; подготовленный криоагент (ледяной стержень) вводится в полость рта по средней линии языка, далее смещается вправо на глоточную зону и путем точечного нажатия удерживается от 3 до 5 сек. Аналогичная манипуляция выполняется с противоположной стороны. Следующий прием: криоагент перемещается на среднюю линию языка и плавными круговыми движениями осуществляется стимуляция корня языка, после чего криоагент извлекается из полости рта и проводится пальцевой массаж подъязычной зоны и области гортани снаружи с целью инициации глотка и проглатывания жидкости, образовавшейся при таянии криоагента. В случае если пациент не смог осуществить глоток, либо глоток был неполный, необходимо произвести санацию надманжеточного пространства.

Стимуляция нёбной занавески. Медицинский шпатель вводится в полость рта с целью фиксации языка. Криоагент проводится по средней линии языка к нёбной занавеске, и в течение нескольких секунд осуществляется ее стимуляция. Стимуляция осуществляется как с паретичной, так и здоро-

вой стороны. Далее массируются подъязычная зона и область гортани снаружи, по окончании осуществляется санация надманжеточного пространства в случае, если пациент не проглотил жидкость или проглотил частично.

Стимуляция жевательных мышц. Криоагентом осуществляются массажные круговые движения внутренней стороны щеки с одной и с другой стороны по 5 сек, затем проводится массаж щёк снаружи. Далее проводится пальцевый массаж подъязычной зоны и области гортани снаружи. При необходимости проводится санация надманжеточного пространства.

Стимуляция мышц языка. Осуществляются массажные движения криоагентом вокруг языка по 3–5 повторений с каждой стороны, после чего проводится пальцевая стимуляция подъязычной зоны и области гортани снаружи с целью инициации глотка. По окончании осуществляется санация надманжеточного пространства. По завершении процедуры криомассажа с пациентом проводятся артикуляционные упражнения с использованием криоагента: пациент по инструкции логопеда пытается удерживать криоагент губами (2–3 сек) и сделать 2–3 втягивающих движения.

Сеанс заканчивается стимулирующим/расслабляющим массажем (10–15 мин) по стандартной методике с акцентом на паретичную сторону.

Исходы исследования

Основной исход исследования: динамика выраженности степени дисфагии, оцененная при помощи разработанной специалистами ФНКЦ РР Шкалы интегративной оценки функции глотания (ШИОФГ), у пациентов с тяжелым повреждением головного мозга после завершения комплекса логопедических мероприятий на этапе ранней реабилитации в отделении нейрореанимации.

Регистрация результатов исследования

Всем пациентам на этапе ранней реабилитации в отделении нейрореанимации до и после применения комплекса восстановительных логопедических методик определялась степень выраженности дисфагии с использованием ШИОФГ (табл. 1).

Этическая экспертиза

Экспертиза проведена Этическим комитетом ФГБНУ ФНКЦ РР. Решение вынесено на заседании Этического комитета от 07.10.2017, оформлено в выписке из протокола № 10.

Статистический анализ

Статистический анализ полученных данных осуществлялся с помощью пакета прикладных программ Statistica 10.0. Достоверность различий количественных показателей (p) оценивалась по критерию Вилкоксона. Различия считались достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты

Объекты (участники) исследования

В исследование были включены 96 пациентов с дисфагией, обусловленной тяжелым повреждением головного мозга в результате острого нарушения мозгового кровообращения ($n=44$), черепно-мозговой травмы ($n=32$), операций на головном мозге по поводу объемных образований головного мозга ($n=20$), в возрасте от 35 до 72 (средний возраст $52,44 \pm 5,07$) лет, из них мужчин 52, женщин 44, которые были направлены в ФНКЦ РР для проведения комплекса мероприятий ранней реабилитации в условиях отделения нейрореанимации. Тяжесть общего состояния всех обследованных пациентов, оцененная по шкале реабилитационной маршрутизации, составляла от 5 до 6 баллов, при этом среднее значение по шкале тяжести инсульта на-

Таблица 1. Шкала интегративной оценки функции глотания [12]

Шкала	Балльная оценка				
Шкала оценки бульбарных нарушений, степень	1	2	3	4	5
Шкала оценки функции глотания с применением красителя, вариант	1	2	3	4	5
Шкала пенетрации-аспирации (PAS)	1	2	3–4	5–6	7–8
Эндоскопическая оценка тяжести дисфагии (FEDS)	1	2	3	4–5	6
Интегративная оценка	D ₀ Нет дисфагии	D _I Легкая дисфагия	D _{II} Умеренная дисфагия	D _{III} Тяжелая дисфагия	D _{IV} Очень тяжелая дисфагия

Таблица 2. Распределение пациентов по группам изучения с учетом результатов медико-логопедического исследования на момент начала курса реабилитации

Степень выраженности дисфагии, оцененная по ШИОФГ	Группы			
	Основная, n=48		Контрольная, n=48	
D ₀	–		–	
D _I	14	29,2	14	29,2
D _{II}	22	45,8	22	45,8
D _{III}	12	25,0	12	25,0
D _{IV}	–		–	
Суммарный балл	94		94	

Примечание. Суммарный балл рассчитывался по формуле: $\Sigma = (D_0 \times n_1) + (D_I \times n_2) + (D_{II} \times n_3) + (D_{III} \times n_4) + (D_{IV} \times n_5)$.

циональных институтов США (National Institutes of Health Stroke Scale, NIHSS) у пациентов, перенесших острое нарушение мозгового кровообращения, составило $13,3 \pm 1,4$ балла у 12 (27,27%) и $24,7 \pm 1,6$ балла у 32 (72,72%) пациентов.

Из числа обследуемых пациентов были сформированы две равные по количеству (по 48 человек) группы: I — основная, II — контрольная, сопоставимые по половому и возрастному составу, нозологическим формам, общей тяжести состояния и степени выраженности дисфагии (табл. 2).

Основной результат исследования

Проведенная комплексная оценка степени выраженности дисфагии с применением ШИОФГ по завершении индивидуальной программы логопедической помощи свидетельствовала об отчетливой положительной динамике в восстановлении функции глотания как у пациентов основной, так и контрольной группы.

Вместе с тем в основной группе пациентов, у которых в программе логопедической помощи применялся пассивно-активный логопедический криомассаж, показатели были достоверно выше ($p \leq 0,05$). Так, при равном в основной и контрольной группах исходном суммарном балле дисфагии (94 балла) по завершении реабилитационных мероприятий в основной (I) группе данный показатель составил 36 баллов, тогда как в контрольной (II) — 68 (рисунок).

При анализе полученных результатов было установлено, что у пациентов основной группы полное восстановление функции глотания (D₀) было достигнуто в 27 случаях: исходно это были пациенты с нарушением функции глотания степени D_I (n=14), D_{II} (n=12), D_{III} (n=1). Улучшение функции глотания до степени D_I с исходной степенью нарушения функции глотания D_{II} отмечено в 10 случаях, с исходной степенью D_{III} — в 2. В 3 случаях у пациентов с ис-

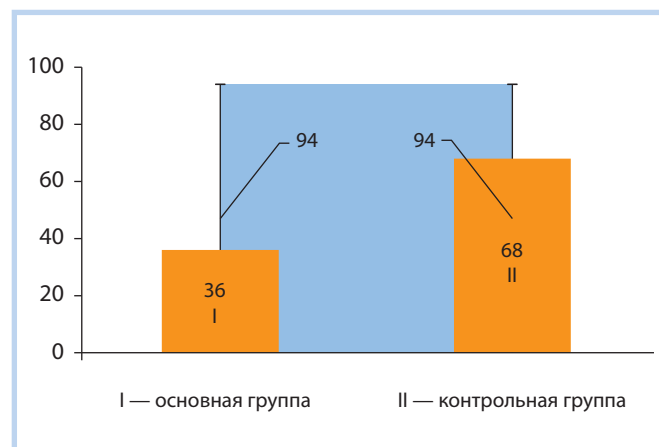
ходной степенью нарушения глотания D_{III} отмечено улучшение функции глотания до степени D_{II}. У 6 пациентов с исходной степенью нарушения глотания D_{III} (тяжелая дисфагия) положительной динамики в восстановлении функции глотания не отмечено, в основном это были пациенты с тяжелым повреждением ствола головного мозга.

В контрольной группе пациентов полное восстановление функции глотания (D₀) было получено в 14 случаях: у 10 пациентов с исходным уровнем дисфагии степени D_I и у 4 с исходным уровнем дисфагии степени D_{II}. Также у пациентов с исходным уровнем дисфагии D_{II} в 8 случаях улучшена функция глотания до степени D_I. У пациентов с тяжелой дисфагией отчетливого улучшения функции глотания на данном этапе реабилитационных мероприятий не достигнуто.

Нежелательные явления

В ходе проведения исследования нежелательных явлений не наблюдалось.

Рис. Динамика восстановления функции глотания в основной и контрольной группах исследуемых (по суммарному баллу дисфагии)



Обсуждение

Клиническая практика свидетельствует, что одним из наиболее эффективных методов восстановления нарушенной функции глотания является использование тренировочного парентерального (через рот) питания смесями, оптимальными по консистенции и вязкости для конкретного пациента. Вместе с тем в комплексе мероприятий логопедической помощи, проводимых при восстановлении нарушенной функции глотания, применяются иные методы, в частности тренировочный, компенсаторный и стимулирующий. Нами при восстановлении нарушенной функции глотания (дисфагии) у пациентов с тяжелым повреждением головного мозга в комплексе логопедических мероприятий на этапе ранней реабилитации в отделении нейрореанимации был применен новый стимулирующий метод — пассивно-активный логопедический криомассаж. В ходе проведенного исследования доказаны высокая эффективность и безопасность метода: полученные результаты при оценке степени выраженности дисфагии на основании Шкалы интегративной оценки функции глотания в основной группе были достоверно выше ($p \leq 0,05$). Однако у пациентов с тяжелой степенью дисфагии (D_{III} по ШИОФГ) эффективность метода была не столь значимой: различия в результатах у пациентов основной и контрольной групп не имели достоверного характера. Исходя

из этого следует, что возможность применения метода пассивно-активного логопедического криомассажа в каждом конкретном случае должна определяться после комплексного обследования пациента по принятым стандартам [5].

Заключение

Залогом успеха при восстановлении нарушенной функции глотания являются совместные усилия пациента и логопеда, поэтому применение стимулирующего метода пассивно-активного логопедического криомассажа требует важного условия — уровня сознания пациента, позволяющего не только понимать, но и выполнять инструкции логопеда.

Источник финансирования

Работа проведена в рамках реабилитационных мероприятий в ФНКЦ РР.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Участие авторов

Авторы внесли равноценный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию для публикации.

Список литературы / References

1. Гречко А.В., Молчанов И.В., Петрова М.В., Пряников И.В. Реабилитация пациентов в хронических критических состояниях вследствие повреждений головного мозга в условиях отделений реанимации и интенсивной терапии: опыт Федерального научно-клинического центра // *Медико-социальная экспертиза и реабилитация*. — 2018. — Т. 21. — № 1–2. — С. 22–29. [Grechko AV, Molchanov IV, Petrova MV, Pryanikov IV. Rehabilitation of patients in chronic critical states due to brain damage in conditions of resuscitation and intensive care units: the experience of the Federal Research and Clinical Center. *Medical and Social Expert Evaluation and Rehabilitation. Russian journal*. 2018;21(1–2):22–29. (In Russ).] doi: 10.18821/1560-9537-2018-21-1-22-29.
2. Кадыков А.С., Шахпаронова Н.В. Реабилитация после инсульта: монография. — М.: Медицинское информационное агентство, 2017. — 240 с. [Kadykov AS, Shakhparonova NV. *Reabilitatsiya posle insul'ta: monografiya*. Moscow: Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo; 2017. 240 p. (In Russ).]
3. Кадыков А.С., Шахпаронова Н.В., Белопасова А.В., Пряников И.В. Нейропластичность и восстановление нарушенных функций после инсульта // *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. — 2019. — Т. 2. — № 2. — С. 32–36. [Kadykov AS, Shakhparonova NV, Belopasova AV, Pryanikov IV. A neuroplasticity and functional restoration after stroke. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2019;2(2):32–36. (In Russ).]
4. Пичугина И.М., Рошка С.Ф., Пряникова Н.И., и др. Дисфагия у пациентов с тяжелыми повреждениями головного мозга // *Доказательная гастроэнтерология*. — 2019. — Т. 8. — № 3–2. — С. 7. [Pichugina IM, Roshka SF, Pryanikova NI, et al. Disfagiya u patsientov s tyazhelymi povrezhdeniyami golovnoy mozga. *Russian journal of evidence-based gastroenterology*. 2019;8(3–2):7. (In Russ).]
5. Белкин А.А. Синдром последствий интенсивной терапии (ПИТ-синдром) // *Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова*. — 2018. — № 2. — С. 12–23. [Belkin AA. Syndrome effects of intensive therapy — post intensive care syndrome (PICS). *Alexander Saltanov Intensive Care Herald*. 2018;(2):12–23. (In Russ).] doi: 10.21320/1818-474X-2018-2-12-23.

6. Даминов В.Д. Методологические подходы к комплексной стационарной нейрореабилитации // *Доктор.Ру.* — 2009. — № 7. — С. 56–62. [Daminov VD. Methodological approaches to complex inpatient neurorehabilitation. *Doktor.Ru.* 2009;(7):56–62. (In Russ).]
7. Петриков С.С., Солодов А.А. Диагностика и лечение нейрогенной дисфагии у больных с острым нарушением мозгового кровообращения // *Неврология и ревматология. Приложение к журналу Consilium Medicum.* — 2018. — № 1. — С. 21–27. [Petrikov SS, Solodov AA. Diagnosis and treatment of neurogenic dysphagia in patients with acute impairment of cerebral circulation. *Neurology and Rheumatology. Suppl. Consilium Medicum.* 2018;(1):21–27. (In Russ).] doi: 10.26442/2414-357X_2018.1.21-27.
8. Диагностика и лечение дисфагии при заболеваниях центральной нервной системы. Клинические рекомендации // *Вестник восстановительной медицины.* — 2014. — № 4. — С. 99–115. [Diagnostika i lechenie disfagii pri zabolevaniyakh tsentral'noi nervnoi sistemy. Klinicheskie rekomendatsii. *Bulletin of rehabilitation medicine.* 2014;(4):99–115. (In Russ).]
9. Горячев А.С., Амосова Н.Н., Зуева Л.Д., Кирьянова Н.М. Методы диагностики нарушений глотания и логопедическая работа на ранних этапах реабилитации нейрохирургических больных. Клинические рекомендации. — М.: Издательство «В. Секачев», 2017. — 44 с. [Goryachev AS, Amosova NN, Zueva LD, Kir'yanova NM. Metody diagnostiki narushenii glotaniya i logopediches-
kaya rabota na rannikh etapakh reabilitatsii neirokhirurgicheskikh bol'nykh. Klinicheskie rekomendatsii. Moscow: Izdatel'stvo "V. Sekachev"; 2017. 44 p. (In Russ).]
10. Мальцева Л.А., Мищенко Е.А., Мосенцев Н.Ф., и др. Дисфагия в отделении интенсивной терапии: эпидемиология, механизмы и клиническое ведение // *Медицина неотложных состояний.* — 2019. — № 6. — С. 30–42. [Maltseva LA, Mishchenko EA, Mosentsev NF, et al. Dysphagia in the intensive care unit: epidemiology, mechanisms, and clinical management. *Meditsina neotlozhnykh sostoyanii.* 2019;(6):30–42. (In Russ).]
11. Петрова Ю.Г., Пряников И.В., Пузин М.Н. Особенности ранней психосоциальной реабилитации пациентов, перенесших инсульт // *Клиническая неврология.* — 2015. — № 1. — С. 18–20. [Petrova YuG, Pryanikov IV, Puzin MN. Features of early psychosocial rehabilitation of patients after cerebral stroke. *Clinical neurology.* 2015;(1):18–20. (In Russ).]
12. Пряникова Н.И. Новые подходы к диагностике нейрогенных нарушений глотания у пациентов с разным уровнем сознания // *Инструментальная и клиническая диагностика дисфагии с логопедической школой: матер. IV нац. конференции.* — М., 2018. — С. 12–13. [Pryanikova NI. Novye podkhody k diagnostike neirogennykh narushenii glotaniya u patsientov s raznym urovnem soznaniya. (Conference proceedings) Instrumental'naya i klinicheskaya diagnostika disfagii s logopedicheskoi shkoloi: mater. IV nats. konferentsii. Moscow; 2018. P. 12–13. (In Russ).]

Информация об авторах

Пряникова Наталья Игоревна [Nataly I. Pryanikova]; 141534, Московская область, Солнечногорский район, д. Лыткино, 777 [address: bld 777, Lytkino, district Solnechnogorskii, 141534, Moscow region, Russia], e-mail: pryanikova1968@bk.ru, SPIN-код: 4614-4725
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4864-795X>

Амосова Наталья Николаевна [Nataly N. Amosova]; e-mail: nata.amosova.00@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5831-151X>
Бердникович Елена Семеновна [Elena S. Berdnikovitch]; e-mail: berdnikovitch.elena@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7608-2255>

<https://doi.org/10.36425/rehab50236>

Применение магнитотерапии высокой и низкой интенсивности в реабилитации пациентов с COVID-19: рандомизированное контролируемое пилотное исследование

Е.С. Силантьева

Клинический госпиталь «Лапино», группа компаний «Мать и дитя», Москва, Российская Федерация

Обоснование. Реабилитация пациентов после тяжелых пневмоний, ассоциированных с новой коронавирусной инфекцией, требует поиска эффективных инструментов восстановления нарушенных функций, в том числе методов аппаратной физиотерапии. **Цель исследования** — оценить эффективность применения высокоинтенсивного электромагнитного поля (ВИМП) в реабилитации пациентов после перенесенной пневмонии, ассоциированной с COVID-19. **Методы.** На амбулаторном этапе реабилитации после тяжелых пневмоний, ассоциированных с COVID-19, проведено обследование и лечение 40 пациентов. Все пациенты получили комплекс реабилитационных мероприятий, включая ежедневные сеансы лечебной гимнастики (№ 15) и процедуры магнитотерапии (№ 15). Пациенты были случайным образом рандомизированы на 2 группы: 20 пациентов в группе лечения, которые получали терапию ВИМП (аппарат BTL-6000 Super Inductive System), и 20 пациентов в группе контроля, получавшие низкоинтенсивную магнитотерапию (аппарат BTL-4000 Premium). **Результаты.** В ходе проводимой терапии ни один пациент не выбыл из исследования, не было выявлено нежелательных побочных эффектов и осложнений. Доказана высокая клиническая эффективность комплекса реабилитационных мероприятий, более выраженная в группе пациентов, получавших терапию ВИМП. Результаты подтверждены достоверной динамикой клинических показателей по данным валидного опросника и положительными изменениями данных спирометрии. **Заключение.** В комплексной реабилитации на амбулаторном этапе у пациентов после тяжелой пневмонии, ассоциированной с COVID-19, целесообразно использование ВИМП.

Ключевые слова: COVID-19, пневмония, магнитотерапия, высокоинтенсивное электромагнитное поле, физическая и реабилитационная медицина.

Для цитирования: Силантьева Е. С. Применение магнитотерапии высокой и низкой интенсивности в реабилитации пациентов с COVID-19: рандомизированное контролируемое пилотное исследование. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2020;2(4):322–328. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab50236>

Поступила: 16.11.2020 **Принята:** 07.12.2020

Список сокращений

ВИМП — высокоинтенсивное электромагнитное поле
КТ 1–4 — единый стандарт классификации вирусных пневмоний по степени тяжести
CAPSQ (Community-Acquired Pneumonia Symptom Questionnaire) — опросник по симптомам внебольничной пневмонии
FVC (forced vital capacity) — форсированная жизненная емкость легких
FEV1 (forced expiratory volume in 1 second) — объем форсированного выдоха за одну секунду
MGT (magnetic therapy) — низкоинтенсивная магнитотерапия
SIS (super inductive system) — высокоинтенсивное электромагнитное поле

Обоснование

Появление и распространение новой коронавирусной инфекции диктует необходимость совершенствования медицинских мероприятий, включая этапы реабилитации после перенесенных тяжелых форм заболевания [1]. Установлено, что пневмонии, ассоциированные с SARS-CoV-2, у значительного числа пациентов протекают тяжело, зачастую с нарушением функции других жизненно важных органов и систем, стойкими расстройствами дыхательной функции легких, кислородтранспортной функции крови и сосудов. У реконвалесцентов формируется клиническая картина, обусловленная рядом резидуальных состояний, одним из которых является нарушение паттерна дыхания [2]. Особенно выраженные расстройства механики дыхательных движений развиваются после пребывания на искусственной вентиляции легких. Дисфункция диафрагмы, ослабление межреберных и других мышц, участвующих в дыхании, в условиях общей мышечной слабости

The Application of High Intensity and Low Intensity Magnetotherapy in Rehabilitation of Patients with COVID-19: A Randomized Controlled Pilot Study

E.S. Silantyeva

Clinical hospital "Lapino", group of companies "Mother and Child", Moscow, Russian Federation

Background. Rehabilitation of patients after severe pneumonia associated with the new coronavirus infection requires the searching for effective tools to restore impaired functions, including methods of hardware physiotherapy. **Aims:** to evaluate the effectiveness of the application of high-intensity electromagnetic field (HIEF) in rehabilitation of patients after pneumonia associated with COVID-19. **Methods.** 40 patients were examined and treated at the outpatient stage of rehabilitation after severe pneumonia associated with COVID-19. All patients received a set of rehabilitation measures, including daily sessions of therapeutic exercises (No. 15) and magnetotherapy procedures (No. 15). Patients were randomly separated into 2 groups: 20 patients in the treatment group (TG) who received HIEF therapy (BTL-6000 Super Inductive System) and 20 patients in the control group (CG) who received low-intensity magnetotherapy (BTL-4000 Premium device). **Results.** During the course of therapy, there were no patients who dropped out of the study, and no undesirable side effects and complications were identified. The high clinical effectiveness of the complex of rehabilitation measures has been proven, more pronounced in the group of patients receiving HIEF therapy. The results were confirmed by reliable dynamics of clinical indicators according to the valid questionnaire and positive changes in spirometry data. **Conclusions.** Application of high-intensity electromagnetic field (HIEF) is advisable in complex outpatient rehabilitation of patients after severe pneumonia associated with COVID-19.

Keywords: COVID-19, pneumonia, magnetotherapy, high-intensity electromagnetic field, physical and rehabilitation medicine.

For citation: Silantyeva ES. The Application of High Intensity and Low Intensity Magnetotherapy in Rehabilitation of Patients with COVID-19: A Randomized Controlled Pilot Study. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2020;2(4):322–328. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab50236>

Received: 16.11.2020 **Accepted:** 07.12.2020

приводят к снижению параметров вентиляции, усугубляя нарушения, обусловленные специфическими изменениями легочной ткани.

На любом из этапов реабилитационных мероприятий важнейшую роль играет выполнение специальных дыхательных упражнений [3–5]. Кроме того, большое значение имеет применение физических методов лечения, в том числе различных видов электромагнитной стимуляции или магнитотерапии [6]. Лечебное применение низкоинтенсивной магнитотерапии оказывает сосудорасширяющее, бронхолитическое действие, уменьшает воспалительную реакцию [7–9]. При стимуляции высокоинтенсивным (1–2 Тл) электромагнитным полем (ВИМП), кроме того, активируется потенциал действия мотонейронов, что приводит к сокращению мышц [10–12]. Описана возможность ВИМП неинвазивно улучшать функцию дыхательной мускулатуры [13–15] и параметры легочной вентиляции [16–18].

Цель исследования — оценить эффективность применения высокоинтенсивного электромагнитного поля в реабилитации пациентов после перенесенной пневмонии, ассоциированной с COVID-19.

Методы

Дизайн исследования

Выполнено рандомизированное контролируемое пилотное исследование. В исследование были включены 40 пациентов, которые проходили программу реабилитации после пневмонии, ассоциированной с COVID-19 (3-й амбулаторный этап). Пациенты были случайным образом рандомизированы на 2 группы — 20 пациентов в группе лечения и 20 пациентов в группе контроля.

Критерии соответствия

Критерии включения: взрослый возраст пациента (≥ 18 лет); наличие SARS-CoV-2, подтвержденное лабораторными исследованиями; наличие двусторонней полисегментарной пневмонии, подтвержденной при компьютерной томографии не ниже средней степени тяжести (не менее КТ-2); снижение показателей внешнего дыхания, подтвержденное спирометрией.

Критерии исключения: повышение температуры тела $>37,5^{\circ}\text{C}$; отрицательная динамика данных компьютерной томографии и/или маркеров воспаления; отрицательная динамика электрокардио-

грамм на протяжении 2 предшествующих недель; высокие кардиологические риски; наличие тромбозов или нарушения гемокоагуляции, требующие дополнительной терапии; сатурация PO_2 (парциальное давление кислорода) $<95\%$; снижение PO_2 более чем на 4 пункта при физической нагрузке; наличие металлических имплантатов, кардиостимулятора или других внутренних электронных устройств, а также общие противопоказания к физиотерапии.

Условия проведения

Исследование проведено на базе отделения реабилитации Клинического госпиталя «Лапино» группы компаний «Мать и дитя» (Москва, Россия).

Продолжительность исследования

Исследование проведено в период с апреля по июнь 2020 г. Пациенты после пневмоний, ассоциированных с COVID-19, проходившие стационарное лечение в Клиническом госпитале «Лапино» в период 1-й волны пандемии, после завершения двухнедельного периода самоизоляции на протяжении 15 дней (15 ежедневных визитов) получали комплексную амбулаторную реабилитацию в соответствующем департаменте госпиталя.

Описание медицинского вмешательства

Перед началом лечения с целью исключения противопоказаний все пациенты проходили обследование: определение SARS-Cov-2 методом полимеразной цепной реакции; мультиспиральная компьютерная томография органов грудной полости; клинический, общий и биохимический анализ крови (включая высокочувствительный С-реактивный белок и интерлейкин 6), коагулограмма и D-димер; электрокардиография; консультация пульмонолога.

Комплексная реабилитация включала 15 ежедневных визитов. При этом пациенты обеих групп получали индивидуальное занятие дыхательной гимнастикой с инструктором лечебной физкультуры на протяжении 30 мин. Курс лечебной гимнастики составил 15 процедур. Непосредственно после занятия пациенты получали процедуры магнитотерапии.

Пациенты группы лечения проходили терапию с помощью ВИМП (BTL-6000 Super Inductive System, Великобритания), целью которой была стимуляция диафрагмы и межреберных мышц с последующим усилением кровообращения. Положение пациента — лежа на боку. Локализация воздействия: индуктор располагали на дорсальной стороне туловища (в области между 1–6-м ребром) последовательно справа и слева. Использовали программу «улучшение дыхания». Интенсивность терапии была установлена выше

уровня моторного порога, но в пределах комфортного для пациента диапазона, до появления двигательной реакции, усиливающей вдох (через день, № 8) и выдох (через день, № 7), последовательно справа и слева. Курс составил 15 процедур, ежедневно.

Пациенты контрольной группы с целью улучшения кровообращения получали низкоинтенсивную магнитотерапию (BTL-4000 Premium, Великобритания). Положение пациента — лежа на животе. Локализация воздействия: 2 независимых индуктора располагали на зону проекции нижних 2/3 легкого с обеих сторон. Продолжительность — 30 мин. Курс составил 15 процедур, ежедневно.

Исходы исследования

Все пациенты обеих групп завершили назначенный курс лечения. О побочных эффектах или возникновении боли не сообщали.

Методы регистрации исходов

Обследование больных начинали с опроса, включающего выяснение жалоб, предъявляемых пациентами; изучения анамнеза; общеклинического осмотра. Обследование включало комплекс современных и разрешенных к применению в лечебной практике клиничко-функциональных и инструментальных методов, в том числе до начала и непосредственно после завершения программы реабилитации все пациенты прошли оценку функции внешнего дыхания (спирометрия) (BTL Cardiopoint-Spiro, BTL Industries Ltd.) и заполнили опросный лист по симптомам внебольничной пневмонии CAPSQ (Community-Acquired Pneumonia Symptom Questionnaire) [19]. Полученные данные подвергались статистическому анализу.

Этическая экспертиза

Исследование проводили в соответствии с принципами Надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice; GCP) и применимыми национальными нормами с соблюдением прав и обеспечением безопасности и благополучия участников исследования, которые находились под защитой этических принципов, сформулированных в Хельсинкской декларации. Перед началом исследования от каждого участника было получено добровольное письменное информированное согласие. Каждый участник исследования был письменно проинформирован о характере, продолжительности лечебно-реабилитационных мероприятий и ожидаемых результатах лечения.

Статистический анализ

Все полученные результаты обрабатывали с помощью программы Microsoft Office Excel (2010) и паке-

та прикладных статистических программ для медико-биологических исследований STATISTICA 10,0/W RUS. Для анализа количественных переменных применяли метод однофакторного дисперсионного анализа и критерий Манна–Уитни; анализ категориальных переменных проводили при помощи критерия χ^2 Пирсона. Результаты статистического анализа представлены как $M \pm SD$, где M — среднее, SD — стандартное отклонение. Достоверность отличий (p) внутри группы, полученных за период наблюдения, оценивали с помощью Т-критерия Вилкоксона. Различия считались достоверными при $<0,05$.

Результаты

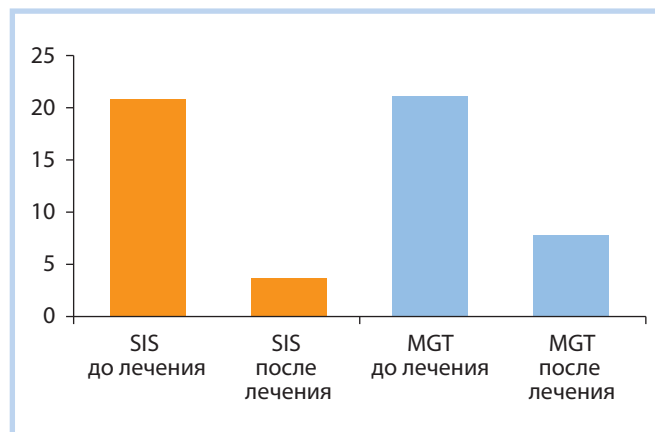
Объекты (участники) исследования

Было обследовано всего 40 пациентов. Основная группа (группа лечения; $n=20$) — 16 мужчин, 4 женщины, средний возраст $56,6 \pm 11,9$ года. Контрольная группа ($n=20$) — 14 мужчин, 6 женщин, средний возраст $57,9 \pm 11,8$ года. В составе комплексной реабилитации пациенты группы лечения получали терапию ВИМП (аппарат BTL-6000 Super Inductive System), пациенты контрольной группы — низкоинтенсивную магнитотерапию (аппарат BTL-4000 Premium). По возрасту, сопутствующим заболеваниям, тяжести перенесенной пневмонии и результатам предшествующего реабилитационным мероприятиям обследования пациенты в изучаемых группах были статистически однородны.

Основные результаты исследования

Программа реабилитации привела к улучшению самочувствия пациентов в обеих группах, что подтверждено значительной достоверной динамикой

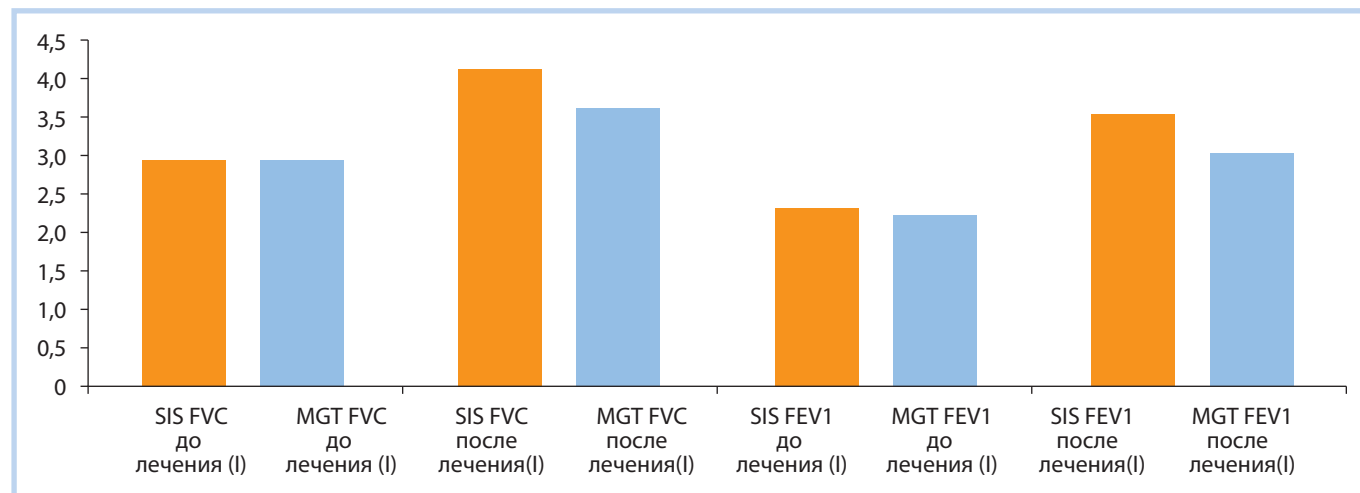
Рис. 1. Результаты анкетирования (CAPSQ)



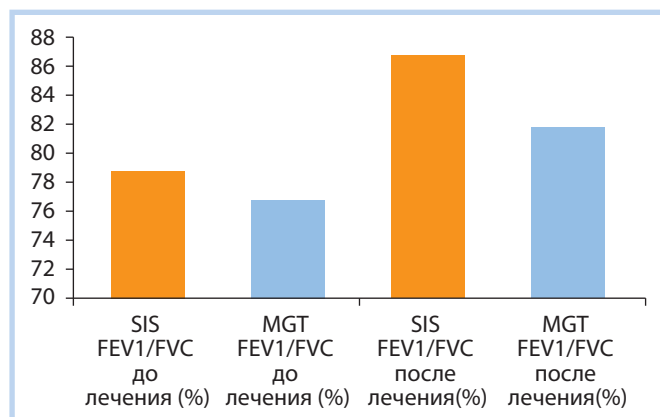
Примечание. CAPSQ (Community-Acquired Pneumonia Symptom Questionnaire) — опросник по симптомам внебольничной пневмонии; SIS (super inductive system) — группа лечения высокоинтенсивным (1–2 Тл) электромагнитным полем; MGT (magnetic therapy) — низкоинтенсивная магнитотерапия в группе контроля.

кой показателей специализированного опросника по симптомам внебольничной пневмонии ($p < 0,001$). Положительной клинической динамике сопутствовали позитивные изменения спирометрических параметров в обеих группах ($p < 0,05$). Сравнение результатов лечения между группами продемонстрировало значимые достоверные отличия (в баллах) по симптомам внебольничной пневмонии (рис. 1) и по данным спирометрии ($p < 0,05$). Так, в группе лечения достигнуто улучшение FVC на 12,4%, FEV1 на 16,3% (рис. 2) и FEV1/FVC на 4% соответственно (рис. 3),

Рис. 2. Результаты спирометрии



Примечание. SIS FVC / SIS FEV1 — показатели форсированной жизненной емкости легких / объема форсированного выдоха за одну секунду на фоне лечения высокоинтенсивным (1–2 Тл) электромагнитным полем; MGT FVC / MGT FEV1 — показатели форсированной жизненной емкости легких / объема форсированного выдоха за одну секунду на фоне низкоинтенсивной магнитотерапии в группе контроля.

Рис. 3. Результаты спирометрии

Примечание. SIS (super inductive system) — группа лечения высокоинтенсивным (1–2 Тл) электромагнитным полем; MGT (magnetic therapy) — низкоинтенсивная магнитотерапия в группе контроля; FVC/FEV1 — показатели форсированной жизненной емкости легких / объема форсированного выдоха за одну секунду.

превышающее аналогичные показатели спирометрии в группе контроля, где FVC (forced vital capacity) — форсированная жизненная емкость легких (объем воздуха, выдыхаемого при максимально быстром и сильном выдохе); FEV1 (forced expiratory volume in 1 sec) — объем форсированного выдоха за 1 сек (объем воздуха, выдохнутого в течение первой секунды форсированного выдоха).

Результаты группы лечения. Сравнение показателей опросника CAPSQ до и непосредственно после лечения продемонстрировало существенные достоверные изменения ($p < 0,001$) — $20,8 \pm 7,0$ и $3,7 \pm 3,9$ баллов соответственно.

Анализ данных спирометрии в динамике лечения выявил достоверные ($p < 0,001$) изменения показателей FVC, FEV1 и их соотношения (FEV1/FVC). Показатели FVC до терапии составляли $2,9 \pm 0,8$ л, или $73,5 \pm 10,3\%$, после лечения — $4,1 \pm 1,1$ л, или $102,8 \pm 11,8\%$. Общее улучшение составило 29,3%. Показатели FEV1 до лечения составляли $2,3 \pm 0,6$ л, или $69,4 \pm 8,7\%$, после лечения — $3,5 \pm 0,9$ л, или $107,1 \pm 14,4\%$. Общее улучшение составило 37,7%. Сравнение соотношения FEV1/FVC (%) до и после лечения также было достоверно значимым ($p < 0,001$) — $78,6 \pm 6,9$ л, или $98,9 \pm 9,0\%$, и $86,6 \pm 5,8$ л, или $109,3 \pm 9,1\%$, соответственно. Улучшение составило 10,4%.

Результаты контрольной группы. В группе контроля произошедшие в динамике лечения изменения параметров анкетирования и спирометрии были односторонними с группой лечения, но менее значительны. Однако достоверные различия показало сравнение баллов опросника CAPSQ ($21,2 \pm 6,9$

и $7,8 \pm 3,7$ баллов до и после лечения соответственно) и сравнение данных оценки функции внешнего дыхания ($p < 0,001$). Так, при сравнении FVC, FEV1 и их соотношения до и после вмешательства получены следующие результаты: FVC до лечения — $2,9 \pm 0,8$ л, $67,6 \pm 10,2\%$, после лечения — $3,6 \pm 0,7$ л, $84,5 \pm 6,8\%$, общее улучшение — 16,9%; FEV1 до лечения — $2,2 \pm 0,6$ л, $66,0 \pm 11,4\%$, после лечения — $3,0 \pm 0,6$ л, $87,4 \pm 7,9\%$, общее улучшение — 21,4%; FEV1/FVC (%) до терапии — $76,6 \pm 5,4\%$, $96,2 \pm 6,0\%$, после лечения — $81,7 \pm 3,7\%$, $102,6 \pm 3,9\%$, общее улучшение — 6,4%.

Обсуждение

Резюме основного результата исследования

Согласно полученным данным, применение комплексной реабилитации на амбулаторном этапе у пациентов после тяжелой (не менее КТ-2) полисегментарной пневмонии, ассоциированной с COVID-19, приводит к значительному клиническому улучшению и восстановлению параметров функции внешнего дыхания. Включение в программу реабилитации инновационного метода терапии — высокоинтенсивного электромагнитного поля — повышает эффективность реабилитационных мероприятий.

Обсуждение основного результата исследования

Динамическое наблюдение за пациентами исследуемых групп продемонстрировало достоверные, положительно направленные различия клинических показателей, подтвержденных данными анкетирования и параметров спирометрии, изученных до и после лечения. Важно подчеркнуть, что при сравнении между группами были выявлены достоверные значительные различия в степени достигнутого эффекта. Так, клиническая динамика и динамика показателей функции внешнего дыхания была существенно более выражена в группе лечения.

Сегодня не вызывает сомнения эффективность физических упражнений на этапе реабилитации пациентов после тяжелой пневмонии, ассоциированной с COVID-19. Однако дисфункция дыхательной мускулатуры, в том числе приобретенная слабость диафрагмы, требуют кропотливой индивидуальной работы квалифицированного персонала по нервно-мышечному переучиванию, восстановлению оптимального паттерна дыхательных движений. Появление неинвазивной технологии, направленно индуцирующей сокращение собственно диафрагмы и других мышечных групп, участвующих в акте дыхания, создает условия для быстрой реабилитации этих сложно управляемых отделов скелетной мускулатуры. Возможность улучшения функции внешнего дыхания путем стиму-

ляции дыхательной мускулатуры была показана при использовании ВИМП у пациентов с неврологическими заболеваниями. Результаты нашего исследования показали исключительную эффективность ВИМП для респираторной реабилитации пациентов после тяжелой пневмонии, ассоциированной с COVID-19.

Ограничения исследования

Насколько известно автору, это первое исследование, в котором предполагается, что ВИМП можно использовать для улучшения параметров вентиляции у пациентов после тяжелой пневмонии, ассоциированной с COVID-19. Согласно результатам данного пилотного исследования, мы предполагаем, что ВИМП можно и нужно интегрировать в реабилитацию таких пациентов. При этом наиболее востребованной данная технология будет у тяжелой категории больных, у которых дисфункция дыхательной мускулатуры выражена в наибольшей степени. Данное пилотное исследование обеспечивает основу, на которой могут быть построены исследования ВИМП в течение более длительных периодов времени и на примерах других групп пациентов, чтобы дополнительно определить его клиническую эффективность.

Список литературы / References

1. Иванова Г.Е., Шмонин А.А., Мальцева М.Н., и др. Реабилитационная помощь в период эпидемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 на первом, втором и третьем этапах медицинской реабилитации // *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. — 2020. — Т. 2. — № 2. — С. 98–117. [Ivanova GE, Shmonin AA, Maltseva MN, et al. Rehabilitation care during the new COVID-19 coronavirus infection epidemic at first, second and third medical rehabilitation phases. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2020;2(2):98–117. (In Russ).] doi: 10.36425/rehab34148.
2. Временные методические рекомендации. *Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19)*. Версия 6 (28.04.2020) (утв. Минздравом России). [Vremennye metodicheskie rekomendatsii. *Profilaktika, diagnostika i lechenie novoi koronavirusnoi infektsii (COVID-19)*. Versiya 6 (28.04.2020) (utv. Minzdravom Rossii). (In Russ).]
3. Bartlo P, Bauer N. *Pulmonary rehabilitation post-acute care for Covid-19 (PACER)*. Available from: https://youtu.be/XjY_7O3Qpd8.
4. Wytrychowski K, Hans-Wytrychowska A, Piesiak P, et al. Pulmonary rehabilitation in interstitial lung diseases: A review of the literature. *Adv Clin Exp Med*. 2020; 29(2):257–264. doi: 10.17219/acem/115238.
5. Tingbo L, Hongliu C, Yu C, et al. Handbook of COVID-19 prevention and treatment. Zhejiang University School of Medicine; 2020.
6. Иванова Г.Е., Баландина И.Н., Бахтина И.С., и др. Медицинская реабилитация при новой коронавирусной инфекции (COVID-19) // *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. — 2020. — Т. 2. — № 2. — С. 140–189. [Ivanova GE, Balandina IN, Bakhtina IS, et al. Medical rehabilitation at a new coronavirus infection (COVID-19). *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2020; 2(2):140–189. (In Russ).] doi: 10.36425/rehab34231.
7. *Физическая и реабилитационная медицина: национальное руководство* / Под ред. Г.Н. Пономаренко. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. — 688 с. [Fizicheskaya i reabilitatsionnaya meditsina: natsional'noe rukovodstvo. Ed. by G.N. Ponomarenko. Moscow: GEOTAR-Media; 2016. 688 p. (In Russ).]
8. Куликов А.Г., Ярустовская О.В., Герасименко М.Ю., и др. *Применение общей магнитотерапии в клинической практике*. Учебное пособие. — М., 2017. — 52 с. [Kulikov AG, Yarustovskaya OV, Gerasimenko MYu, et al. *Primenenie obshchei magnitoterapii v klinicheskoi praktike*. Uchebnoe posobie. Moscow; 2017. 52 p. (In Russ).]
9. Герасименко М.Ю., Кончугова Т.В., Кульчицкая Д.Б., и др. *Магнитотерапия в лечебно-реабилитационных*

Заключение

ВИМП — неинвазивный, высокоэффективный лечебный метод, который хорошо переносится больными после тяжелой COVID-19-пневмонии, не требует высоких трудозатрат и расходных материалов. В комплексной реабилитации на амбулаторном этапе ни один пациент после тяжелой пневмонии, ассоциированной с COVID-19, не выбыл из исследования, не было выявлено нежелательных побочных эффектов и осложнений. Доказана высокая клиническая эффективность данного метода.

Источник финансирования

Исследование и публикации статьи осуществлены на личные средства авторского коллектива.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Участие авторов

Автор прочел и одобрил финальную версию до публикации.

- и профилактических программах. Клинические рекомендации. — М.: Российский научный центр медицинской реабилитации и курортологии, 2015. — 47 с. [Gerasimenko MYu, Konchugova TV, Kulchitskaya DB, et al. *Magnitoterapiya v lechebno-reabilitatsionnykh i profilakticheskikh programmakh*. Klinicheskie rekomendatsii. Moscow: Rossiiskii nauchnyi tsentr meditsinskoi reabilitatsii i kurortologii; 2015. 47 p. (In Russ).]
10. Ушаков А.А. *Практическая физиотерапия*. 2-е изд., испр. и доп. — М.: МИА, 2009. — 602 с. [Ushakov AA. *Prakticheskaya fizioterapiya*. 2nd revised and updated. Moscow: MIA; 2009. 602 p. (In Russ).]
 11. Каплан М.А., Казанцев Ю.И., Попучиев В.В. *Клиническое применение импульсного магнитного поля высокой интенсивности*. — М., 2006. [Kaplan MA, Kazantsev YuI, Popuchiev VV. *Klinicheskoe primeneniye impul'snogo magnitnogo polya vysokoi intensivnosti*. Moscow; 2006. (In Russ).]
 12. Markov MS. Expanding use of pulsed electromagnetic field therapies. *Electromagn Biol Med*. 2007;26(3):257–274. doi: 10.1080/15368370701580806.
 13. Lin VW, Hsiao IN, Zhu E, Perkash I. Functional magnetic stimulation for conditioning of expiratory muscles in patients with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82(2):162–166. doi: 10.1053/apmr.2001.18230.
 14. Lin VW, Hsieh C, Hsiao IN, Canfield J. Functional magnetic stimulation of expiratory muscles: a noninvasive and new method for restoring cough. *J Appl Physiol* (1985). 1998;84(4):1144–1150. doi: 10.1152/jappl.1998.84.4.1144.
 15. Singh H, Magruder M, Bushnik T, Lin VW. Expiratory muscle activation by functional magnetic stimulation of thoracic and lumbar spinal nerves. *Crit Care Med*. 1999;27(10):2201–2205. doi: 10.1097/00003246-199910000-00022.
 16. Hemingway A, Bors E, Hobby RP. An investigation of the pulmonary function in paraplegics. *J Clin Invest*. 1958;37(5):773–782. doi: 10.1172/JCI103663.
 17. Roth EJ, Lu A, Primack S, et al. Ventilatory function in cervical and high thoracic spinal cord injury. Relationship to level of injury and tone. *Am J Phys Med Rehabil*. 1997;76(4):262–267. doi: 10.1097/00002060-199707000-00002.
 18. Uijl SG, Houtman S, Folgering HT, Hopman MT. Training of the respiratory muscles in individuals with tetraplegia. *Spinal Cord*. 1999;37(8):575–579. doi: 10.1038/sj.sc.3100887.
 19. Lamping DL, Schroter S, Marquis P and all. The community-acquired pneumonia symptom questionnaire: a new, patient-based outcome measure to evaluate symptoms in patients with community-acquired pneumonia. *Chest*. 2002; 122:920–929. doi: 10.1378/chest.122.3.920

Информация об авторе

Силантьева Елена Сергеевна, д.м.н. [Elena S. Silantyeva, MD, PhD]; адрес: 143081, МО, Одинцовский район, 1-е Успенское шоссе, д. 111 [address:

1st Uspenskoe highway, 111, Moscow region, 143081, Russia]; e-mail: essdoktor@yandex.ru
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7667-3231>

<https://doi.org/10.36425/rehab54463>

Клиническое применение высокоточных методов нейровизуализации у новорожденных с повреждениями головного мозга

С.А. Перепелица^{1, 2}

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», Калининград, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии», Москва, Российская Федерация

С целью снижения постнатальной дисфункции центральной нервной системы и предотвращения необратимых последствий сформулирована и реализуется концепция ранней реабилитации новорожденных. При планировании программы реабилитации необходим индивидуальный подход к ребенку с учетом особенностей его развития. Особого внимания заслуживает всесторонняя оценка анатомического и функционального состояния головного мозга новорожденного с помощью высокоточных нейровизуализационных технологий, которые могут применяться на различных этапах реабилитационного лечения.

Ключевые слова: новорожденный, реабилитация, ультразвук, нейровизуализация, магнитный резонанс, ультра-фаст-доплер.

Для цитирования: Перепелица С. А. Клиническое применение высокоточных методов нейровизуализации у новорожденных с повреждениями головного мозга. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2020;2(4):329–336. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab54463>

Поступила: 09.12.2020 **Принята:** 17.12.2020

Clinical Application of High-Precision Neuroimaging Methods in Newborns with Brain Injuries

S.A. Perepelitsa^{1, 2}

¹ Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation

² Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russian Federation

In order to reduce postnatal dysfunction of the central nervous system and prevent irreversible consequences, the concept of early rehabilitation of newborns has been formulated and implemented. When planning a rehabilitation program, an individual approach to the child is required, taking into account the characteristics of his development. A comprehensive assessment of the anatomical and functional state of the brain of a newborn with the help of high-precision neuroimaging technologies that can be used at different stages of rehabilitation treatment deserves special attention.

Keywords: newborn, rehabilitation, neuroimaging, magnetic resonance, ultrafast doppler.

For citation: Perepelitsa SA. Clinical Application of High-Precision Neuroimaging Methods in Newborns with Brain Injuries. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2020;2(4):329–336. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab54463>

Received: 09.12.2020 **Accepted:** 17.12.2020

Список сокращений

МГц — мегагерцы
МРТ — магнитно-резонансная томография
НСГ — нейросонография
ФМРТ — функциональная магнитно-резонансная томография
ЦНС — центральная нервная система
UfD (UltraFast Doppler) — ультрафаст-доплер

Обоснование

Повреждения и заболевания центральной нервной системы (ЦНС) у новорожденных остаются предметом научного изучения, в котором принимают участие многие специалисты. Актуальность темы велика, т.к. этот контингент находится в группе высокого риска смертности и инвалидности в различные периоды жизни [1–3]. В настоящее время сформулирована и реализуется концепция ранней реабилитации новорожденных с целью снижения постнатальной дисфункции ЦНС и предотвращения необратимых последствий. Степень повреждения структур головного мозга зависит от особенностей течения беременности и родов, гестационного и постнатального возраста ребенка, длительности и степени тяжести перинатальной гипоксии, качества оказания медицинской помощи новорожденному [4, 5]. В зависимости от совокупности факторов для ребенка должна создаваться индивидуальная программа ранней реабилитации, которая будет учитывать нюансы внутриутробного и постнатального развития, локализации и степени повреждения структур головного мозга.

Целью настоящего обзора является поиск и обсуждение современной зарубежной и отечественной литературы, в которой представлены современные методы нейровизуализации ЦНС, которые позволяют оценить анатомическое и функциональное состояние головного мозга новорожденных.

Современные методы нейровизуализации ЦНС

Проанализированы зарубежные и отечественные научные публикации, посвященные технологиям нейровизуализации, которые можно рекомендовать для комплексной оценки состояния головного мозга новорожденных при планировании реабилитации, в том числе в отделении реанимации и интенсивной терапии. Поиск производился в базах данных PubMed и Elibrary по публикациям (обзо-

ры литературы, обзорные исследования) за период 2005–2020 гг. Изучались полнотекстовые и реферативные базы данных. Дополнительными условиями отбора первоисточников являлись наличие описания перспективных методик, которые имеют высокую диагностическую ценность. Использовались следующие поисковые запросы: «перинатальная асфиксия», «новорожденный», «недоношенные дети», «реабилитация», «ультразвук», «нейровизуализация», «магнитный резонанс», «ультрафаст-доплер», «newborn», «rehabilitation», «neuroimaging», «magnetic resonance», «ultrafast doppler», «functional magnetic resonance imaging». В анализ включены 54 публикации 2012–2020 гг., одна публикация 2005 г.

Ранняя реабилитация и развитие ребенка в отделении реанимации и интенсивной терапии являются основной концепцией лечения, в том числе и глубоко недоношенных детей. Планирование восстановительного лечения должно основываться на анализе следующих показателей: гестационный и постнатальный возраст, степень зрелости структур головного мозга, наличие анатомических изменений, оценка центральной и регионарной мозговой гемодинамики. Этот комплекс мероприятий является обязательным, т.к. недооценка одного из факторов может привести к негативным последствиям при проведении реабилитации. Любой из методов, влияя на состояние мозгового кровотока и вызывая его разнонаправленные изменения, может усугублять или приводить к развитию негативных изменений в структурах головного мозга ребенка. Задача ранней реабилитации заключается в нормализации основных гемодинамических показателей мозгового кровообращения с целью минимизации анатомических повреждений ЦНС под контролем современных нейровизуализационных методик. Основными их преимуществами должны быть безопасность, доступность, возможность многократного выполнения у постели больного, быстрая интерпретация полученных результатов и сопоставление с клиническим статусом ребенка.

Нейросонография

В неонатологии и педиатрии основным методом нейровизуализации структур головного мозга является нейросонография. Это быстрый и надежный способ провести оценку зрелости структур, сопоставить ее с гестационным возрастом, детально изучить анатомическое строение всех отделов мозга, в том числе герминативного матрикса у недоношенных новорожденных [6–9]. Противопоказаний к проведению нейросонографии нет. Метод может

использоваться многократно в любых клинических условиях, включая отделение реанимации и интенсивной терапии, при нахождении ребенка в кувезе.

Разработаны нейросонографические критерии степени зрелости структур головного мозга. Планируя раннюю реабилитацию недоношенному ребенку, врачу необходимо убедиться, что строение головного мозга соответствует его сроку гестации, или имеются индивидуальные особенности перинатального развития ЦНС. Нейросонография позволяет точно установить локализацию повреждения, срок его возникновения, т.к. некоторые патологические изменения в головном мозге могут возникать еще в антенатальном периоде, что является ключевым моментом при разработке программы реабилитации [10, 11]. Особого внимания заслуживают глубоко недоношенные новорожденные с очень низкой и экстремально низкой массой тела, т.к. значительные колебания перфузии способствуют возникновению кровоизлияний в зародышевый матрикс, желудочковую систему и повреждению белого вещества головного мозга [9, 12, 13]. Сопоставляя клинические и инструментальные данные, можно прогнозировать у ребенка развитие неврологических, нейросоматических нарушений и своевременно назначить реабилитацию [14, 15].

При разработке программы реабилитации необходимо учитывать, что в постнатальном периоде у недоношенных новорожденных, по сравнению с доношенными, объем мозга, а также объемы серого вещества, мозжечка и ствола мозга меньше. Для них характерно симметричное уменьшение коркового серого вещества височной доли, а большие объемы серого и белого вещества локализуются в затылочной, теменной и лобной коре. Эти изменения характерны для детей, у которых в неонатальном периоде не было гипоксически-ишемического повреждения головного мозга. Различия в объемах серого вещества и ствола мозга остаются значительными при достижении скорректированного постнатального возраста. У детей раннего возраста, родившихся недоношенными, сохраняются значительные изменения регионального объема во всех тканях мозга. Таким образом, постнатальное развитие головного мозга происходит по определенной траектории, тесно связанной с пренатальным морфогенезом ЦНС [16, 17].

Допплерографическое исследование сосудов головного мозга

Стандартная нейросонография должна дополняться доплерографическим исследованием сосудов головного мозга для детальной оценки вну-

тримозговой гемодинамики. У взрослого человека перфузия контролируется с помощью механизмов ауторегуляции, чтобы поддерживать мозговой кровоток в постоянном диапазоне артериального давления [18]. Аналогичная ауторегуляция сосудистого тонуса у недоношенных детей отсутствует, особенно при очень ранних преждевременных родах [13, 19, 20]. Нарушения ауторегуляции мозгового кровотока могут приводить к снижению или прекращению диастолического кровотока, а также к его повышению из-за дилатации артерий [21]. Системная гипотензия вызывает нарушение ауторегуляции мозгового кровообращения, что приводит к уменьшению перфузии, снижению доставки кислорода, нарушению его экстракции в коре головного мозга и белом веществе [22].

Колебания системного и снижение мозгового кровотока на фоне нарушения церебральной ауторегуляции могут привести к кровоизлияниям в структуры головного мозга у новорожденных, находящихся в критическом состоянии. В связи с этим возникает необходимость количественной оценки кровообращения в сосудах головного мозга. Допплеровское исследование является инструментом, который применяется для объективной оценки скорости кровотока, регистрации изменений цереброваскулярного сопротивления и определения нижних пределов ауторегуляции церебрального кровотока [23]. Метод может применяться для дифференциальной диагностики врожденных сосудистых аномалий, например врожденного стеноза артерии, или полной окклюзии тромбом [24], а также синус-тромбозов [25].

Индекс резистентности, определяемый при доплерографии, является универсальным показателем, отражающим периферическое сопротивление сосудов, независимо от их диаметра [22]. Он может использоваться как маркер риска развития гипоксически-ишемической энцефалопатии [21]. Комплексная ультразвуковая оценка морфологического состояния структур головного мозга, изменения его эхогенности, размеров боковых желудочков и измеряемые гемодинамические параметры мозгового кровотока используются для ранней диагностики гипоксически-ишемической энцефалопатии. Снижение скорости кровотока в мозговых артериях и повышение индекса резистентности сосудов является признаком этого заболевания [26]. Вероятными исходами гипоксически-ишемической энцефалопатии могут быть кистозные изменения, прогрессирующая дилатация желудочков, перивентрикулярная лейкомаляция и атрофия коры головного мозга.

Колебания системного кровотока в сочетании с нарушением церебральной ауторегуляции у недоношенных детей могут привести к повреждениям структур головного мозга во время лечения или проведения манипуляций, что может стать причиной смерти ребенка, длительного заболевания или инвалидности [27, 28]. В связи с этим ведется поиск методов, позволяющих непрерывно контролировать мозговой кровоток у новорожденных. Группа ультразвуковых исследований Норвежского университета науки и технологий (Norwegian University of Science and Technology) разработала неинвазивную ультразвуковую доплеровскую систему, названную NeoDoppler. Она имеет высокое временное разрешение, что обеспечивается частотой 300 кадров/сек, а выборка данных может быть синхронизирована, например, с показателями внутрисердечной гемодинамики или артериального давления. Датчик NeoDoppler работает в непрерывном режиме на частоте 7,8 МГц, передаваемый луч покрывает область в диапазоне глубин от 3 до 35 мм. Скорости мозгового кровотока измеряются в 41 параллельном срезе с шагом 0,78 мм. Ультразвуковой датчик фиксирован в шапочке. Его располагают над большим родничком новорожденного, через который проводится исследование [29]. В зоне действия ультразвукового луча NeoDoppler позволяет оценить скорость кровотока одновременно в нескольких сосудах различного диаметра. Это свойство дает методике большее преимущество по сравнению с обычным ультразвуком, при котором оценка мозгового кровообращения осуществляется в крупных сосудах головного мозга [29, 30]. Протоколы сканирования NeoDoppler могут быть адаптированы к индивидуальным клиническим ситуациям, когда необходимо проведение записи в непрерывном режиме или с определенными интервалами. Во время исследования можно выбрать непрерывный режим, а после завершения процедур снова отрегулировать его до обычного прерывистого режима. NeoDoppler может использоваться как метод прикроватного непрерывного мониторинга в течение нескольких часов или даже дней [29].

Сверхбыстрое доплеровское исследование, ультрафаст-доплер (UltraFast Doppler)

В настоящее время не существует идеального метода, с помощью которого можно у постели больного одновременно визуализировать анатомию головного мозга и отображение гемодинамической информации с высоким пространственным и временным разрешением. Компьютерная томография и контрастная магнитно-резонансная ангиография дают представление только об анатомии сосудов

головного мозга пациента в статический момент времени и обеспечивают пространственное разрешение до 600 мкм. С помощью этих методов невозможна оценка изменений сосудистой гемодинамики, а также имеются значительные ограничения для визуализации у новорожденных [31].

Еще одним перспективным методом, позволяющим всесторонне оценить морфологию и гемодинамику головного мозга, является сверхскоростное доплеровское исследование, или ультрафаст-доплер (UltraFast Doppler, UfD). Метод объединяет цветовое доплеровское картирование и импульсный доплеровский режим, что многократно увеличивает качество исследования и дает возможность получить новые данные о микроциркуляторном русле головного мозга при различных повреждениях [32, 33]. Перед врачом стоит задача максимально всестороннего обследования новорожденного, перенесшего перинатальную гипоксию, или имеющего признаки морфологического повреждения структур головного мозга. При планировании лечения в первую очередь необходимо знать степень и уровень вероятных изменений, т.к. постгипоксический период характеризуется синдромом реперфузии головного мозга, восстановлением нарушенной микроциркуляции. В связи с этим стандартного доплеровского исследования недостаточно, т.к. оно проводится в магистральных сосудах и не дает точного представления о гемодинамике в сосудах малого размера и микроциркуляторном русле. Для этого используется ультрафаст-доплер — усовершенствованный метод с очень высоким временным разрешением более 100 000 кадров в секунду, частотой до 70 МГц, что значительно повышает диагностическую ценность метода [34, 35]. Высокая частота кадров позволяет до 50 раз увеличить чувствительность к изменениям кровотока в головном мозге человека, которые коррелируют с нейронной активностью, оцениваемой с помощью электроэнцефалографии [36]. Методика позволяет провести визуализацию сосудов малого калибра, т.к. в них происходят локальные изменения гемодинамики [32, 37]. Наименьший диаметр сосуда, определяемый с помощью UfD, составляет 250 мкм, однако при нормальной скорости кровотока и отсутствии анемии возможна визуализация сосудов размером менее 250 мкм [36].

Сверхбыстрое энергетическое доплеровское исследование головного мозга новорожденного позволяет детально изучить венозную сеть вокруг боковых желудочков, визуализировать и оценить кровотоки в таламических и кортикальных артериях и венах, а также Виллизиевом круге и сосудах мозжечка [35].

Высокое пространственно-временное разрешение и высокая чувствительность методики позволяют получить уникальную информацию не только об анатомических особенностях головного мозга пациента, но и функциональном состоянии различных структур, детально оценить пространственные и временные изменения, происходящие на уровне мелких сосудов в остром периоде болезни и во время лечения [33, 38]. Сверхбыстрое доплеровское исследование значительно превосходит функциональную магнитно-резонансную томографию не только по техническим характеристикам, но и возможности использования в неонатологии и педиатрии [31].

Функциональная магнитно-резонансная томография

Еще одним перспективным методом оценки состояния головного мозга является функциональная магнитно-резонансная томография (ФМРТ), которая отображает пространственно-временное распределение нейронной активности в структурах головного мозга. Метод основан на различиях в парамагнитных свойствах оксигемоглобина и дезоксигемоглобина, концентрация которых зависит от уровня оксигенации крови. При активации определенной области головного мозга происходит усиление нейрональной активности, что приводит к увеличению церебрального кровотока, повышению локальной концентрации оксигемоглобина и снижению дезоксигемоглобина. Появившаяся разница между ними вызывает изменение МРТ-сигнала [39–42]. С помощью ФМРТ можно проводить функциональную визуализацию с высоким пространственным разрешением не только поверхностных, но и глубоких структур головного мозга [42, 43]. Метод неинвазивен, позволяет точно определить участки активации структур мозга, может быть адаптирован к широкому спектру нейробиологических исследований, благодаря чему получил распространение в когнитивной нейробиологии человека [41]. ФМРТ имеет высокую информативность для оценки областей мозга, которые реагируют на сенсорные стимулы или имеют функциональную связь между собой. С его помощью на основе гемодинамических и метаболических реакций можно предположить изменения нейрональной активности. Однако ФМРТ не может ответить на вопросы об изменениях нейрональной активности в малом временном масштабе; он может лишь сделать вывод об изменении нейронной активности в интервале более 2–3 сек [44].

В настоящее время описаны особенности гемодинамики у недоношенных и доношенных детей [45], а также плода и новорожденного [46], в связи с чем

необходима модификация аппарата: ФМРТ у новорожденных должна проводиться с использованием оптимизированных настроек катушки [46] с применением модифицированной методики исследования в покое и движении [47].

Исследование, проведенное в состоянии покоя, отражает синхронную и спонтанную электрическую активность нейронов. С помощью этой модификации можно оценить развитие функциональных связей в различных структурах головного мозга, например сенсомоторной, слуховой, зрительной областей [48], а также увидеть нейропластические изменения [49–51], связанные с ранним терапевтическим вмешательством. ФМРТ в состоянии покоя может использоваться для проведения структурного и функционального анализа таламокортикальных связей. С ее помощью установлено, что в мозге новорожденного таламические области, связанные с моторной и первичной сенсорной корой (затылочной и соматосенсорной), имеют большие пространственные связи, чем области, связанные с ассоциативными областями, такими как височная и теменная кора. Созревание кортикоталамических связей, внутриталамических модуляторных систем играют значительную роль в функциональной оценке состояния этих структур головного мозга. Для врача значимым является понимание и динамическая оценка анатомического и функционального созревания таламуса у новорожденных с перинатальными повреждениями ЦНС [52]. ФМРТ в состоянии покоя может использоваться для определения функциональных нейронных сетей головного мозга [48].

Простое движение, активная или пассивная мобилизация любой конечности может вызвать значимое изменение ФМРТ-сигнала [45, 53], который представляет анатомическую и функциональную информацию о состоянии коры головного мозга младенцев, в том числе с гипоксически-ишемической энцефалопатией. С помощью этой методики обнаружено, что у недоношенных детей с гестационным возрастом 26 нед присутствует латерализация сенсомоторной коры, что необходимо учитывать при планировании реабилитации [47].

Неонатальную ФМРТ можно использовать для изучения результатов ранней реабилитации новорожденных, находящихся в отделении интенсивной терапии, с помощью музыкальных произведений. Так, L. Lordier с соавт. [54] показали, что прослушивание музыки различного темпа вызывает у недоношенных детей появление функциональной связи между первичной слуховой корой слева и стриатумом справа, первичной слуховой корой справа и хвостатым ядром слева или между первичной слу-

ховой корой и скорлупой слева и верхней височной извилиной. Исследование показало, что недоношенные дети имеют слуховую дисстимуляцию: при прослушивании известного ритма у них возникает более высокая активность скорлупы, чем при новом ритме музыки. С помощью ФМРТ показано, что усиление связи между слуховой корой, таламусом, хвостатым ядром и скорлупой у недоношенных детей может не только отражать их чувствительность к известной музыке, но и вызывать увеличение нейронных реакций на конкретный известный музыкальный темп [54].

Неонатальная ФМРТ позволяет проводить сенсорный анализ коры головного мозга, что увеличивает его клиническую значимость. Использование методики позволяет изучать эволюцию развития головного мозга, восстановление моторики у детей, получавших реабилитационное лечение [55].

Заключение

Работа междисциплинарной медицинской команды с новорожденными детьми должна иметь глобальную цель, связанную не только с получением хороших ближайших результатов, но и отдаленных исходов. Концепция раннего реабилитационного лечения в неонатальной практике является основополагающей задачей. Доминирующим можно признать принцип индивидуальности при планировании программы нейрореабилитации на основе нейро-

биологии головного мозга, особенно при наличии индивидуальной траектории его развития. В арсенале специалистов имеется широкий спектр методов нейровизуализации, позволяющих детально изучить любую интересующую структуру головного мозга. Используя современные методы диагностики и контроля лечения, можно персонифицированно разработать программу нейрореабилитации для проблемного ребенка и значительно улучшить его нервно-психическое и физическое развитие, когнитивные и социальные функции. Необходимо преодолеть существующий барьер между детской неврологией и нейровизуализацией, в которой существуют надежные методы как для базового определения морфологических и функциональных изменений в структурах головного мозга, так и оценки их в результате нейрореабилитационного лечения.

Источник финансирования

Исследование и публикация статьи осуществлены на личные средства автора.

Конфликт интересов

Автор подтвердил отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Участие авторов

Автор прочел и одобрил финальную версию статьи до публикации.

Список литературы / References

1. Jarjour IT. Neurodevelopmental outcome after extreme prematurity: a review of the literature. *Pediatr Neurol.* 2015; 52(2):143–152. doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2014.10.027.
2. Овчинникова Т.В., Таранушенко Т.Е., Салмина А.Б., Карпова Л.Н. Структура заболеваемости недоношенных детей, рожденных с очень низкой и низкой массой тела // *Педиатрия.* — 2018. — Т. 97. — № 1. — С. 162–166. [Ovchinnikova TV, Taranushenko TE, Salmina AB, Karpova LN. Morbidity structure of premature infants born with very low and low birth weight. *Pediatrics.* 2018;97(1):162–166. (In Russ).]
3. Основные показатели здоровья матери и ребенка, деятельность службы охраны детства и родовспоможения в Российской Федерации. Сборник. — М., 2019. — 170 с. [The main indicators of maternal and child health, the activities of the child welfare and obstetric service in the Russian Federation. Collection. Moscow; 2019. 170 p. (In Russ).]
4. Ремнева О.В., Фадеева Н.И., Кореновский Ю.В., Черкасова Т.М. Прогнозирование и ранняя диагностика тяжелых церебральных расстройств у недоношенных новорожденных // *Педиатрия.* — 2015. — Т. 94. — № 1. — С. 13–18. [Remneva OV, Fadeeva NI, Korenovskiy YuV, Cherkasova TM. Prediction and early diagnosis of severe cerebral disorders in premature infants. *Pediatrics.* 2015;94(1):13–18. (In Russ).]
5. Михеева И.Г., Лопанчук П.А., Кузнецова Ю.А., и др. Микрососудистые нарушения у новорожденных детей различного гестационного возраста с гипоксическим ишемическим поражением ЦНС // *Педиатрия.* — 2017. — Т. 96. — № 1. — С. 10–15. [Mikheeva IG, Lopanchuk PA, Kuznetsova YuA, et al. Microvascular disorders in newborns of different gestational ages with hypoxic-ischemic lesions of the central nervous system. *Pediatrics.* 2017;96(1):10–15. (In Russ).]
6. Van der Knoop BJ, Zonnenberg IA, Verbeke ML, et al. Additional value of advanced neurosonography and magnetic resonance imaging in fetuses at risk for brain damage. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2020;56(3):348–358. doi: 10.1002/uog.21943.
7. Fritz J, Polansky SM, O'Connor SC. Neonatal neurosonography. *Semin Ultrasound CT MR.* 2014;35(4):349–364. doi: 10.1053/j.sult.2014.05.009.

8. American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM); American College of Radiology (ACR); Society of Radiologists in Ultrasound (SRU) Collaborators. AIUM practice guideline for the performance of neurosonography in neonates and infants. *J Ultrasound Med.* 2014;33(6):1103–1110. doi: 10.7863/ultra.33.6.1103.
9. Agut T, Alarcon A, Cabañas F, et al. Preterm white matter injury: ultrasound diagnosis and classification. *Pediatr Res.* 2020;87(Suppl 1):37–49. doi: 10.1038/s41390-020-0781-1.
10. Ballardini E, Tarocco A, Baldan A, et al. Universal cranial ultrasound screening in preterm infants with gestational age 33–36 weeks. A retrospective analysis of 724 newborns. *Pediatr Neurol.* 2014;51(6):790–794. doi: 10.1016/j.pediatr-neurol.2014.08.012.
11. Ballardini E, Tarocco A, Rosignoli C, et al. Universal head ultrasound screening in full-term neonates: a retrospective analysis of 6771 infants. *Pediatr Neurol.* 2017;71:14–17. doi: 10.1016/j.pediatr-neurol.2017.03.012.
12. Alderliesten T, Lemmers PM, Smarius JJ, et al. Cerebral oxygenation, extraction, and autoregulation in very preterm infants who develop peri-intraventricular hemorrhage. *J Pediatr.* 2013;162(4):698–704.e692. doi: 10.1016/j.jpeds.2012.09.038.
13. Waitz M, Nusser S, Schmid MB, et al. Risk factors associated with intraventricular hemorrhage in preterm infants with ≤ 28 weeks gestational age. *Klin Padiatr.* 2016;228(5):245–250. doi: 10.1055/s-0042-111689.
14. Nikolaeva GV, Sidorenko EI, Guseva MR, Akbasheva NG. [Neurological disorders in preterm children with neuropathy. (In Russ).] *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova.* 2017;117(11 Vyp 2):41–46. doi: 10.17116/jnevro201711711241-46.
15. Weise J, Heckmann M, Bahlmann H, et al. Analyses of pathological cranial ultrasound findings in neonates that fall outside recent indication guidelines: results of a population-based birth cohort: survey of neonates in Pomerania (SNiP-study). *BMC Pediatr.* 2019;19(1):476. doi: 10.1186/s12887-019-1843-6.
16. Ball G, Boardman JP, Rueckert D, et al. The effect of preterm birth on thalamic and cortical development. *Cereb Cortex.* 2012;22(5):1016–1024. doi: 10.1093/cercor/bhr176.
17. Padilla N, Alexandrou G, Blennow M, et al. Brain growth gains and losses in extremely preterm infants at term. *Cerebral Cortex.* 2015;25(7):1897–1905. doi: 10.1093/cercor/bht431.
18. Greisen G. Autoregulation of cerebral blood flow in newborn babies. *Early Hum Dev.* 2005;81(5):423–428. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2005.03.005.
19. Faust K, Härtel C, Preuß M, et al. Short-term outcome of very-low-birthweight infants with arterial hypotension in the first 24 h of life. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2015;100:F388–F392. doi: 10.1136/archdischild-2014-306483.
20. Camfferman FA, de Goederen R, Govaert P, et al. Diagnostic and predictive value of Doppler ultrasound for evaluation of the brain circulation in preterm infants: a systematic review. *Pediatr Res.* 2020;87(Suppl 1):50–58. doi: 10.1038/s41390-020-0777-x.
21. Kumar AS, Chandrasekaran A, Asokan R, Gopinathan K. Prognostic value of resistive index in neonates with hypoxic ischemic encephalopathy. *Indian Pediatr.* 2016;53(12):1079–1082.
22. Краева О.А., Башмакова Н.В. Особенности центральной и церебральной гемодинамики у недоношенных новорожденных в неонатальном периоде // *Лечение и профилактика.* — 2018. — Т. 8. — № 1. — С. 31–36 [Kraeva OA, Bashmakova NV. Features of central and cerebral hemodynamics in premature infants in the neonatal period. *Treatment and Prevention.* 2018;8(1):31–36. (In Russ).]
23. Vutskits L. Cerebral blood flow in the neonate. *Paediatr Anaesth.* 2014;24(1):22–29. doi: 10.1111/pan.12307.
24. Deeg KH. Sonographic and doppler sonographic diagnosis of neonatal ischemic stroke. *Ultraschall Med.* 2017;38(4):360–376. doi: 10.1055/s-0043-114409.
25. Ольхова Е.Б., Дубасова Н.М., Полякова Е.В. Нейросонография в диагностике синус-тромбозов у младенцев // *Радиология-практика.* — 2018. — Т. 72. — № 6. — С. 6–21. [Olkhova EB, Dubasova NM, Polyakova EV. Neurosonography in the diagnostics of sinus-thrombosis in infants. *Radiology Practice.* 2018;6(72):6–21. (In Russ).]
26. Guan B, Dai C, Zhang Y, et al. Early diagnosis and outcome prediction of neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy with color Doppler ultrasound. *Diagn Interv Imaging.* 2017;98(6):469–475. doi: 10.1016/j.diii.2016.12.001.
27. Bolisetty S, Dhawan A, Abdel-Latif M, et al. Intraventricular hemorrhage and neurodevelopmental outcomes in extreme preterm infants. *Pediatrics.* 2014;133:55–62. doi: 10.1542/peds.2013-0372.
28. Jarjour IT. Neurodevelopmental outcome after extreme prematurity: a review of the literature. *Pediatr Neurol.* 2015;52(2):143–152. doi: 10.1016/j.pediatr-neurol.2014.10.027.
29. Vik SD, Torp H, Follestad T, et al. NeoDoppler: New ultrasound technology for continuous cerebral circulation monitoring in neonates. *Pediatr Res.* 2020;87(1):95–103. doi: 10.1038/s41390-019-0535-0.
30. Peebles ES, Mehic E, Mourad PD, Juul SE. Fast Doppler as a novel bedside measure of cerebral perfusion in preterm infants. *Pediatr Res.* 2016;79(2):333–338. doi: 10.1038/pr.2015.227.
31. Demené C, Pernot M, Biran V, et al. Ultrafast Doppler reveals the mapping of cerebral vascular resistivity in neonates. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2014;34(6):1009–1017. doi: 10.1038/jcbfm.2014.49.
32. Demené C, Deffieux T, Pernot M, et al. Spatiotemporal clutter filtering of ultrafast ultrasound data highly increases Doppler and ultrasound sensitivity. *IEEE Trans Med Imaging.* 2015;34(11):2271–2285. doi: 10.1109/TMI.2015.2428634.
33. Demené C, Mairesse J, Baranger J, et al. Ultrafast Doppler for neonatal brain imaging. *NeuroImage.* 2019;185:851–856. doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.04.016.
34. Tanter M, Fink M. Ultrafast imaging in biomedical ultrasound. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control.* 2014;61(1):102–119. doi: 10.1109/TUFFC.2014.6689779.

35. Hwang M, Piskunowicz M, Darge K. Advanced ultrasound techniques for pediatric imaging. *Pediatrics*. 2019; 143(3):e20182609. doi: 10.1542/peds.2018-2609.
36. Demene C, Baranger J, Bernal M, et al. Functional ultrasound imaging of brain activity in human newborns. *Sci Transl Med*. 2017;9(411):eaah6756. doi: 10.1126/scitranslmed.aah6756.
37. Demené C, Tiran E, Sieu LA, et al. 4D microvascular imaging based on ultrafast Doppler tomography. *NeuroImage*. 2016;127:472–483. doi: 10.1016/j.neuroimage.2015.11.014.
38. Hingot V, Brodin C, Lebrun F, et al. Early Ultrafast Ultrasound Imaging of Cerebral Perfusion correlates with Ischemic Stroke outcomes and responses to treatment in Mice. *Theranostics*. 2020;10(17):7480–7491. doi: 10.7150/thno.44233.
39. Caballero-Gaudes C, Reynolds RC. Methods for cleaning the BOLD fMRI signal. *NeuroImage*. 2017;154:128–149. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.12.018.
40. Buchbinder BR. Functional magnetic resonance imaging. *Handbook of Clinical Neurology*. 2016;135(4):61–92. doi: 10.1016/B978-0-444-53485-9.00004-0.
41. Huettel SA. Functional MRI (fMRI). Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry. Third Edition. Elsevier Ltd.; 2017. P. 778–784. doi: 10.1016/B978-0-12-803224-4.00053-4.
42. Vasung L, Turk EA, Ferradal SL, et al. Exploring early human brain development with structural and physiological neuroimaging. *NeuroImage*. 2019;187:226–254. doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.07.041.
43. Tanter M, Fink M. Ultrafast imaging in biomedical ultrasound. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control*. 2014;61(1):102–119. doi: 10.1109/TUFFC.2014.6689779.
44. Shmuel A. On the relationship between functional MRI signals and neuronal activity. Casting Light on the Dark Side of Brain Imaging; 2019. P. 49–53. doi: 10.1016/B978-0-12-816179-1.00007-4.
45. Arichi T, Fagiolo G, Varela M, et al. Development of BOLD signal hemodynamic responses in the human brain. *NeuroImage*. 2012;63(2):663–673. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.06.054.
46. Kirton A. Modeling developmental plasticity after perinatal stroke: defining central therapeutic targets in cerebral palsy. *Pediatr Neurol*. 2013;48(2):81–94. doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2012.08.001.
47. Scheef L, Nordmeyer-Massner JA, Smith-Collins AP, et al. Functional laterality of task-evoked activation in sensorimotor cortex of preterm infants: an optimized 3 T fMRI study employing a customized neonatal head coil. *PLoS One*. 2017;12(1):e0169392. doi: 10.1371/journal.pone.0169392.
48. Gao W, Alcauter S, Elton A, et al. Functional network development during the first year: relative sequence and socioeconomic correlations. *Cereb Cortex*. 2015;25(9):2919–2928. doi: 10.1093/cercor/bhu088.
49. Adhikari MH, Beharelle RA, Griffo A, et al. Computational modeling of resting-state activity demonstrates markers of normalcy in children with prenatal or perinatal stroke. *J Neurosci*. 2015;35(23):8914–8924. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4560-14.2015.
50. Manning KY, Menon RS, Gorter JW, et al. Neuroplastic sensorimotor resting state network reorganization in children with hemiplegic cerebral palsy treated with constraint-induced movement therapy. *J Child Neurol*. 2015; 31(2):1–7. doi: 10.1177/0883073815588995.
51. Smyser CD, Neil JJ. Use of resting-state functional MRI to study brain development and injury in neonates. *Semin Perinatol*. 2015;39(2):130–140. doi: 10.1053/j.semperi.2015.01.006.
52. Ferradal SL, Gagoski B, Jaimes C, et al. System-specific patterns of thalamocortical connectivity in early brain development as revealed by structural and functional MRI. *Cereb Cortex*. 2019;29(3):1218–1229. doi: 10.1093/cercor/bhy028.
53. Graham AM, Pfeifer JH, Fisher PA, et al. The potential of infant fMRI research and the study of early life stress as a promising exemplar. *Dev Cogn Neurosci*. 2015;12:12–39. doi: 10.1016/j.dcn.2014.09.005.
54. Lordier L, Loukas S, Grouiller F, et al. Music processing in preterm and full-term newborns: a psychophysiological interaction (PPI) approach in neonatal fMRI. *NeuroImage*. 2019;185:857–864. doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.03.078.
55. Bleyenheuft Y, Dricot L, Gilis N, et al. Capturing neuroplastic changes after bimanual intensive rehabilitation in children with unilateral spastic cerebral palsy: a combined DTI, TMS and fMRI pilot study. *Res Dev Disabil*. 2015; 43–44:136–149. doi: 10.1016/j.ridd.2015.06.014.

Информация об авторе

Перепелица Светлана Александровна, д.м.н., профессор кафедры хирургических дисциплин [Svetlana A. Perepelitsa, Dr Sci, Professor]; адрес: 236016, Россия, Калининград, ул. А. Невского, д. 14

[address: 14, A. Nevskiy str., Kaliningrad, 236041, Russia];
e-mail: sveta_perepeliza@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4535-9805>

<https://doi.org/10.36425/rehab52648>

Спектральная оценка ЭЭГ сна у пациентов с хроническими нарушениями сознания посредством многооконного дискретного преобразования Фурье

Ю.Ю. Некрасова^{1, 2}, М.М. Канарский¹, И.В. Борисов¹, Д.С. Янкевич¹, Д.Л. Колесов¹,
О.Б. Лукьянец¹, К.М. Горшков¹, Н.П. Шпичко¹, Т.Н. Крылова¹, Н.Ю. Ковалёва¹,
О.Ю. Люткин¹, В.В. Евстифеев¹

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии», Москва, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Российская Федерация

Обоснование. В последние годы спектральный анализ электроэнцефалограммы (ЭЭГ) становится все более популярным в связи с развитием компьютерных технологий. Среди методов спектрального анализа наиболее часто используют различные варианты оконного преобразования Фурье, учитывающего нестационарную природу ЭЭГ-сигнала. **Цель исследования** — изучение спектрального состава ЭЭГ сна у пациентов с хроническим нарушением сознания методом дискретного преобразования Фурье с окнами в виде вытянутых сфероидальных последовательностей. **Методы.** В настоящей статье проведено исследование спектрального состава ЭЭГ сна 32 пациентов с нарушениями сознания. Для спектрального анализа ЭЭГ сна использовались данные полисомнографии, полученные в течение ночи. Для построения гипноспектрограмм, визуализации данных и результатов исследования использовалось программное обеспечение, написанное на языке программирования Python, с использованием библиотек NumPy, scipy, matplotlib, mne, yasa. **Результаты.** Выявлена корреляция характерных изменений спектрального состава ЭЭГ сна с уровнем сознания и этиологией заболевания. **Заключение.** Консолидация сна и нормализация других циркадианных ритмов является важной составляющей как соматического здоровья пациентов в условиях реанимации, так и, возможно, станет терапевтической мишенью для восстановления когнитивности у пациентов с хроническим нарушением сознания.

Ключевые слова: хронические нарушения сознания, вегетативное состояние, состояние малого сознания, сон, дискретное преобразование Фурье.

Для цитирования: Некрасова Ю.Ю., Канарский М.М., Борисов И.В., Янкевич Д.С., Колесов Д.Л., Лукьянец О.Б., Горшков К.М., Шпичко Н.П., Крылова Т.Н., Ковалёва Н.Ю., Люткин О.Ю., Евстифеев В.В. Спектральная оценка ЭЭГ сна у пациентов с хроническими нарушениями сознания посредством многооконного дискретного преобразования Фурье. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2020;2(4):337–349. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab52648>

Поступила: 29.11.2020 **Принята:** 28.12.2020

Список сокращений

АПГМ — аноксическое поражение головного мозга

ВС — вегетативное сознание

ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения

ПОВ — последствия оперативного вмешательства

ПСГ — полисомнография

САК — субарахноидальное кровоизлияние

СМС — состояние минимального сознания

СПМ — спектральная плотность мощности

ХВС — хроническое вегетативное состояние

ХНС — хроническое нарушение сознания

ЧМТ — черепно-мозговая травма

ЭМГ — электромиограмма

ЭОГ — электроокулограмма

ЭЭГ — электроэнцефалограмма

N1–N3 — стадии медленной фазы сна

Spectral Analysis of Sleep Eeg in Patients with Chronic Disorders of Consciousness by Multitaper Discrete Fourier Transform

J.Y. Nekrasova^{1, 2}, M.M. Kanarskii¹, I.V. Borisov¹, D.S. Yankevich¹, D.L. Kolesov¹, O.B. Lukyanets¹, K.M. Gorshkov¹, N.P. Shpichko¹, T.N. Krylova¹, N.Yu. Kovaleva¹, O.Yu. Lutkin¹, V.V. Evstifeev¹

¹ Federal Scientific and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow region, Russian Federation

² Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation

Background. In recent years, EEG spectral analysis has become increasingly popular due to the development of computer technologies. Among the methods of spectral analysis, various variants of the window Fourier transform are most often used, taking into account the non-stationary nature of the EEG signal. **Aims:** study of the spectral composition of sleep EEG in patients with chronic disorders of consciousness by the method of discrete Fourier transform with windows in the form of spheroidal sequences. **Methods.** In this article, the spectral composition of the sleep EEG of 32 patients with impaired consciousness was studied using a discrete Fourier transform with windows in the form of spheroidal sequences. For spectral analysis of EEG sleep, we used polysomnography data obtained overnight. To construct hypnospectrograms, visualize data and research results, we used software written in the Python programming language using the NumPy, scipy, matplotlib, mne, yasa libraries. **Results.** The correlations between characteristic changes in the spectral composition of sleep EEG and the level of consciousness and the etiology of the disease were detected. **Conclusions.** Consolidation of sleep and normalization of other circadian rhythms is an important component of both the somatic state of patients in intensive care and, possibly, will become a therapeutic target for the restoration of cognition in patients with chronic impairment of consciousness.

Keywords: chronic disorders of consciousness, vegetative state, minimally conscious state, sleep, discrete Fourier transform.

For citation: Nekrasova JY, Kanarskii MM, Borisov IV, Yankevich DS, Kolesov DL, Lukyanets OB, Gorshkov KM, Shpichko NP, Krylova TN, Kovaleva NYu, Lutkin OYu, Evstifeev VV. Spectral Analysis of Sleep Eeg in Patients with Chronic Disorders of Consciousness by Multitaper Discrete Fourier Transform. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2020;2(4): 337–349. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab52648>

Received: 29.11.2020 **Accepted:** 28.12.2020

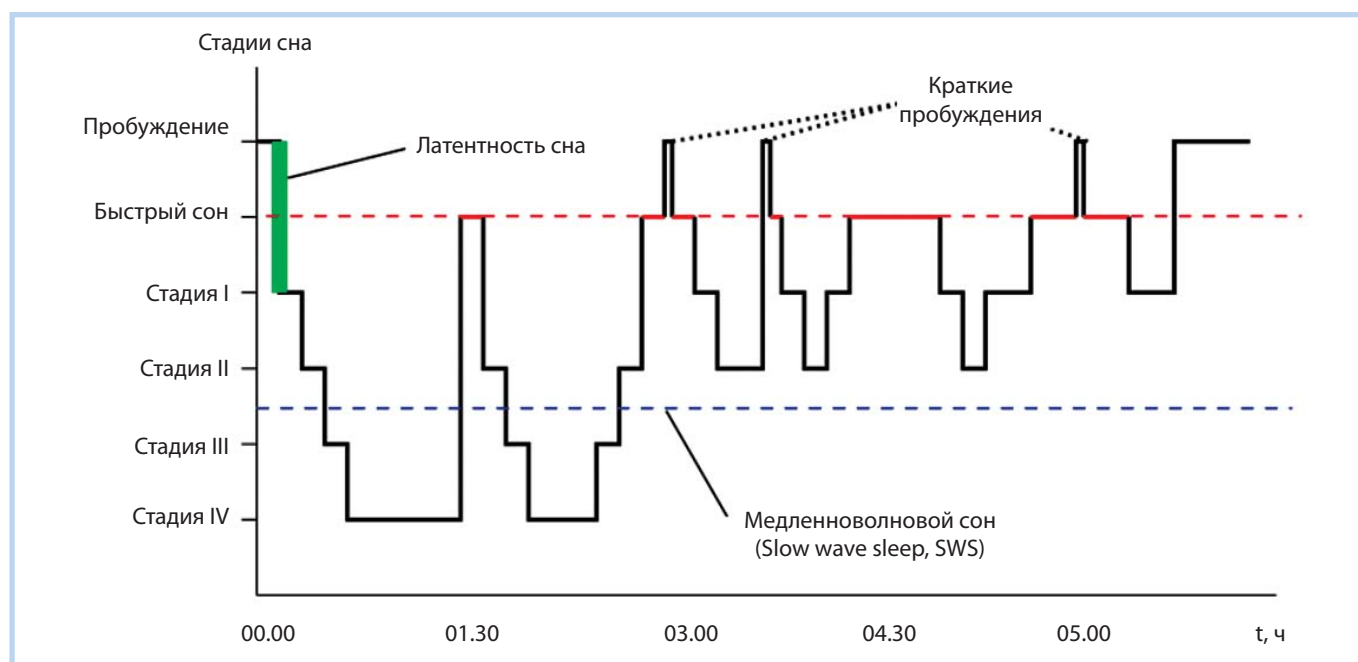
Обоснование

Поиски способов охарактеризовать неоднородную структуру сна осуществлялись еще до начала эпохи электрофизиологии. Так, Эрнст Кохльшюттер (Ernst Kohlschütter) в 1863 г., применяя акустические стимулы различной интенсивности и наблюдая возможность пробуждения после их воздействия, построил кривую, отражавшую изменения глубины сна в течение ночи [1]. Первооткрыватель метода электроэнцефалографии (ЭЭГ) Ганс Бергер (Hans Berger) отметил изменения электрофизиологической активности в фазах сна и бодрствования [2]. В 1930 г. было введено понятие сигмы-диапазона (12–16 Гц) для описания сонных веретен и предложено пять различных стадий сна [3]. Открытие сна с быстрыми движениями глаз в 1953 г. [4] положило основание ставшей на сегодняшний день классической системе анализа сна, основанной на применении электроокулограммы (ЭОГ), а затем и электромиограммы (ЭМГ) совместно с ЭЭГ. Для расшифровки такой

полиграфической записи (полисомнограмма, ПСГ) производилась классификация каждого 30-секундного фрагмента (эпохи) по отношению к стадии бодрствования, четырем стадиям медленного сна и одной стадии парадоксального сна. По имени разработчиков (Rechtschaffen и Kales, 1968) эта система получила название R&K [5]. На сегодняшний день данная система является «золотым стандартом» в сомнологии, хотя и претерпела небольшие изменения в части выделения моментов мышечного движения и опционального объединения стадий медленного сна N3 и N4 в одну.

По результатам классификации 30-секундных фрагментов строится гипнограмма (рис. 1), характеризующая паттерны и смену стадий сна в течение всего времени записи.

Для неврологически здоровых пациентов поводов глубоко корректировать эту систему нет, хотя во многом она основана на ручном анализе «бумажной» ЭЭГ, и даже сами 30-секундные интервалы

Рис. 1. Пример гипнограммы, построенной согласно методу R&K

обязаны своим происхождением бумагопротяжному механизму 1930-х гг., нарезавшему ленту именно на 30-секундные участки. Однако для пациентов с хроническими нарушениями сознания (ХНС), такими как вегетативное состояние (ВС; синдром ареактивного бодрствования) и состояние минимального сознания (СМС), данный метод недостаточно информативен. В связи с существенно измененной фоновой мозговой активностью пациентов, чаще всего представляющей собой ритм, замедленный до дельта- или тета-диапазона, или же сильно уплощенный ритм, выделение общепринятых стадий сна в большинстве случаев становится невозможным и нецелесообразным. Диффузные повреждения головного мозга и, как следствие, отсутствие кортикальной активации, зачастую приводят к невозможности обнаружения таких важных паттернов сна, как сонные веретена и К-комплексы с поверхности скальпа. Более того, необходимость отнесения фрагмента исключительно к известным стадиям сна стирает различия между фрагментами, которые могут быть важны для анализа сна пациентов с нарушениями сознания. Даже для неврологически здоровых пациентов гипнограмма, с точки зрения обработки сигнала, представляет собой грубую дискретизацию по времени и амплитуде и разбивает непрерывный, по сути, процесс на ряд семантических стадий. Для пациентов со значительными неврологическими нарушениями обратное восстановление сигнала, т.е. получение верного представления о реальной мозговой активности по имеющейся гипнограмме, становится невозможным, и возникает ситуация, когда

используемое для анализа представление сигнала не отвечает исходному сигналу. Эти соображения ставят вопрос о применимости метода гипнограмм у пациентов с ХНС и приводят к необходимости поиска методов анализа сна, если не заменяющих, то дополняющих традиционные.

Теме сна у пациентов с нарушением сознания посвящено множество публикаций. Основные результаты, согласно литературным данным открытой печати, сведены в табл. 1.

D. Rossi Sebastiano и соавт. в 2017 г. проанализировали с помощью ПСГ 49 пациентов в ВС и 36 пациентов в минимальном сознании, где отметили снижение амплитуды сигнала в ночное время у 19 человек из 49, применив данный паттерн как маркер сна. Медленный сон был зафиксирован у 23% в ВС и у 42% в малом сознании, сонные веретена были детектированы у 5% пациентов в ВС и у 8% в СМС. Быстрый сон был обнаружен только у 3 пациентов в ВС из 49 [6].

U. Malinowska и соавт. в 2013 г. с помощью собственной автоматической программы проанализировали наличие паттернов сна у 31 пациента, 20 из которых находились в СМС и 11 в ВС. Согласно выводам данной группы, сонные веретена встречались у 27% пациентов в ВС и у 75% в СМС, сменяемость стадий была обнаружена у 9 и 80% соответственно; стадии поверхностного и глубокого сна у пациентов в ВС детектированы не были в отличие от пациентов с минимальным уровнем сознания (70%). По наличию паттернов сна с привязкой к этиологии в данном исследовании были получе-

Таблица 1. Основные результаты исследования сна у пациентов с нарушениями сознания

Публикация	Число пациентов, <i>n</i>	Медленный сон, чел.	Быстрый сон, чел.	Сонные веретена / К-комплексы, чел.	Нормальный (циклический) паттерн сна, чел.
Gordon, Oksenberg (1993)	6	N1 — 13 N2 — 14 N3 — 9	10	5	3
D'Aleo (1994), a	30	-	-	13	-
D'Aleo (1994), б	20	20	20	20	20
Giubilei (1995)	10	9	9	9	9
Oksenberg (2000)	9	9	9	9	9
Oksenberg (2001)	11	-	11	-	-
Isono (2002)	12	6	Нет	Нет	8
Alekseeva и др. (2010)	64	-	-	-	38
Arico и др. (2016)	8	Нет	1	2 / 2	5
Arnaldi и др. (2015)	20	Нет	3	17	17
Bedini и др. (2015)	27	21	9	27	27
Cologan и др. (2013)	10	4	3	4	3
de Biase и др. (2014)	27	Нет	4	15/22	22
Forgacs и др. (2014)	8	2	2	4/5	5
Landsness и др. (2011)	5	Нет	Нет	Нет	Нет
Kang и др. (2014)	56	-	-	24	24
Rossi Sebastiano и др. (2015)	85	-	-	-	65

Примечание. Прочерк означает отсутствие в указанной статье информации о данном феномене.

ны следующие результаты: у пациентов с черепно-мозговой травмой (ЧМТ) веретена обнаружались в 78% случаев, при нетравматической этиологии повреждения — только в 22%. Цикличность сна (сменяемость стадий) была определена у 71 и 29% пациентов соответственно [7].

Y. G. Pavlov с соавт. проанализировали ночной сон у 15 пациентов в ВС. Стадия N1 наблюдалась у 13 пациентов, стадия N2 — у 14, стадия N3 — у 9, REM-сон — у 10. Веретена низкой плотности были обнаружены у 5 пациентов. У 3 пациентов наблюдались все перечисленные выше явления. Только у 1 пациента с диффузной дельта-активностью во всех отведениях отсутствовала четкая дифференциация между сном и бодрствованием. В одном случае наблюдалась картина приближенной к нормальной смены стадий и фаз сна. В целом сон характеризовался частыми пробуждениями, во второй стадии зачастую присутствовали К-комплексы [8].

В исследовании 2020 г. I. Mertel и соавт. были проанализированы циклы сон–бодрствование с помощью ПСГ и видеомониторинга у 16 пациентов в ВС и 16 пациентов в СМС. Отмечается, что только один пациент не имел поведенческих и электрофизиологических признаков сна. Было продемонстри-

ровано, что пациенты в ВС и СМС около 50% времени суток проводят с закрытыми глазами, причем для пациентов в СМС более характерен ночной сон, а для пациентов в ВС — дневной. Пациенты в ВС в среднем спали 311 (± 184) мин, пациенты в СМС — 405 (± 185) мин, что меньше длительности сна в контрольной группе — 464 (± 98) мин. Веретена были обнаружены у 6 пациентов в ВС и у 11 в СМС, медленный сон присутствовал практически у всех пациентов за исключением 2 пациентов в ВС и 2 в СМС, REM-сон был детектирован у 9 пациентов в ВС и 14 в СМС [9].

Среди используемых методов для анализа сна у пациентов с нарушениями сознания чаще всего применяется ПСГ, иногда ЭЭГ, при этом в большинстве случаев продолжительность записей составляет чуть менее суток (так называемая ночная ПСГ), реже (хотя такой вариант является более предпочтительным) используются 24-часовые записи. Одним из методов, учитывающих изменения частотного состава сигнала ЭЭГ в течение всего периода сна и тем самым позволяющих более детально детектировать изменения в цикле сон–бодрствование, является метод построения спектрограмм с помощью оконного дискретного преобразования Фурье.

Метод дискретного преобразования Фурье с окнами в виде вытянутых сфероидальных последовательностей

На сегодняшний день одним из самых распространенных инструментов для компьютерной обработки ЭЭГ повсеместно признается спектральный анализ [10], целью которого является построение функции распределения мощности сигнала в зависимости от частоты, т.е. спектральной плотности мощности (СПМ). Для этого используется преобразование Фурье, ставящее в соответствие непрерывному во времени бесконечному сигналу другую непрерывную бесконечную функцию, описывающую коэффициенты разложения исходного сигнала на элементарные составляющие — гармонические колебания. Для дискретных во времени (в т.ч. цифровых) сигналов используется дискретное преобразование Фурье. Если сигнал имеет нестационарную природу, т.е. его СПМ меняется со временем, то построение только одного распределения мощности для такого сигнала будет недостаточно информативно. В этом случае используется оконное преобразование Фурье, непрерывное или дискретное в зависимости от вида исходного сигнала, которое позволяет рассчитывать СПМ в различные моменты времени с помощью движущегося окна данных. Таким образом, результат оконного преобразования Фурье является функцией времени, частоты и амплитуды сигнала. График СПМ, построенный таким методом, носит название спектрограммы (рис. 2) и отражает изменения частотного состава сигнала во времени. Горизонтальная ось спектрограммы представлена осью времени, вертикальная — частотным диапазоном, значения СПМ (амплитуда) в дБ отражена с помощью цветовой шкалы.

При использовании оконного преобразования Фурье следует учитывать, что ограничение интервала анализа равносильно произведению исходного сигнала на оконную функцию, и, следовательно, полученная СПМ будет отражать не спектр самого сигнала, но спектр данного произведения. В случае самого простого прямоугольного окна это приводит

к значительному «растеканию» спектра и маскированию низкоамплитудных составляющих относительно высокими значениями боковых лепестков. Для борьбы с этим явлением применяют окна в виде более гладких функций, собственные спектры которых имеют более широкий главный лепесток и низкий уровень боковых лепестков. К таким окнам относят окна Ханна, Хэмминга, Кайзера, Велча и пр. Однако полностью избежать растекания спектра таким способом невозможно, что делает результат применения оконного преобразования Фурье для анализа существенно нестационарного ЭЭГ-сигнала недостаточно точным.

Оптимальным выходом из данного положения является последовательное применение к исходному сигналу нескольких взаимно ортогональных окон с последующим усреднением полученных спектров (рис. 3). Такие окна в литературе носят название дискретных вытянутых сфероидальных последовательностей (discrete prolate spheroidal sequence, DPSS), или последовательностей Слепяна (Slepian sequences) [11]. В результате получим сглаженную спектрограмму, учитывающую при этом основные изменения спектрального состава, поскольку посредством каждого ортогонального окна рассчитывается СПМ, не коррелирующая с остальными, как если бы полученные с помощью свертки с каждым из окон фрагменты данных были независимыми друг от друга отдельными записями. Это определяет преимущество рассматриваемого метода не только перед оконным преобразованием Фурье, но и перед вейвлет-анализом.

Основы этого метода, носящего в англоязычной литературе название «multitaper», заложил еще в 1980-х гг. D. Thomson [12], однако в силу относительно низкого уровня развития компьютерной техники метод имел ограниченное применение. Сегодня построение так называемых гипносектрограмм вновь привлекает внимание исследователей, поскольку метод лишен вышеперечисленных недостатков, свойственных традиционному методу анализа сна с помощью построения гипнограмм по системе R&K.

Рис. 2. Спектрограмма ночного сна (гипносектрограмма) здорового добровольца

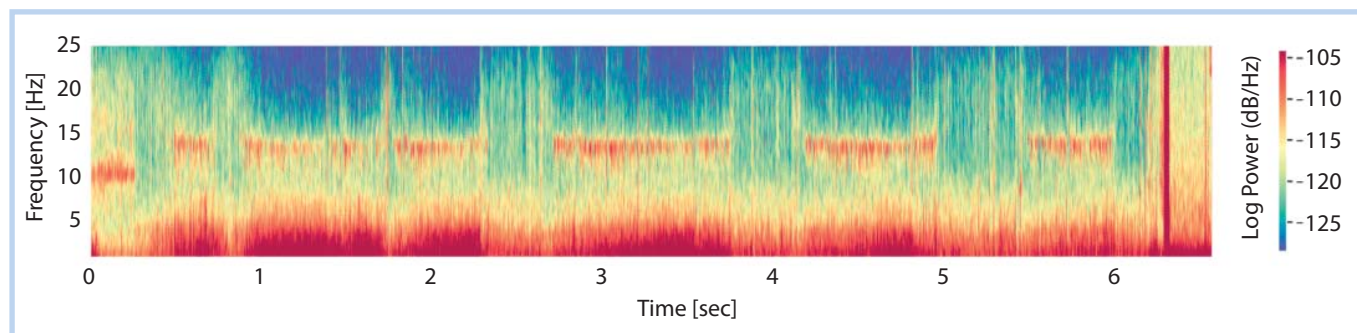
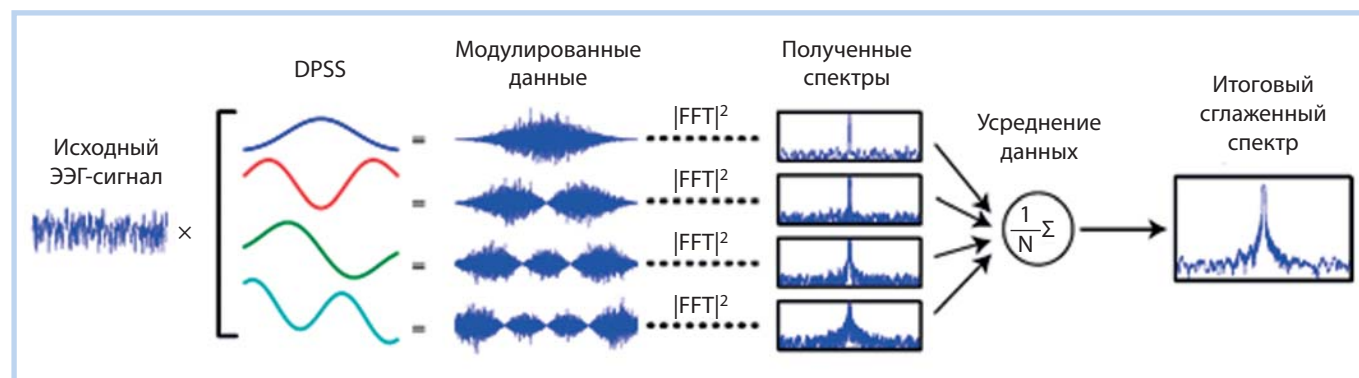


Рис. 3. Схема применения дискретного преобразования Фурье с использованием последовательностей Слепяна

В исследовании М. Prerau [13] было показано, что уменьшенная дисперсия спектрограммы, построенная с применением нескольких ортогональных окон, может выявить различия в ЭЭГ сна, которые практически незаметны в спектрограмме, построенной с использованием одного окна Хеннинга. В частности, при сравнении поздней стадии N2 и ранней стадии N3 многооконная спектрограмма показала устойчивые, статистически значимые различия в мощности ЭЭГ на многих частотах, тогда как спектрограмма с одним окном не показала четкой значимой частотной структуры. Таким образом, низкая дисперсия многооконной спектральной оценки значительно облегчает идентификацию существенных особенностей нейрональной активности и архитектуры сна в ЭЭГ.

Немаловажно также, что использование спектрограмм позволяет избежать субъективизма в оценке стадий сна, неизбежного при анализе паталогической активности, поскольку фрагменты записи, не укладывающиеся в стандартные критерии и не имеющие собственных критериев отнесения их к той или иной стадии сна, оцениваются исходя из понимания конкретного нейрофизиолога, выполняющего анализ. Если для здоровых пациентов среднее расхождение между результатами построения гипнограмм тренированными нейрофизиологами составляет около 20% [10], то для пациентов с нарушениями сознания этот уровень значительно выше, если вообще поддается оценке.

Цель исследования — изучение спектрального состава ЭЭГ сна у пациентов с хроническим нарушением сознания методом дискретного преобразования Фурье с окнами в виде вытянутых сфероидальных последовательностей.

Методы

Условия проведения

В настоящем исследовании спектрального состава ЭЭГ сна приняли участие 32 пациента ФГБНУ ФНКЦ РР (табл. 2).

Критерии соответствия

Критерии включения предполагали наличие нарушений сознания вследствие тяжелых повреждений головного мозга различной этиологии, таких как ЧМТ, аноксическое поражение головного мозга (глобальная ишемия), сосудистые катастрофы и осложнения нейрохирургических операций с нарушением сознания до ВС и СМС. Возраст пациентов составлял от 18 до 70 лет с учетом разбивки на группы. Время от события, повлекшего нарушение сознания, составляло не менее 1 мес.

К **критериям исключения** относили повреждения ствола головного мозга, левополушарные ишемические инсульты, эпилепсию, гемодинамическую нестабильность, искусственную вентиляцию легких на момент исследования, психические заболевания (например, шизофрению) в анамнезе пациента, продолженный рост новообразования головного мозга, а также возраст пациента более 70 лет. Никто из пациентов, принимавших участие в исследовании, постоянно не получал транквилизаторов, барбитуратов, антипсихотиков, антидепрессантов или β-адреноблокаторов.

Описание медицинского вмешательства

В первый день исследования группой сертифицированных неврологов уровень сознания пациентов был оценен по шкале CRS-R согласно руководству по применению и балльной оценке CRS-R [14]. Учитывая флуктуации шкальных оценок, что в целом характерно для пациентов с нарушениями сознания, повторное оценивание проводилось дважды — в середине исследования и по его завершении (см. табл. 2).

Для исключения повреждений ствола головного мозга и подтверждения диагностики синдромов ВС и СМС были проведены компьютерные и/или магнитно-резонансные томографические исследования.

Не менее чем через 3 мес от начала исследования на каждого пациента были собраны катamnестиче-

Таблица 2. Демографические и клинические данные пациентов, включенных в исследование

№ п/п	Возраст / пол	Этиология	Продолжительность заболевания, мес	Первичная/повторная в середине исследования/повторная в конце исследования оценка по шкале CRS-R							Уровень сознания	Исход заболевания через 3 мес от начала исследования	Тип спектра
				слуховой функции	зрительной функции	двигательной функции	вербальной функции	коммуникации	бодрствования	общая сумма баллов			
1	24/ж	САК	5	1/1/1	2/1/2	1/1/1	1/1/1	0/0/0	2/2/2	7/6/7	СМС-	СМС-	Монофазный
2	25/м	ЧМТ	1	2/2/2	3/4/3	3/2/2	0/0/1	0/0/0	2/3/2	10/11/10	СМС+	Сознание	Трехфазный
3	62/м	ЧМТ	7	1/1/1	2/2/2	3/3/2	0/0/0	0/0/0	2/2/2	8/8/7	СМС-	Смерть	Монофазный
4	32/м	ЧМТ	4	2/2/2	4/3/4	2/2/2	0/1/0	0/0/0	3/3/3	11/10/11	СМС+	Сознание	Трехфазный
5	21/м	ЧМТ	2	1/1/1	1/2/2	1/2/2	1/1/0	0/0/0	2/2/2	6/8/7	СМС-	СМС-	Монофазный
6	45/м	АПГМ	8	1/1/1	0/0/0	2/1/1	0/1/1	0/0/0	2/2/2	5/4/4	ВС	ХВС	Монофазный
7	18/м	ЧМТ	8	1/1/1	1/1/1	1/1/1	1/1/0	0/0/1	2/2/3	6/6/9	СМС-	Смерть	Монофазный
8	67/ж	САК	9	1/1/1	1/1/1	2/1/2	1/1/1	0/0/0	2/2/2	7/6/7	ВС	ХВС	Монофазный
9	44/ж	АПГМ	3	0/0/0	0/0/0	0/1/1	0/0/0	0/0/0	1/1/1	1/2/2	ВС	СМС-	Монофазный
10	50/м	ЧМТ	7	0/1/2	0/1/3	1/2/2	1/1/1	0/1/1	0/1/2	2/7/11	СМС-/СМС+	СМС+	Монофазный
11	60/м	ПОВ	3	1/0/1	2/1/2	1/2/1	1/1/1	0/0/0	2/2/2	7/6/7	СМС-	Смерть	Монофазный
12	62/ж	ОНМК	2	1/1/3	1/2/3	1/1/3	1/1/2	0/0/1	2/2/2	6/7/14	ВС/СМС+	СМС+	Двухфазный
13	49/м	ЧМТ	7	1/1/3	1/1/3	0/1/3	0/1/0	0/1/1	2/1/3	4/7/13	ВС/СМС-	СМС+	Двухфазный
14	39/ж	ЧМТ	7	2/2/2	2/2/2	3/2/3	1/1/1	0/0/0	2/2/2	10/9/10	СМС-	СМС+	Монофазный
15	60/ж	АПГМ	38	1/1/1	1/1/0	1/1/2	0/0/1	0/0/0	1/1/2	4/4/6	ВС	Смерть	Монофазный
16	36/м	АПГМ	7	1/1/1	1/1/1	2/1/1	0/1/0	0/0/0	2/2/2	6/6/5	ВС	ХВС	Монофазный
17	58/м	ЧМТ	4	1/1/1	1/1/1	1/1/1	0/1/1	0/0/0	2/2/2	5/6/6	ВС	Смерть	Монофазный
18	29/м	ЧМТ	7	3/3/3	4/4/4	4/4/5	1/1/1	1/1/1	3/3/3	16/16/17	СМС+	Выход из СМС	Трехфазный
19	63/ж	САК	5	1/1/2	1/1/2	0/1/2	0/1/0	0/1/1	2/1/3	4/7/10	ВС/СМС-	Выход из СМС	Двухфазный
20	52/м	САК	3	1/0/0	0/0/0	1/1/1	0/0/0	0/0/0	2/2/2	4/3/3	ВС	Смерть	Монофазный
21	60/ж	ПОВ	4	1/1/2	0/1/2	2/2/2	0/0/0	0/0/0	1/2/2	4/6/6	ВС	ХВС	Монофазный
22	37/ж	ЧМТ	2	1/2/2	0/2/2	2/2/2	0/0/0	0/0/0	1/2/2	4/8/8	ВС/СМС+	СМС+	Двухфазный
23	42/м	АПГМ	4	1/1/3	2/0/4	2/2/5	0/0/1	0/0/1	2/2/3	7/6/17	СМС-	Выход из СМС	Монофазный
24	55/м	ЧМТ	3	1/1/1	1/1/0	1/1/2	0/0/1	0/0/0	1/1/1	4/4/5	ВС	ХВС	Монофазный
25	66/ж	АПГМ	4	0/1/0	0/1/1	1/1/1	1/0/1	0/0/0	0/1/0	2/4/3	ВС	ХВС	Монофазный
26	39/м	АПГМ	5	0/1/1	1/1/1	1/1/1	1/1/1	0/0/0	0/1/0	3/5/4	ВС	ХВС	Монофазный
27	30/м	ЧМТ	1	0/1/0	1/0/1	1/2/1	1/1/1	0/0/0	0/2/0	3/7/3	ВС	ХВС	Монофазный
28	31/м	АПГМ	3	1/3/1	1/0/1	1/2/2	0/1/1	0/2/0	2/2/2	5/9/7	ВС	ХВС	Монофазный
29	55/ж	АПГМ	3	0/0/0	1/0/1	1/1/1	1/1/1	0/0/0	0/1/0	3/3/3	ВС	ХВС	Монофазный
30	25/м	ЧМТ	1	1/3/1	1/1/1	1/3/2	0/1/1	0/2/0	2/2/2	5/11/7	ВС	СМС+	Монофазный
31	60/м	АПГМ	6	1/0/0	0/0/0	1/1/1	0/0/0	0/0/0	2/2/2	4/3/3	ВС	ХВС	Монофазный
32	28/м	ЧМТ	3	1/2/3	2/1/4	2/2/5	1/1/1	0/0/1	2/2/3	8/8/17	СМС-	Выход из СМС	Монофазный

Примечание. м — мужской пол, ж — женский пол, ЧМТ — черепно-мозговая травма, ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения, АПГМ — аноксическое поражение головного мозга, САК — субарахноидальное кровоизлияние, ПОВ — последствия оперативного вмешательства, ХВС — хроническое вегетативное состояние.

ские данные для оценки исхода заболевания, выживаемости пациентов и прогностической значимости полученных в исследовании результатов. Катамнестические диагнозы выставлялись согласно следующим принципам. Учитывая рекомендации [15], по прошествии 3 мес от даты события, повлекшего нарушение сознания у пациентов в ВС нетравматического генеза, и 12 мес у пациентов в ВС травматического генеза при отсутствии положительных изменений состояния сознания выставлялся диагноз «хроническое вегетативное состояние» (ХВС). Термины «перманентное» и «персистирующее» ВС не использовались как устаревшие. Для СМС статус хронизации не подчеркивался [15]. Также в качестве одного из исходов использовался статус «выход из СМС», предполагающий отчетливое функционально значимое поведение со стороны пациента, т.е. способность выполнять действия, позволяющие ему достаточно эффективно взаимодействовать с окружающим миром. Данные катамнеза приведены в табл. 2.

Обработка данных

Для спектрального анализа ЭЭГ сна использовались данные ПСГ, полученные в течение ночи — с вечера предыдущего дня до утра следующего дня. Данные были получены с помощью системы SOMNOscreen™ plus. Регистрация ЭЭГ осуществлялась с помощью шести электродов Ag/AgCl, размещенных в соответствии со стандартной системой 10/20. В качестве ЭОГ использовали два канала в перекрестном монтаже. Один канал использовался для регистрации подбородочной ЭМГ. Во время записи импедансы ПСГ электродов поддерживались на уровне не выше 5 кОм.

Для построения гипноспектрограмм, визуализации данных и результатов исследования использовалось программное обеспечение, написанное на языке программирования Python, с использованием таких библиотек, как NumPy, scipy, matplotlib, mne, yasa [16].

Для определения числа окон использовалось соотношение [13]:

$$L=[2TW]-1, (1)$$

где L — число окон, $[2TW]$ — округленное до ближайшего целого числа двойное произведение временной протяженности окна на половину диапазона частотного интервала.

Для интегральной оценки ночного сна пациентов с ХНС длина окна принималась равной $N=5$ с, частотное разрешение $\Delta f=1$ Гц, число окон, согласно формуле (1), $L=9$.

Полный рассматриваемый диапазон частот составил от 0,5 до 35 Гц.

Для построения гипноспектрограмм использовались центральные и оксипитальные каналы как наиболее информативные с точки зрения наличия характерных графоэлементов сна.

Для верификации анализа по гипноспектрограмме определяли быстрые движения глаз по полученной кривой ЭОГ, далее осуществлялся автоматизированный поиск сонных веретен и К-комплексов, рассчитывалась средняя за 30-секундный интервал амплитуда сигнала ЭМГ. Для поиска графоэлементов использовалось программное обеспечение с открытым исходным кодом Sleep [17].

Этическая экспертиза

Информированное согласие с разъяснением деталей исследования получено во всех случаях. Так как заведомо известно, что пациенты не в состоянии выразить своё согласие на участие в исследовании, документ о согласии заверен тремя подписями присутствующих сотрудников ФГБНУ ФНКЦ РР (протокол № 2/20 от 10.06.2020).

Исследование выполняется согласно Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации, утвержденной на 18-й Генеральной Ассамблее ВМА (Хельсинки, Финляндия, июнь 1964), с изменениями 59-й Генеральной Ассамблеи ВМА (Сеул, октябрь 2008); Конституции РФ, ст. 21; Основам законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан; приказам и инструкциям Минздрава РФ.

Статистический анализ

Накопление, корректировка, систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов осуществлялись с использованием программы STATISTICA 10 (разработчик StatSoft Inc.).

Количественные данные представлены в виде медианы и квартилей (25–75% границы интерквартильного отрезка). Номинальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. Для проверки характера распределения интервальных переменных использовали непараметрический тест Колмогорова–Смирнова. Анализ статистической значимости различий количественных признаков для двух независимых групп выполнен с помощью W -критерия Вилкоксона. Различия считались статистически значимыми при $p<0,05$.

С целью изучения связи между явлениями, представленными количественными данными, распределение которых отличалось от нормального, использовался непараметрический метод — расчет

коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Значения коэффициента корреляции интерпретировались в соответствии со шкалой Чеддока для оценки направления и силы корреляционной связи.

Результаты

Объекты (участники) исследования

В исследовании спектрального состава ЭЭГ сна приняли участие 32 пациента ФГБНУ ФНКЦ РР. Средний возраст пациентов на момент события, повлекшего нарушение сознания, составил $43,93 \pm 15$ лет.

По уровню сознания 16 (50%) пациентов находились на момент окончания исследования в ВС, 10 (31,2%) — в СМС «минус» (СМС-) и 6 (18,8%) — в СМС «плюс» (СМС+). По этиологии заболевания 15 (47%) пациентов имели диагноз черепно-мозговой травмы, 10 (31,2%) — аноксическое поражение головного мозга, 4 (12,5%) — субарахноидальное кровоизлияние, 2 (6,2%) — последствия оперативного вмешательства на головном мозге, 1 (3,1%) — острое нарушение мозгового кровообращения (инфаркт головного мозга) (рис. 4).

Основные результаты исследования

При первой оценке по шкале CRS-R медианное значение количества баллов составило 5,0 (разброс значений от 1 до 16) с наиболее часто встречающейся оценкой 4 балла. При второй оценке медианное значение составило 6 баллов с разбросом значений

от 2 до 16 и наиболее частым значением 6 баллов. При третьей оценке данные показатели составили 7 (разброс 2–16) и 7 баллов соответственно.

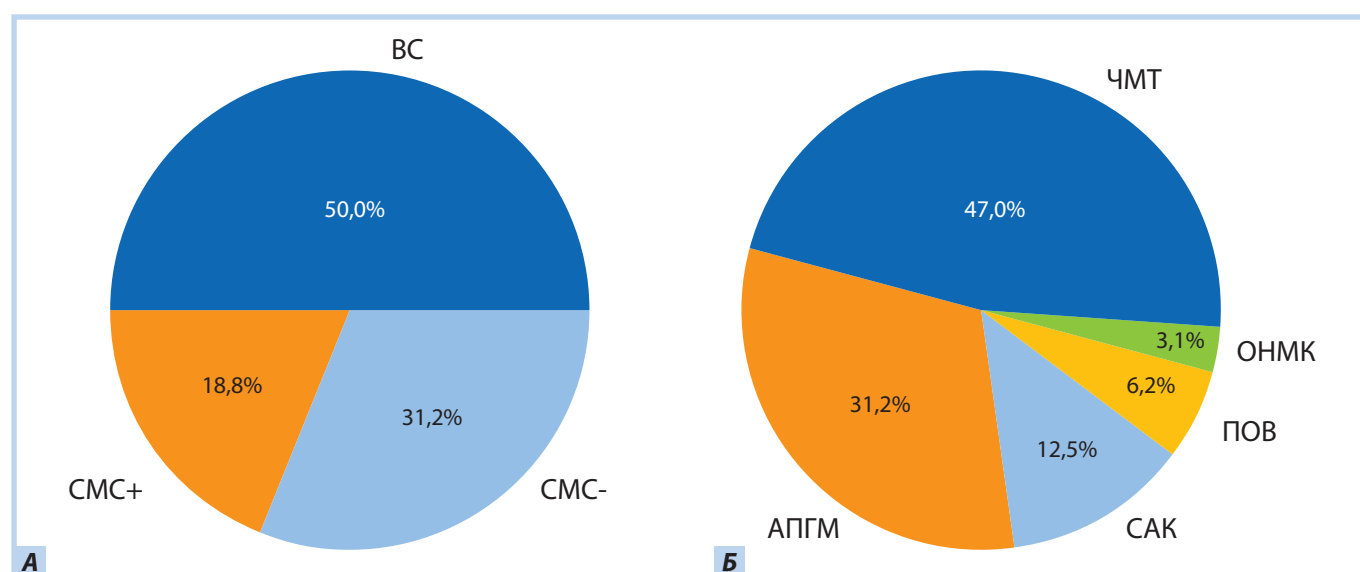
Средняя продолжительность заболевания на момент начала исследования составила 5,5 мес при среднеквадратичном отклонении (SD) 6,34.

Анализ гипноспектрограмм

Анализ полученных гипноспектрограмм пациентов с ХНС проводился согласно следующим принципам (рис. 5).

1. Стадия пробуждения (W) определялась как участок спектрограммы со значительным количеством артефактов движения (т.е. повышенной активностью во всем рассматриваемом диапазоне частот) и/или доминированием альфа-ритма (при наличии). У пациентов со значительным дефицитом, у которых альфа-ритм, даже замедленный, полностью отсутствует, пробуждение может определяться как относительное ускорение активности и/или появление в записи волн в диапазоне от 15 до 25 Гц, вызванных забросом мышечных артефактов в ЭЭГ. Дополнительно могут определяться движения глаз и артефакты моргания на ЭОГ, относительно высокие значения амплитуды ЭМГ.
2. Стадия N1 определялась резким исчезновением альфа-ритма (при наличии) и артефактов движения, замедлением активности по сравнению со стадией N2.

Рис. 4. Демографические данные участников исследования: А — распределение пациентов по уровню сознания, Б — распределение пациентов по этиологии



Примечание. ВС — вегетативное состояние, СМС+/СМС- — состояние минимального сознания плюс/минус, ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения, ПОВ — последствия оперативного вмешательства, АПГМ — аноксическое поражение головного мозга, САК — субарахноидальное кровоизлияние.

Рис. 5. Трехчасовой фрагмент гипноспектрограммы здорового добровольца

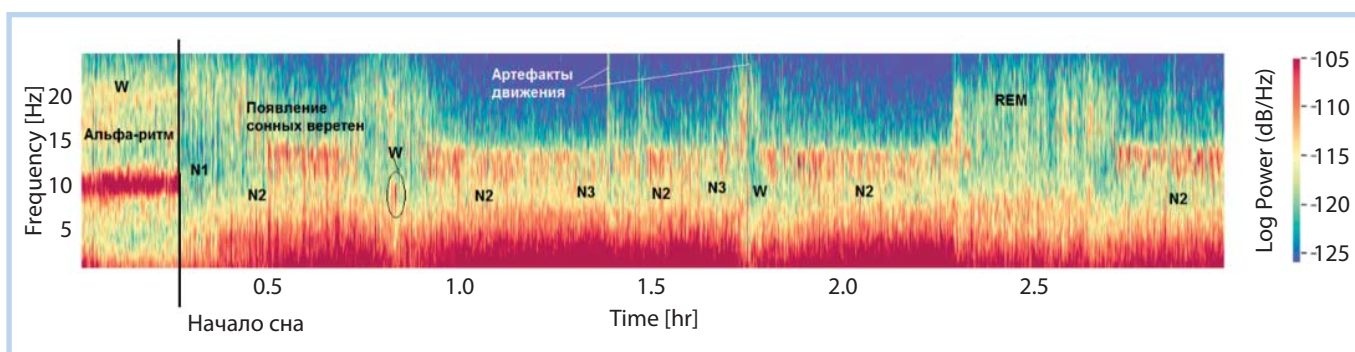
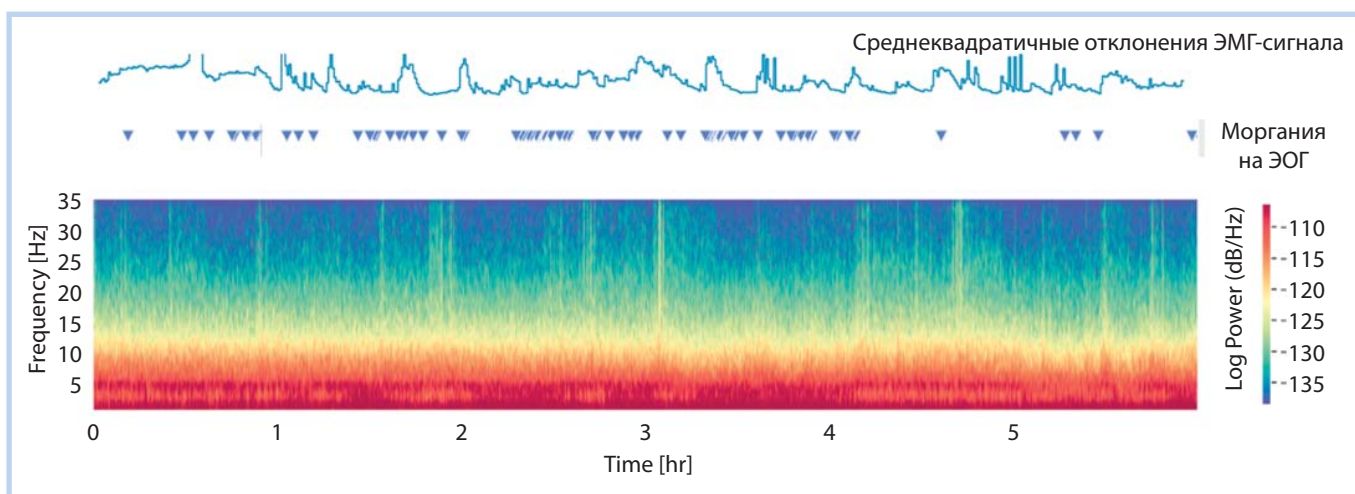


Рис. 6. Шестичасовой фрагмент монофазного спектра пациента 3



3. Стадия N2 в целом характеризовалась появлением сонных веретен, отсутствием артефактов движения. Следует отметить, что стадии N1 и N2 у пациентов с ХНС не всегда возможно отличить друг от друга (например, при отсутствии на ЭЭГ сонных веретен и К-комплексов) [18, 19], поэтому у участников исследования определялась интегральная стадия N1–2. На ЭМГ — отсутствие резких скачков амплитуды. На ЭОГ — медленные движения глаз.
4. Стадии N3 и N4 определялись как интегральная стадия N3–4 со значительным преобладанием активности в дельта-диапазоне.
5. REM-сон определялся десинхронизированной активностью широкого диапазона частот на спектрограмме, снижением амплитуды ЭМГ и наличием быстрых движений глаз на кривой ЭОГ.

Согласно вышеописанному подходу, результаты обработки полисомнограмм участников эксперимента разделились на три основные категории — монофазный, двух- и трехфазный спектры.

Монофазный спектр характеризуется отсутствием смены стадий на гипноспектрограмме: неизмен-

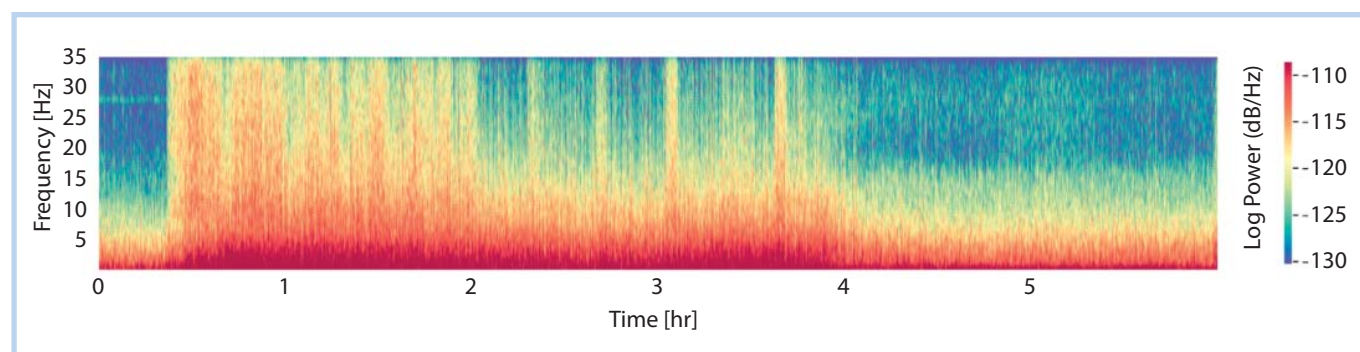
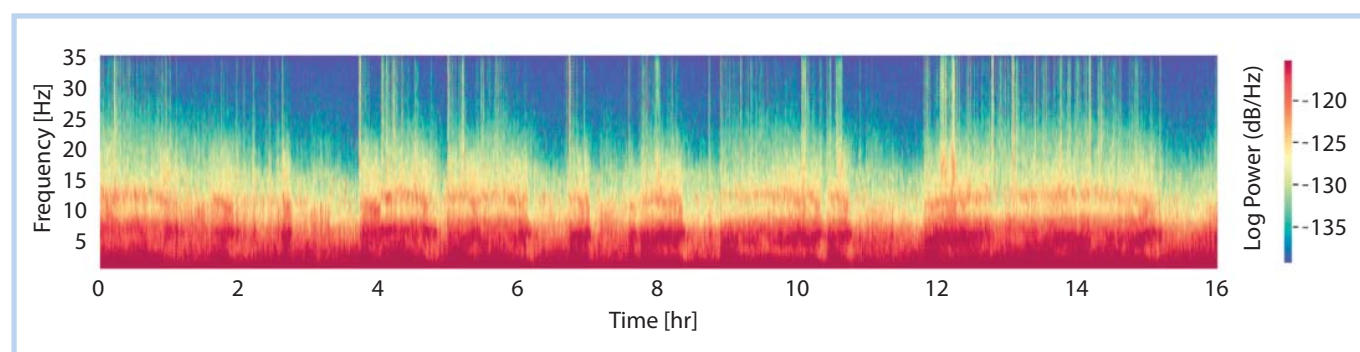
ная или незначительно меняющаяся СПМ на протяжении всего времени записи (рис. 6). В таком спектре выделить моменты несомненного бодрствования возможно только по наличию клинических признаков сна-бодрствования. За неимением видеорегистрации в качестве таковых нами были выделены артефакты моргания на кривой ЭОГ (синие метки сверху на рис. 6).

Двухфазный спектр характеризуется явной сменой двух фаз на гипносомнограмме, которые могут пониматься как смена сна и бодрствования. Чаще всего это более «быстрый» и более «медленный» спектр (рис. 7).

В *трехфазном спектре* можно различить не только смену сна и бодрствования, но и смену стадий N1–2 и N3–4 в виде нарастания медленноволновой активности при переходе от N1–2 к N3–4 (рис. 8).

Результаты классификации полученных спектров приведены в табл. 2.

Видно, что трехфазный спектр отмечается всего у 3 (9% общего числа) пациентов с черепно-мозговой травмой и баллами по шкале CRS-R от 10 до 17. Двухфазный спектр — у 4 (12,5%) пациентов, из которых

Рис. 7. Шестичасовой фрагмент двухфазного спектра пациента 13**Рис. 8.** Шестнадцатичасовой фрагмент трехфазного спектра пациента 18

2 с ЧМТ, 1 с субарахноидальным кровоизлиянием, 1 с острым нарушением мозгового кровообращения. Баллы по шкале CRS-R у пациентов с двухфазным спектром находятся в диапазоне от 8 до 14.

Статистический анализ корреляции между CRS-R и структурой гипноспектрограммы выявил прямую умеренную связь с $r=0,58$ и $p<0,05$. U-критерий Манна-Уитни для группы пациентов с трехфазными спектрами свидетельствует о статистически значимых различиях на уровне $p<0,01$.

Корреляция между типом спектра и исходом заболевания умеренная, прямая ($r=0,47$ при $p<0,05$). Связь между баллами по шкале CRS-R и исходом заболевания также умеренная, прямая ($r=0,49$ при $p<0,05$).

Обсуждение

Метод показал свою эффективность, позволив классифицировать полученные результаты по числу смены фаз на гипноспектрограмме, что невозможно сделать в рамках традиционного подхода. Поскольку во всем мире в настоящее время ведется активный поиск методов и принципов анализа сна у такой категории пациентов, предлагаемый метод может занять свое место в ряду уже предложенных и использоваться как самостоятельно, так и совместно с ними.

Результаты, полученные в рамках исследования, позволяют говорить о том, что корреляция между типом спектра и баллами по шкале CRS-R, а также исходами заболевания существует и статистически подтверждается. Безусловно, исследованию присущ ряд ограничений, таких как ночная, а не суточная запись ПСГ, значительное количество артефактов в записи, что могло повлиять на полученный результат, неравномерное распределение пациентов по количеству баллов CRS-R.

Следует также принять во внимание, что для пациентов с ХНС в целом и в особенности для пациентов с монофазными гипноспектрограммами потребуются дополнительные методы регистрации клинических признаков сна-бодрствования, поскольку одной ПСГ может быть недостаточно для полного анализа сна и циркадианных ритмов. К таким признакам могут относиться моргания глазами, изменения температурной кривой, актиграфия запястья.

Однако уже по имеющимся данным можно заключить, что частое отсутствие изменения фоновой ритмики ЭЭГ во сне у пациентов с низкими баллами по шкале CRS-R и искаженность спектров у пациентов с более высокими баллами могут свидетельствовать о сильном нарушении цикла сна-бодрствования у большинства пациентов с ХНС. Стоит также добавить, что у пациентов с ЧМТ, по сравнению

с аноксической этиологией, в целом более сохранены сомнологические графоэлементы, что увязывается с их более благоприятным прогнозом в отношении восстановления сознания.

Заключение

Несомненно, консолидация сна и нормализация других циркадианных ритмов является важной составляющей как соматического здоровья пациентов в условиях реанимации, так и, возможно, станет терапевтической мишенью для восстановления когнитивности. Предпосылками для работы в этом направлении должна послужить нейропластичность, важная часть которой происходит во время сна. Это требует разработки и внедрения рекомендаций по восстановлению цикла сна-бодрствования в отделениях реанимации и интенсивной терапии.

Источник финансирования

Исследование и публикация статьи осуществлены на личные средства авторского коллектива.

Список литературы / References

1. Kohlschütter EO. Messung der festigkeit des schlafes. *Zeitschrift für rationelle Medizin*. 1863;3(17): 209–253.
2. Berger H. Das Elektrenkephalogramm des menschen. *Nova Acta Leopoldina*. 1929;6(38):173–309.
3. Loomis AL, Harvey EN, Hobart GA. Cerebral states during sleep, as studied by human brain potentials. *J Exp Psychol*. 1937;21(2):127–144. doi: 10.1037/h0057431.
4. Aserinsky E, Kleitman N. Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena, during sleep. *Science*. 1953;118(3062):273–274. doi: 10.1126/science.118.3062.273.
5. Rechtschaffen A, Kales A. A manual of standardized terminology, techniques, and scoring systems for sleep stages of human subjects. Washington, DC: Public Health Service; 1968.
6. Rossi Sebastiano D, Visani E, Panzica F, et al. Sleep patterns associated with the severity of impairment in a large cohort of patients with chronic disorders of consciousness. *Clin Neurophysiol*. 2018;129(3):687–693. doi: 10.1016/j.clinph.2017.12.012.
7. Malinowska U, Chatelle C, Bruno MA, et al. Electroencephalographic profiles for differentiation of disorders of consciousness. *Biomed Eng Online*. 2013;12:109. doi: 10.1186/1475-925X-12-109.
8. Pavlov YG, Gais S, Müller F, et al. Night sleep in patients with vegetative state. *J Sleep Res*. 2017;26(5):629–640. doi: 10.1111/jsr.12524.
9. Mertel I, Pavlov Y, Barner C, et al. Sleep in severe disorders of consciousness: 24-h behavioral and polysomnographic recording. ResearchGate GmbH; 2020. doi: 10.1101/2020.05.21.20106807.
10. Александров М.В., Иванов Л.Б., Лытаев С.А., и др. *Электрэнцефалография: руководство* / Под ред. М.В. Александрова. 3-е изд., перераб. и доп. — СПб.: СпецЛит, 2020. — 224 с. [Aleksandrov MV, Ivanov LB, Lytaev SA, et al. *Ehlektröhntsefalografiya: rukovodstvo*. Ed by M.V. Aleksandrov. 3rd revised and updated. Saint Petersburg: SpetsLit; 2020. 224 p. (In Russ.)]
11. Slepian D. Prolate spheroidal wave functions, Fourier analysis, and uncertainty-V: the discrete case. *Bell Sys Tech J*. 1978; 57(5):1371–1430. doi: 10.1002/j.1538-7305.1978.tb02104.x.
12. Thomson DJ. Spectrum estimation and harmonic analysis. *Proc IEEE*. 1982;70(9):1055–1096.
13. Prerau MJ, Brown RE, Bianchi MT, et al. Sleep neurophysiological dynamics through the lens of multitaper spectral analysis. *Physiology (Bethesda)*. 2017;32(1):60–92. doi: 10.1152/physiol.00062.2015
14. Giacino JT, Kalmar K. CRS-R coma recovery scale-revised: administration and scoring guidelines. 2006. doi: 10.5281/zenodo.3818479
15. Бакулин И.С., Кремнева Е.И., Кузнецов А.В., и др. *Хронические нарушения сознания* / Под ред. М.А. Пирадова. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Горячая линия — Телеком, 2020. — 288 с. [Bakulin IS, Kremneva EI, Kuznetsov AV, et al. *Khronicheskie narusheniya soznaniya*. Ed by M.A. Piradov. Moscow: Goryachaya liniya — Telekom; 2020. 288 p. (In Russ.)]
16. Vallat R, Jajcay N. [Raphael Vallat and Nikola Jajcay] raphaelvallat/yasa: v0.3.0 (Version v0.3.0). Zenodo; 2020. doi: 10.5281/zenodo.3818479

Конфликт интересов

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Участие авторов

Ю. Ю. Некрасова — дизайн исследования, написание текста статьи; **М. М. Канарский** — методология, написание текста статьи; **И. В. Борисов** — статистические расчеты; **Д. С. Янкевич** — администрирование проекта, редакция текста статьи; **Д. Л. Колесов** — сбор данных, статистические расчеты; **О. Б. Лукьянец** — сбор данных, разработка ПО; **К. М. Горшков, Т. Н. Крылова, Н. Ю. Ковалёва** — сбор данных, установка полисомнографа; **Н. П. Шпичко** — обработка данных; **О. Ю. Люткин** — сбор данных, администрирование проекта; **В. В. Евстифеев** — сбор данных, редакция текста статьи. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

17. Combrisson E, Vallat R, Baptiste EJ, et al. Sleep: an open-source python software for visualization, analysis, and staging of sleep data. *Front Neuroinform.* 2017;11:60. doi: 10.3389/fninf.2017.00060
18. Avantaggiato P, Molteni E, Formica F, et al. Polysomnographic sleep patterns in children and adolescents in unresponsive wakefulness syndrome. *J Head Trauma Rehabil.* 2015;30(5): 334–346. doi: 10.1097/HTR.000000000000122.
19. Nekrasova J, Kanarski M, Yankevich D, et al. Retrospective analysis of sleep patterns in patients with chronic disorders of consciousness. *Sleep Medicine: X.* 2020;2:100024. doi: 10.1016/j.sleepx.2020.100024

Информация об авторах

Канарский Михаил Михайлович [Mikhail M. Kanarskii]; адрес: 141534, Московская область, Солнечногорский район, д. Лыткино, д. 777 [address: 777, Building 1, Lytkino, Moscow region, Russia], e-mail: kanarmm@yandex.ru, SPIN-код: 1776-1160

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7635-1048>

Некрасова Юлия Юрьевна, к.т.н. [Iuliia Y. Nekrasova]; e-mail: nekrasova84@yandex.ru, SPIN-код: 8947-4230
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4435-8501>

Борисов Илья Владимирович [Ilya V. Borisov]; тел.: +7 (495) 641-30-06, e-mail: realzel@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5707-118X>

Янкевич Дмитрий Станиславович, к.м.н. [Dmitry S. Yankevich]; e-mail: yanson_d@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5143-7366>

Колесов Дмитрий Львович [Dmitry L. Kolesov]; e-mail: kolesov@fnkcrr.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8450-5211>

Лукьянец Олег Борисович [Oleg B. Lukyanets]; e-mail: lucyanec@fnkcrr.ru

Горшков Кирилл Михайлович [Kirill M. Gorshkov]; e-mail: kolesov@fnkcrr.ru, SPIN-код: 5991-9705

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5443-2330>

Шпичко Надежда Павловна [Nadezhda P. Shpichko]; e-mail: shpicko@fnkcrr.ru, SPIN-код: 5092-0536

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3289-6107>

Крылова Татьяна Николаевна [Tatyana N. Krylova]; e-mail: Krylova@fnkcrr.ru

Ковалёва Надежда Юрьевна [Nadezhda Yu. Kovaleva]; e-mail: kovalevanu@fnkcrr.ru

Люткин Олег Юрьевич [Oleg Yu. Lutkin]; e-mail: lutkin@fnkcrr.ru

Евстифеев Виталий Вячеславович [Vitaly V. Evstifeev]; e-mail: evstifeev@fnkcrr.ru

<https://doi.org/10.36425/rehab50494>

Организация медицинской реабилитации в Японии: состояние и перспективы

М. Койва^{1, 2}, А.Ф. Беляев^{3, 4}

¹ Общество социально-медицинской помощи «ХОКУТО», Хоккайдо, г. Обихиро, Япония

² ООО «Медицинский центр "Джей Джи Си Хокуто Медсервис"», реабилитационный центр «Хокуто», Владивосток, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВПО «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Владивосток, Российская Федерация

⁴ Приморский институт вертеброневрологии и мануальной медицины, Владивосток, Российская Федерация

В Японии развитию медицинской реабилитации уделяется значительное внимание. Это связано с серьезными экономическими, социальными и моральными потерями, которое несет общество в связи с увеличением количества инвалидизирующих заболеваний и травм, а также с выраженным старением населения. В Японии сформирована законодательная и нормативно-методическая база реабилитации, организована этапная реабилитация (острый период, восстановительный, амбулаторный). Разработаны стандарты оснащения, штатное расписание и другие стандарты реабилитационной службы в зависимости от вида заболевания. Важное значение уделяется маршрутизации пациентов и оценке качества лечения. Проводится подготовка специалистов — врачей-реабилитологов, физических терапевтов, эрготерапевтов, логопедов, медицинских сестер, социальных работников. Все специалисты входят в перечень стандартов штатных расписаний для медицинских учреждений, необходимых для получения аккредитации по медицинской реабилитации. Оплата медицинской помощи в Японии построена по страховому принципу. Стоимость и стандартный срок получения реабилитационной помощи в зависимости от заболевания определяется страховыми нормативами. Приводится пример работы реабилитационного центра — Общества социально-медицинской помощи «ХОКУТО» (Хоккайдо, г. Обихиро).

Ключевые слова: медицинская реабилитация, физический терапевт, эрготерапевт, логопед, маршрутизация, реабилитационный профиль, индекс результативности.

Для цитирования: Койва М., Беляев А. Ф. Организация медицинской реабилитации в Японии: состояние и перспективы. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2020;2(4):350–356. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab50494>

Поступила: 23.11.2020 **Принята:** 10.12.2020

Обоснование

В Японии развитию медицинской реабилитации уделяется значительное внимание. Это связано с серьезными экономическими, социальными и моральными потерями, которое несет общество в связи с увеличением количества инвалидизирующих заболеваний и травм, а также с выраженным старением населения. В Японии сформирована законодательная база реабилитации, существует целый ряд специальностей, имеющих отношение к реабилитационной медицине: врачи различных специальностей, в т. ч. врач-реабилитолог, средний медицинский персонал, физические терапевты, эрготерапевты, логопеды, социальные работники. Все эти специалисты входят в перечень стандартов штатных расписаний для медицинских учреждений, необходимых для получения аккредитации по медицинской реабилитации. Стандарты оснащения, штатное расписание и другие стандарты реабилитационной службы в зависимости от вида

заболевания указаны в приказе № 0305-3 Министерства здравоохранения, труда и благосостояния в последней редакции от 05.03.2020 «О стандартах учреждений с применением специальных медицинских сборов, а также процедурах их оформления». Стандарты службы реабилитации в стационарных отделениях восстановительного этапа указаны в приказе № 0305-2 [1].

Подготовка специалистов реабилитационного профиля

Японская ассоциация реабилитационной медицины определяет следующие принципы реабилитационного процесса: «Реабилитация должна осуществляться мультидисциплинарной командой, состоящей из врачей и медицинского персонала, с фокусом на пациента с целью повышения его бытового функционирования, улучшения качества жизни и с подключением местного сообщества и модификации бытовой среды».

Organization of Medical Rehabilitation in Japan: Condition and Prospects

M. Koiva^{1, 2}, A.F. Belyaev^{3, 4}

¹ Hokuto Social Medical Corporation, Obihiro, Hokkaido, Japan

² JGC HOKUTO Healthcare service LLC, Vladivostok, Russian Federation

³ Federal state budget educational Institute of higher education «Pacific State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Vladivostok, Russian Federation

⁴ Primorsky Institute of neurology and manual medicine, Vladivostok, Russian Federation

In Japan, much attention is paid to the development of medical rehabilitation. This is due to serious economic, social and moral losses that society suffers in connection with an increase in the number of disabling diseases and injuries, as well as a marked aging of the population. In Japan, a legislative and normative-methodological base for rehabilitation has been formed, staged rehabilitation has been organized (acute period, rehabilitation, outpatient). Equipment standards, staffing and other standards for rehabilitation services have been developed, depending on the type of disease. Great importance is given to patient routing and treatment quality assessment. Specialists are being trained: rehabilitologist, physical therapists, occupational therapists, speech therapists, nurses, social workers. All specialists are included in the list of staffing standards for medical institutions necessary for obtaining accreditation for medical rehabilitation. Payment for medical care in Japan is based on the insurance principle. The cost and standard term for receiving rehabilitation assistance depending on the disease is determined by insurance standards. An example of the work of a rehabilitation center — the Society for Social and Medical Assistance "Hokuto" (Hokkaido, Obihiro).

Keywords: *medical rehabilitation, physical therapist, occupational therapist, speech therapist, routing, rehabilitation profile, performance index.*

For citation: Koiva M, Belyaev AF. Organization of medical rehabilitation in Japan: condition and prospects. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2020;2(4):350–356. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab50494>

Received: 23.11.2020 **Accepted:** 10.12.2020

Врач-реабилитолог — это врач, который отвечает за организацию процесса реабилитации, направленную на восстановление функций, улучшение активности и участия в жизни общества, а также профилактику, диагностику и лечение расстройств, вызванных болезнями, травмами, старением и др. Врач-реабилитолог, обладающий профессиональными навыками, обширными медицинскими знаниями и клиническим опытом, должен в качестве руководителя реабилитационного процесса координировать работу внутри мультидисциплинарной команды и с врачами других специальностей.

Подготовка врача-реабилитолога выглядит следующим образом. После шестилетнего курса обучения на медицинском факультете университета выпускник сдает государственные экзамены и получает лицензию врача, но только после двухлетней ординатуры имеет право заниматься медицинской деятельностью. В клинической ординатуре врач получает комплексную медицинскую практику, приобретая широкий спектр медицинских навыков [1]. Кроме того, должно пройти 3 года после вступления в японскую ассоциацию реабилитационной медицины, которая является общественной организацией и всту-

пить в которую можно независимо от стажа работы и специальности (врачи, физические терапевты, медсестры др.), но при наличии двух рекомендаций от членов ассоциации. Аттестация специалиста проводится в экзаменационной форме после трехлетней ординатуры во всех сферах, имеющих отношение к реабилитационной медицине, согласно установленной послевузовской программе [2], и осуществляется в двух и более медицинских учреждениях. Программа подготовки в ординатуре состоит из теоретической части, принципов диагностики и оценки функциональных состояний, лечебной практики (особое внимание уделяется изучению клинических случаев, опыту обследований, медицинским манипуляциям и разным профессиональным навыкам), вопросов этики и социальных отношений, а также клинической практики, включая 8 групп основных категорий заболеваний и травм. Ординаторы изучают детскую реабилитацию (5 случаев), реабилитацию пациентов с цереброваскулярными заболеваниями и черепно-мозговой травмой (должно быть изучено не менее 15 случаев), заболеваниями и травмами позвоночника или спинного мозга (10 случаев), заболеваниями и травмами костей и суставов

(15 случаев), нервно-мышечной патологией (10 случаев), патологией внутренних органов (10 случаев), дисфункциональной атрофией, онкологией, болевым синдромом (по 5–10 случаев), а также реабилитацию инвалидов-ампутантов (5 случаев) и др. Всего за период обучения практика должна составлять не менее 100 случаев, в т.ч. в обязательном порядке вышеуказанные случаи [3, 4]. Врачи должны обладать личностными качествами и инициативностью, что повышает качество реабилитационной помощи и ее доступность населению [5]. Численность врачей-реабилитологов (данные на 17.06.2019) составляла 2456 человек, или 1 врач на 51 тыс. человек населения (в 2017 г. — 1 на 79 тыс. населения) [5].

Важная роль в реабилитационном процессе отводится физическому терапевту (physical therapist) [6], который посредством различных видов лечебной физкультуры и использования в терапевтических целях физических факторов (таких как тепловые процедуры, электростимуляция, массаж) помогает пациентам с физическими расстройствами после травм и болезней, а также пациентам с высокой вероятностью развития физических расстройств восстанавливать и поддерживать базовые двигательные навыки (умение сидеть, стоять, ходить), проводит профилактику ухудшения состояния здоровья, дает возможность вернуться к автономной жизни в быту. Также эти специалисты занимаются восстановлением базовых двигательных навыков людей с ограниченными физическими возможностями. Согласно нормативам оплаты труда и нормам охраны труда, физическому терапевту допускается выполнять до 108 единиц занятий в неделю (максимум 24 единицы в день, или 8 ч рабочего времени) [7]. Физический терапевт после получения лицензии Министерства здравоохранения труда и социального обеспечения проводит физическую реабилитацию под руководством врача-реабилитолога. В 2018 г. численность лицензированных физических терапевтов составила 161476 человек (1 физический терапевт на 780 человек населения) [8].

Эрготерапевт (occupational therapist) осуществляет деятельность с целью восстановления прикладных двигательных навыков и адаптации к социальной среде людей с физическими и психическими недостатками. Эрготерапевт, получивший лицензию Министерства здравоохранения труда и социального обеспечения, проводит занятия по трудотерапии (освоение ремесла, изготовление поделок и др.) под руководством врача [8]. Согласно нормативам оплаты труда и нормам охраны труда, физическому терапевту допускается выполнять до 108 единиц занятий в неделю (максимум 24 единицы в день, или 8 ч рабочего времени). В 2018 г. численность лицен-

зированных специалистов составила 89717 человек (1 эрготерапевт на 1404 человека населения) [9].

Логопед (speech therapist) — специалист, осуществляющий речевые упражнения, необходимые обследования и рекомендации, инструктаж, а также другую помощь пациентам с нарушениями слуха, речи и голосового аппарата с целью поддержания и улучшения его функциональности. Лицензия логопеду выдается Министерством здравоохранения труда и социального обеспечения [10]. Согласно нормативам оплаты, допускается по 108 единиц занятий в неделю (максимум 24 единицы в день). В 2018 г. численность лицензированных специалистов составила 17890 человек (1 логопед на 7043 человека населения) [11].

Подготовка физических терапевтов, эрготерапевтов и логопедов проводится в средних профессиональных колледжах и институтах с трех- или четырехлетней системой обучения, в которых имеется учебный курс по физио- и эрготерапии. В случае с логопедами, кроме аналогичной с физио- и эрготерапевтами системой обучения, выпускники институтов с четырехлетней программой обучения могут пройти подготовку в установленных институтах, профильной аспирантуре, а также в профессиональных колледжах с двухлетней системой обучения [11].

Организационные аспекты медицинской реабилитации

В Японии рекомендуется осуществлять реабилитацию в согласованном порядке сразу после возникновения заболевания, т.е. с острого этапа, и продолжать до полной реализации реабилитационного потенциала. Тем не менее научные обоснования для разделения этапов по времени еще не выработаны [12]. Считается, что активные реабилитационные мероприятия на более раннем этапе в медицинских учреждениях острого этапа эффективно способствуют восстановлению бытовых навыков, профилактике дисфункциональной атрофии, а также поддержке уровня сознания пациента в нормальном состоянии. Реабилитация проводится под строгим контролем факторов риска. Так, если после инсульта реабилитационные мероприятия начаты в отделении острого этапа со следующего дня после поступления пациента, то через 30–40 дней пациента переводят в отделение реабилитации восстановительного этапа, где он может получать необходимую помощь еще до 180 дней. При состоянии пациента, требующем ухода по истечении срока госпитализации в отделении реабилитации на восстановительном этапе, пациент может получать помощь на хроническом этапе, используя страховку по уходу [13]. Кроме того, для пациентов с острым нарушением мозгового

кровообращения (ОНМК), переломом шейки бедра или другим заболеванием, которым после острого этапа необходима социальная или психологическая помощь, имеется отделение реабилитации на восстановительном этапе, где осуществляется интенсивная реабилитация с участием многопрофильной команды специалистов с целью возвращения пациента домой и в социум в восстановленном физическом и психологическом состоянии.

Стандартный срок реабилитации рассчитывается от дня заболевания или начала лечения. Реабилитация цереброваскулярных заболеваний составляет 180 дней, опорно-двигательного аппарата — 150 дней, дисфункциональной атрофии — 120 дней, сердечно-сосудистая реабилитация — 150 дней, реабилитация дыхательной системы — 90 дней. При прогрессирующем заболевании или трудноизлечимой болезни, а также при расстройствах, восстановление которых требует продолжительного времени, ограничения по срокам реабилитации в иных случаях отсутствуют.

Поступление на восстановительный этап в отделение реабилитации определяется сроком после заболевания или травмы, что связано с возможностью полной реализации реабилитационного потенциала при условии своевременного начала мероприятий. Например, после геморрагического или ишемического инсульта, перелома шейки бедренной кости, повреждения спинного мозга, черепно-мозговой травмы, дисфункциональной атрофии в результате иммобилизации после операции или пневмонии на реабилитацию можно поступить только в течение 2 мес от начала заболевания или получения травмы; в случае с повреждением нервных окончаний, связок и мышц тазобедренного или коленного суставов — в течение 1 мес. Пропустив эти сроки, пациент не имеет возможности поступить на реабилитацию.

Принципы оплаты реабилитационных услуг

Оплата медицинской помощи в Японии построена по страховому принципу. Стоимость и стандартный срок получения реабилитационной помощи в зависимости от заболевания определяется страховыми нормативами. Стоимость разделена на следующие категории: реабилитация цереброваскулярных заболеваний, реабилитация опорно-двигательного аппарата, реабилитация дисфункциональной атрофии, сердечно-сосудистая реабилитация, реабилитация дыхательной системы. Обычно обязательная медицинская страховка покрывает до 70% расходов на реабилитацию, а пациент оплачивает остальные 30%. Если лечение стоит очень дорого, процент оплаты из страховки увеличивается. Исходя из прин-

ципов полноценности реабилитации на остром этапе, в первые 14 дней после возникновения страхового события применяются первичная надбавка к оплате труда специалистов и надбавка за реабилитацию на раннем этапе, которая допускается в течение 30 дней. Тарификация, которая устанавливается относительно каждого вида заболевания, варьирует в зависимости от категории учреждения, при этом у учреждения 1-й категории тариф самый высокий, а у 3-й — самый низкий. Категория учреждения определяется в зависимости от количества персонала, имеющего отношение к реабилитации, а также площади реабилитационного зала и имеющегося оборудования [14]. Количество пациентов в отделении в тяжелом состоянии, а также процент улучшения при выписке по шкале оценки повседневных бытовых навыков также учитывается при определении тарифов. Например, для самого высокого тарифного плана при реабилитации пациентов с ОНМК на восстановительном этапе применяются следующие нормативы: наличие в постоянном штате 2 врачей, один из которых должен иметь клинический опыт работы более 3 лет в медицинской реабилитации; более 5 физических терапевтов, более 3 эрготерапевтов и как минимум 1 логопеда. В общей сложности численность реабилитационного штата должна составлять не менее 10 человек.

В Японии существует два вида государственного медицинского страхования. Все население старше 18 лет в обязательном порядке оплачивает взносы на медицинскую страховку. Разработана также страховая система, имеющая отношение к реабилитации: это страховка по уходу, учрежденная в 2000 г. на фоне общественной проблемы в виде роста числа пожилого населения, требующего ухода, развития культуры обособленной нуклеарной семьи, ухода со службы сотрудников из-за необходимости ухода за родными. Целью страховки является поддержка общества в вопросах по уходу за пожилыми и людьми с инвалидностью, снижение нагрузки на семью. Взносы в страховую систему по уходу выплачиваются населением старше 40 лет, которые получают право получать страховые выплаты при признании состояния, требующего ухода. Такая помощь дает возможность после прохождения реабилитации по медицинской страховке в больнице получать услуги на дому, в дневном стационаре специализированных учреждений (гостиничные, бытовые и др.) [15].

Реабилитация измеряется в условных единицах: одна условная единица времени проведения процедур составляет 20 мин, в период стандартного срока реабилитации допускается не менее 6 единиц в день (2 ч). Кроме того, допускается 9 единиц в день (3 ч) реабили-

тации пациентам при цереброваскулярных заболеваниях на остром этапе и во время госпитализации в отделении реабилитации на восстановительном этапе.

Принципы маршрутизации пациентов реабилитационного профиля

В Японии разработана маршрутизация пациентов, нуждающихся в реабилитации: реабилитация в остром периоде заболевания или травмы, стационарная реабилитация на восстановительном этапе, амбулаторный этап. Согласно данным Ассоциации отделений реабилитации восстановительного этапа, среднее время перевода из отделения острого этапа в отделение восстановительного этапа при ОНМК составляет 28,4 дня, а средняя продолжительность госпитализации на восстановительном этапе — 83,2 дня, при ортопедических заболеваниях и травмах — 20,3 и 54,7, при дисфункциональной атрофии — 21,6 и 55,3, при других заболеваниях — 18,8 и 40,5 дня соответственно. Закономерен вопрос, почему после перенесенного инсульта пациент находится на реабилитации не 180, а 83,2 дня? Это связано с тем, что пациент направляется на выписку исходя из результатов реабилитации, при этом учитываются показатели замедления процесса реабилитации, оценка стабильности соматического состояния, степень подготовки благоприятных домашних условий для дальнейшей амбулаторной реабилитации.

Оценка качества медицинской реабилитации

Качество реабилитации в Японии подразумевает структуру оценки состояния реабилитационного учреждения и оборудования, а также наличие мультидисциплинарной команды. Без определения этих показателей лицензия на проведение реабилитации не выдается. Выше было показано, что качество структуры влияет на реабилитационные тарифы. Оценивается процесс реабилитации, где учитываются клинические протоколы и программы реабилитации, активное вовлечение в реабилитацию пациента и членов его семьи, критерии перевода с этапа на этап. Большое внимание уделяется оценке результативности реабилитации, активно используются оценочные шкалы. В медицинских тарифах за реабилитацию в качестве обязательного показателя эффективности используются оценка независимости в повседневной жизни — индекс Бартела (Barthel index) и показатель функциональной независимости (Functional independence measure, FIM).

В стандартах отделений реабилитации на восстановительном этапе используется индекс на основе баллов по шкале FIM. Кроме того, в качестве оцен-

ки клинических результатов применяется индекс результативности (эффективности), который определяется шкалой двигательной активности FIM, скорректированной с учетом количества дней госпитализации и причины заболевания [16]. Формула индекса эффективности: $A/(B/C)$, где А — разница между баллами FIM при поступлении и выписке из больницы (рост показателя FIM), В — количество дней госпитализации, С — максимально разрешенный период госпитализации. Например, за 68 дней госпитализации в отделении реабилитации на восстановительном этапе после ОНМК (максимальный период госпитализации 150 дней) показатель FIM повысился на 20 баллов (при поступлении 80, при выписке 100), в этом случае индекс эффективности будет равен 44%: $20/(68/150)$. При этом средний индекс эффективности должен составлять более 40% для применения самого высокого тарифа.

При оценке результативности играют роль следующие показатели: процент тяжелых пациентов (по шкале FIM), оценка улучшения повседневной функциональности тяжелых пациентов (рост показателя FIM), процент возвращающихся в домашние условия, индекс результативности (эффективности). Количество падений и пролежни специально не учитываются.

В Японии рост показателя FIM (разница в баллах между FIM при выписке и при госпитализации) в среднем по всем нозологиям составляет 23,2 балла (средний балл при поступлении 68,9, при выписке 92,1). Средний рост баллов при заболеваниях церебрального кровообращения составляет 23,3 (при поступлении 63,1, при выписке 86,3), при ортопедических заболеваниях и травмах — 24,1 (при поступлении 75,4, при выписке 99,5), при дисфункциональной атрофии — 17,1 (при поступлении 57,9, при выписке 75,1), при других заболеваниях — 18,5 (при поступлении 91,6, при выписке 110,1).

Условием эффективной реабилитации является процент успешного возвращения в домашние условия выше 70%. В результате после реабилитации на восстановительном этапе домой возвращаются 68,1% (из них с применением страховки по уходу 40,0%, без применения страховки по уходу 28,1%), в специализированные пансионаты — 11,6%, в другое отделение или медицинское учреждение переводятся 7,3%, в учреждение по уходу за престарелыми — 6,5%; смерть наступает у 6,5% пациентов. Если принять во внимание схему маршрутизации «медицинское учреждение → отделение реабилитации на восстановительном этапе → специализированные пансионаты», то процент возвращения в домашние условия составляет 79,4%, или 8 человек из 10 [17].

Критериями выписки пациента из стационарного этапа реабилитации считаются достаточный уровень независимости в повседневной жизни, явное замедление процессов восстановления, а также подготовленные условия для продолжения реабилитации в домашних условиях. Если пребывание в стационаре затягивается, то индекс результативности (эффективности) будет снижаться.

В случае, если пациенту будет необходим уход и помощь после выписки, то уже в отделении реабилитации на восстановительном этапе, по возможности с раннего этапа, привлекаются члены семьи или социальные работники с целью обучения их навыкам по уходу за пациентом с учетом его психического и физического состояния. Это важно в том числе и для предотвращения чрезмерного утомления и проблем со здоровьем у самих опекунов в результате ухода за пациентом. С учетом будущих условий проживания проводится практический инструктаж по уходу за пациентом; кроме того, примерно за 2 мес до выписки из стационара рассматривается вопрос о доработке домашнего интерьера с учетом физического состояния пациента с целью обеспечения ему максимально возможной автономности. Перед выпиской организуется несколько пробных ночевки в домашних условиях.

Пример Общества социально-медицинской помощи «ХОКУТО» (Хоккайдо, г. Обихиро)

Иллюстрацией к вышеизложенному может служить работа Общества социально-медицинской помощи «ХОКУТО», имеющего в своем составе отделение острого этапа (Госпиталь Хокуто на 267 стационарных коек), стационарное отделение реабилитации на восстановительном этапе (Реабилитационный центр округа Токачи), специализированный пансионат, а также отделение оказания услуг на дому.

В Госпитале Хокуто нет специальных реабилитационных коек: реабилитологи (их около 60 человек) проводят восстановительные мероприятия в палатах. В Реабилитационном центре округа Токачи в отделении реабилитации на восстановительном этапе имеется 169 стационарных коек и работает около 120 реабилитологов. Наполняемость Центра (данные за 2016 г.) составляет 98,8%, за год прошли реабилитацию 722 пациента, средний срок госпитализации 68 дней, среднее количество занятий в день на одного пациента составляет 6,7 единиц, процент возвратившихся домой 70,6%, в специализированный пансионат — 12,5%. Средний балл по шкале FIM при госпитализации — 79,9, при выписке — 100,0, средний рост баллов — 20,1.

При сравнении результативности Центра с общими данными по Японии средний балл FIM при госпитализации получается выше на 10,0, при выписке — выше на 7,9 баллов. Кроме того, процент возвращения домой, включая специализированные пансионаты, — выше на 3,7%. Причиной высокого балла при госпитализации может являться тот факт, что около 80% составляют пациенты, переведенные из отделения острого этапа Госпиталя Хокуто, с высокой результативностью реабилитации на остром этапе. Кроме того, высокий балл FIM при выписке и процент возвращения домой по сравнению с данными по Японии указывает на высокую эффективность реабилитации в Центре.

Перспективы реабилитационной медицины в Японии

Одной из важнейших задач, стоящей перед реабилитологами Японии, — это повышение качества реабилитации, особенно пациентов, перенесших ОНМК. В последнее время для решения этой проблемы стали активно использовать современное реабилитационное оборудование, в частности робототехнику, нейромодуляционную реабилитацию с использованием нейрокомпьютерного интерфейса (brain machine interface, BMI) и виртуальной реальности. Кроме того, все активнее проводят клинические испытания эффективности реабилитационной медицины в сочетании с регенеративной у пациентов с ОНМК и последствиями повреждения спинного мозга.

Одной из инициатив в Японии является концепция «Смарт реабилитации — умная реабилитация», которая разрабатывается профессором Лю Мейгэн (Liu Meigen) на кафедре реабилитационной медицины Медицинского факультета Университета Кэйо. Концепция «Смарт реабилитация» заключается не только в том, чтобы внедрить современное реабилитационное оборудование, но и совместить с ним классическую физическую терапию с целью максимального повышения качества реабилитационных услуг с опорой на научно доказанные результаты. Данные по оценке и лечению, полученные с использованием современного реабилитационного оборудования в нескольких медицинских учреждениях, будут объединены, интегрированы и проанализированы. Одной из целей концепции «Смарт реабилитации» в будущем является предоставление оптимальной реабилитации с помощью сопоставления этих данных с состоянием пациента и его функциональной оценкой.

Кроме того, современное реабилитационное оборудование обладает преимуществом в визуализации, стандартизации и нивелировании оценки и лечения. Следует признать, что в классической

реабилитации многие методы оценки и лечения имеют немало субъективных факторов, результат определяется эмпирически. Не только в Японии, но и во всем мире пока недостаточная доказательная база эффективности реабилитации и стандартизации лечения. В разных странах имеются различия по оценке эффективности лечения, особенно закономерность проявляется в реабилитации пациентов после ОНМК. При освоении современного реабилитационного оборудования можно получить объективные результаты лечения, визуализировать их с помощью числовых значений и диаграмм.

Еще один вопрос, стоящий перед реабилитологической службой Японии, связан с нарастающими темпами старения населения, снижением численности населения из-за низкой рождаемости, в связи с чем расходы на социальное обеспечение, связанное с медицинским обслуживанием, постоянно растут. Высока вероятность того, что количество дней

госпитализации при реабилитации и лечении будут сокращаться. В таких обстоятельствах нет сомнений, что для дальнейшего повышения эффективности лечения необходимо повышать качество реабилитационной медицины.

Источник финансирования

Исследование проводилось на личные средства авторского коллектива.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Участие авторов

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

Список литературы / References

1. Ministry of Health, Labour and Welfare, All Right reserved. Available from: <https://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/isei/rinsyo/hensen/>.
2. Japanese Association of Rehabilitation Medicine (JARM). Available from: <http://www.jarm.or.jp/civic/specialist.html>.
3. Watanabe A, Fukuda M, Suzuki M, et al. Factors decreasing caregiver burden to allow patients with cerebrovascular disease to continue in long-term home care. J Stroke Cerebrovasc Dis. 2015;24(2):424–430. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2014.09.013.
4. Core training program of Rehabilitation department, Keio University. Available from: <http://www.med.keio.ac.jp/sotsugo/kouki/download/kouki-index/15.pdf>.
5. Japanese Association of Rehabilitation Medicine (JARM). Available from: http://www.jarm.or.jp/wp-content/uploads/file/member/member_system_guideline20151102-1.pdf.
6. Law about Physical Therapy and Occupational Therapy. Available from: <https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10801000-Iseikyoku-Soumuka/0000168998.pdf>.
7. Japanese Physical Therapy Association. Available from: <http://www.japanpt.or.jp/general/aim/physicaltherapist/>.
8. Statistics of Japanese Physical Therapy Association. Available from: <http://www.japanpt.or.jp/about/data/statistics/>.
9. Journal of Japanese Association of Occupational Therapists, May 2018. Available from: <http://www.jaot.or.jp/kankobutsu/pdf/ot-news2018/2018-05.pdf>.
10. Law about organization of work for Speech Therapy. Available from: https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00ta6541&dataType=1&pageNo=1.
11. Japanese Association of Speech-Language, Hearing Therapists. Available from: <https://www.japanslht.or.jp/about/trend.html>.
12. Guideline for Stroke Treatment 2009. Available from: <https://www.jsnt.gr.jp/guideline/nou.html>.
13. Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan. Available from: <https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r98520000011ga6-att/2r98520000011gk1.pdf>.
14. Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan. Available from: <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-12400000-Hokenkyoku/0000196294.pdf>.
15. Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan. Available from: https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-12300000-Roukenkyoku/2gou_leaflet.pdf.
16. Kaifukuki Rehabilitation Ward Association. Available from: http://www.rehabili.jp/eng/eng_page.html.
17. Kaifukuki Rehabilitation Ward Association. Available from: http://plus1.co.net/d_data/2019_zitai_book_kaitei.pdf.

Информация об авторах

Койва Митоки [Koiva Mitoki]; ведущий реабилитолог Общества социально-медицинской помощи «ХОКУТО» (Япония) и ООО «Медицинский центр «Джей Джи Си Хокуто Медсервис»

Беляев Анатолий Фёдорович, д.м.н., профессор [Anatoly F. Belyaev, MD, PhD, Professor]; адрес: Россия, 690078, Владивосток, пр. Острякова, д. 2 [address: 2, Ostryakova Prospekt, Vladivostok, 690002, Russia]; e-mail: inmanmed@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0696-9966>

<https://doi.org/10.36425/rehab34837>

О монографии Н.С. Николаева и Р.В. Петровой «Физическая реабилитация пациентов после эндопротезирования крупных суставов нижних конечностей»

А.В. Новиков, Е.А. Галова

Университетская клиника Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород, Российская Федерация

В рецензии представлен опыт внедрения системного подхода к медицинской реабилитации пациентов после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов на примере Федерального центра травматологии, ортопедии и эндопротезирования в Чебоксарах. Монография авторов — непосредственных участников процесса — содержит практические рекомендации, авторские методики, рекомендуемые комплексы лечебной физкультуры после эндопротезирования крупных суставов нижних конечностей.

Ключевые слова: физическая реабилитация, послеоперационная реабилитация, эндопротезирование суставов, коксартроз, гонартроз.

Для цитирования: Новиков А. В., Галова Е. А. О монографии Н. С. Николаева и Р. В. Петровой «Физическая реабилитация пациентов после эндопротезирования крупных суставов нижних конечностей». *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2020;2(4):357–360. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab34837>

Поступила: 24.06.2020 **Принята:** 06.11.2020

About the monograph by N.S. Nikolaev and R. V. Petrova “Physical rehabilitation of patients after arthroplasty of large joints of the lower extremities”

A. V. Novikov, E. A. Galova

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Privolzhsky Research Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Nizhny Novgorod

The article presents the experience of implementing a systematic approach to medical rehabilitation of patients after hip and knee arthroplasty using the example of the Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty in Cheboksary. The monograph of the authors — direct participants in the process — contains practical recommendations, author's techniques, recommended complexes of physiotherapy after arthroplasty of large joints of the lower extremities.

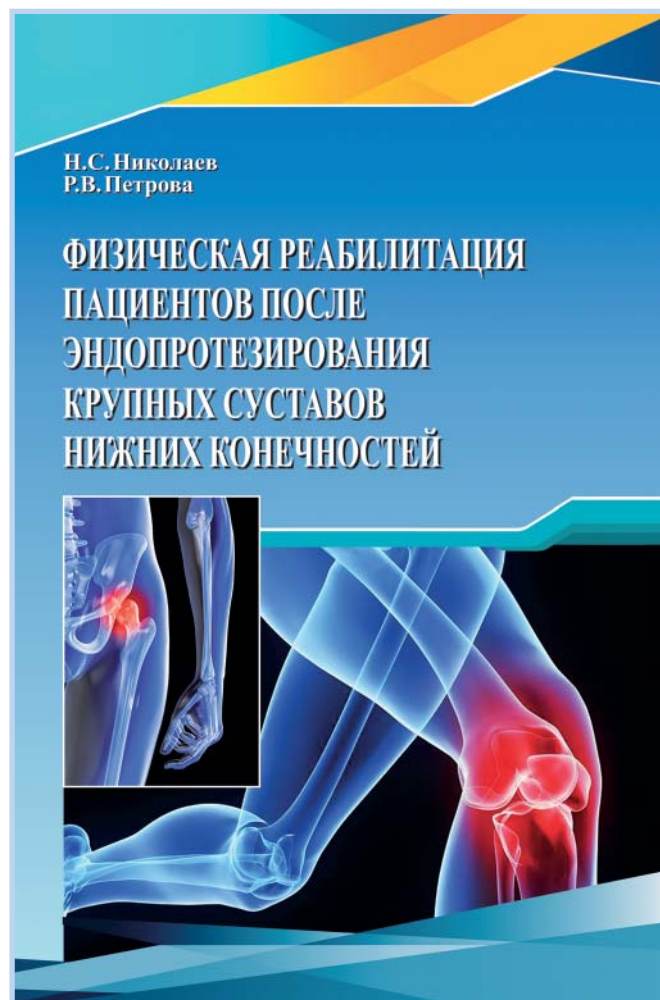
Keywords: physical rehabilitation; postoperative rehabilitation; arthroplasty of joints; coxarthrosis; gonarthrosis.

For citation: Novikov A. V., Galova E. A. About the monograph by N. S. Nikolaev and R. V. Petrova “Physical rehabilitation of patients after arthroplasty of large joints of the lower extremities”. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2020;2(4):357–360. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab34837>

Received: 24.06.2020 **Accepted:** 06.11.2020

Список сокращений

ЛФК — лечебная физическая культура



С развитием высокотехнологичной медицинской помощи в России в сфере травматологии и ортопедии на первое место выходит эндопротезирование суставов, и чаще всего пациенты обращаются к этому виду оперативного лечения при коксартрозах и гонартрозах с выраженным нарушением функционального (статодинамического) состояния суставов, сопровождающимся болевым синдромом.

В России остеоартрозами страдает огромное число людей: общая заболеваемость составляет 3646,3 на 100 тыс. взрослых. По данным эпидемиологического исследования, проведенного в Российской Федерации, частота остеоартрозов коленных и/или тазобедренных суставов среди населения старше 18 лет составляет 13%. За последние 20 лет чис-

ло больных остеоартрозами выросло более чем в 2 раза, что обусловлено, в первую очередь, увеличением продолжительности жизни населения и числа лиц с избыточной массой тела. Большое медико-социальное значение проблемы остеоартрозов диктует необходимость оказания высококласной медицинской помощи таким пациентам и наблюдения их на всех этапах лечения и реабилитации.

Поскольку опыт эндопротезирования суставов в нашей стране насчитывает немногим более 10 лет, далеко не все российские травматологи-ортопеды владеют этими методиками, тем более мало кто из них обладает достаточными знаниями и опытом амбулаторного ведения таких пациентов после выписки из стационара.

Рост хирургического мастерства — это лишь одна из составляющих хорошего результата операции. Многократно возрастает роль II и III этапа медицинской реабилитации — послеоперационного восстановления пациентов в условиях амбулаторно-поликлинического звена. Однако и здесь, в силу ограниченного опыта (медицинская реабилитация после эндопротезирования стала развиваться только в последние 5–7 лет), имеются «узкие места» в плане готовности врачей-физиотерапевтов, врачей лечебной физкультуры (ЛФК), инструкторов ЛФК к полноценному восстановлению данной категории пациентов.

Авторы монографии, квалифицированные специалисты-практики — оперирующий травматолог-ортопед, доктор медицинских наук, профессор Н.С. Николаев и врач-физиотерапевт со стажем работы по медицинской реабилитации более 30 лет Р.В. Петрова — представляют 10-летний опыт работы монопрофильной (травматология и ортопедия) клиники федерального значения в новых условиях оказания высокотехнологичной медицинской помощи. Представленная читателям работа — первый опыт обобщения современных подходов к восстановлению двигательных функций пациентов после эндопротезирования коленных и тазобедренных суставов, применяемых с 2009 года в одном из девяти федеральных российских центров травматологии, ортопедии и эндопротезирования — ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (Чебоксары).

Более 70% пациентов чебоксарского Центра получают оперативное лечение в объеме эндопротезирования крупных суставов нижних конечностей. За годы работы здесь проведено более 50 тыс. эндопротезирований коленного и тазобедренного

суставов (5–6 тыс. операций ежегодно). Не каждая клиника травматолого-ортопедического профиля (даже в Европе) имеет такую большую клиническую практику выполнения подобных операций. Соответственно, и опыт реабилитации пациентов в Центре колоссальный. Достаточно сказать, что за прошедшие годы средняя длительность госпитализации этой категории пациентов сокращена почти вдвое — с 10,6 до 6,3 дня главным образом за счет применения современных методик комплексной реабилитации в раннем послеоперационном периоде.

Говоря о ведущей роли медицинской реабилитации после эндопротезирования суставов, необходимо отметить, что Центр одним из первых в стране сформировал подходы и внедрил II и III этапы послеоперационной реабилитации. Не последнюю роль в этом процессе сыграло активное и успешное участие учреждения в российском пилотном проекте «Развитие системы медицинской реабилитации в Российской Федерации» в 2015–2016 гг.

При проведении эндопротезирования одной из важнейших задач для врачей, помимо замены сустава и возвращения пациенту двигательной активности, является минимизация возможных осложнений. Профилактика послеоперационных осложнений в настоящем есть важная составляющая эффективности проведенной операции в будущем.

Цель монографии — не только подробно рассказать читателям об эндопротезировании, но главным образом показать возможные пути предотвращения осложнений с помощью грамотно проведенной реабилитации и мер профилактики послеоперационных осложнений. Авторами подчеркнута значимость мультимодального подхода к обезболиванию при эндопротезировании коленного сустава. Отмечена важная роль ультразвуковой диагностики в процессе раннего выявления послеоперационных гематом. Разработаны и представлены собственные схемы медикаментозной профилактики тромбоэмболических осложнений. Описаны ускоренная методика и результаты раннего послеоперационного восстановления функции сустава у пациентов с высоким реабилитационным потенциалом. За 10 лет работы Центра внедрение разработанных алгоритмов в практику способствовало существенному — с 2,09 до 0,68% — снижению частоты осложнений у пациентов после эндопротезирования.

Материал об основных принципах маршрутизации пациентов на этапах реабилитации сопровождается подробным описанием целого арсенала реабилитационных методов и средств. В моногра-

фии вы сможете не только найти основные методы, но и взять на вооружение оценочные инструменты (шкалы) и критерии оценки эффективности проведенной реабилитации. Авторы акцентировали внимание читателей на специфике отбора пациентов для эндопротезирования, в частности, на оценке коморбидного фона и факторов периоперационного риска, что также зачастую представляет трудности для практикующих врачей-травматологов амбулаторно-поликлинического звена.

Издание структурировано, снабжено глоссарием и главой с описанием терминологии по данному вопросу. Поэтапно освещается история развития эндопротезирования суставов в мире и в Российской Федерации, включены ссылки почти на 40 актуальных литературных источников по теме и перечень действующих нормативно-правовых документов, регламентирующих оказание травматолого-ортопедической помощи в России на сегодняшний день.

Авторы щедро делятся с читателями собственными наработками и авторскими методиками, помогающими систематизировать информацию о пациенте и проводимых реабилитационных мероприятиях. Прежде всего, это разработанные в Центре и интегрированные в медицинскую информационную систему Шкала реабилитационного маршрута, Индивидуальные программы медицинской реабилитации пациентов после эндопротезирования коленного и тазобедренного суставов, Индивидуальная карта пациента в раннем послеоперационном периоде.

Ноу-хау коллектива Центра является и описанная в монографии информационно-просветительская система работы с пациентами «Школа пациента». Определенную ценность для читателя представляют приведенные клинические примеры пациентов с различным реабилитационным потенциалом. Подчеркивается важная роль комплексного подхода к этому процессу с участием мультидисциплинарной бригады специалистов с определением роли каждого из них.

Книга имеет множество иллюстраций, схем и приложений для использования в каждодневной работе врача. Комплексы лечебной физкультуры для пациентов после эндопротезирования коленных и тазобедренных суставов призваны пополнить багаж знаний инструкторов и врачей ЛФК.

Монография является прекрасным практическим пособием не только для упомянутых выше специалистов, но и подспорьем для преподавателей медицинских вузов по профилям «травматология и ортопедия» и «медицинская реабилитация», сту-

дентов и врачей-ординаторов данной специальности, принесет также несомненную пользу и специалистам реабилитационных центров.

Высокую экспертную оценку работе дал известный в России врач-реабилитолог М. Б. Цыкунов — доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением реабилитации ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н. Н. Приорова» Минздрава России.

Прочитав эту книгу, каждый специалист найдет для себя что-то новое, расширит врачебный кругозор и актуализирует свое видение проблемы реабилитации пациентов с остеоартрозами, что, в конечном счете, будет способствовать повышению

качества оказываемой медицинской помощи пациентам после такого серьезного вида оперативного лечения, как эндопротезирование.

Источник финансирования

Работа не имела финансовой поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов

Все авторы внесли существенный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

Информация об авторах

Новиков Александр Вульфович, д.м.н. [Alexander V. Novikov, MD, PhD]; адрес: 603950, Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, д. 10/1 [address: 10/1, Minin and Pozharsky square, Nizhny Novgorod, 603005]; главный научный сотрудник Научного консультативно-реабилитационного отделения Университетской клиники ФГБОУ ВО ПИМУ Минздрава России; e-mail: novik2.55@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8099-3791>

Галова Елена Анатольевна [Elena A. Galova, PhD]; заместитель директора Университетской клиники ФГБОУ ВО ПИМУ Минздрава России по науке; e-mail: galova75@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9574-2933>

