



ФНКЦ РР

ISSN 2658-6843

Том 4, № 4  
ДЕКАБРЬ 2022

**ФИЗИЧЕСКАЯ  
И РЕАБИЛИТАЦИОННАЯ  
МЕДИЦИНА,  
МЕДИЦИНСКАЯ  
РЕАБИЛИТАЦИЯ**

---

PHYSICAL AND REHABILITATION  
MEDICINE, MEDICAL REHABILITATION

Официальное научное издание  
специализированной медицинской прессы для врачей

Подписной индекс 71395

## УЧРЕДИТЕЛИ

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

## ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Эко-Вектор»

Адрес: 191186, г. Санкт-Петербург,  
Аптекарский переулок, д. 3, литера А,  
помещение 1Н

E-mail: [info@eco-vector.com](mailto:info@eco-vector.com)

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

## РЕКЛАМА

Отдел рекламы

Тел.: +7 (495) 308 83 89

E-mail: [adv@eco-vector.com](mailto:adv@eco-vector.com)

## РЕДАКЦИЯ

Зав. редакцией

Ульяна Григорьевна Пугачёва

E-mail: [prgm-journal@fnkcr.ru](mailto:prgm-journal@fnkcr.ru)

Адрес: 107031, г. Москва,

ул. Петровка, д. 25, стр. 2

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

## ПОДПИСКА

Подписка на печатную версию  
через интернет:

- [www.journals.eco-vector.com](http://www.journals.eco-vector.com)
- [www.akc.ru](http://www.akc.ru)
- [www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru)

## ОТКРЫТЫЙ ДОСТУП

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

## ИНДЕКСАЦИЯ

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

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

## ОРИГИНАЛ-МАКЕТ

подготовлен в издательстве «Эко-Вектор».

Литературный редактор: *М.Н. Шошина*

Корректор: *М.Н. Шошина*

Верстка: *Е.А. Труханова*

ISSN 2658-6843 (Print)

# Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация

Том 4 | Выпуск 4 | 2022

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ ЖУРНАЛ

## Главный редактор

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

ORCID: 0000-0003-3180-5525

## Первый заместитель главного редактора

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

ORCID: 0000-0003-1811-6936

## Заместители главного редактора по направлениям

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

ORCID: 0000-0002-0544-1492

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

ORCID: 0000-0002-4778-2586

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

ORCID: 0000-0002-0994-8602

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

ORCID: 0000-0002-7659-8008

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

ORCID: 0000-0002-4305-6691

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

ORCID: 0000-0002-1622-0169

## Редакционная коллегия

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

ORCID: 0000-0003-0484-9805

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

ORCID: 0000-0003-0928-2131

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

ORCID: 0000-0002-7608-2255

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

ORCID: 0000-0001-6998-8406

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

ORCID: 0000-0003-2250-5942

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

ORCID: 0000-0003-0282-7207

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

ORCID: 0000-0002-1741-7246

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

ORCID: 0000-0003-3318-796X

Даминов В.Д., д.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-7141-6052

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

ORCID: 0000-0003-2958-4479

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

ORCID: 0000-0002-0617-5093

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

ORCID: 0000-0001-8089-8583

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

ORCID: 0000-0003-3908-6801

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

ORCID: 0000-0001-7491-7215

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

ORCID: 0000-0003-1142-9796

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

ORCID: 0000-0001-6713-8778

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

ORCID: 0000-0002-5930-0118

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

ORCID: 0000-0002-5752-4812

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

ORCID: 0000-0003-3872-5923

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

ORCID: 0000-0002-8084-1277

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

ORCID: 0000-0002-2076-4062

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

ORCID: 0000-0001-8520-9468

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

ORCID: 0000-0003-1699-0881

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

ORCID: 0000-0002-1560-470X

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

ORCID: 0000-0002-6816-1615

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

ORCID: 0000-0002-4535-9805

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

ORCID: 0000-0003-3292-8789

Петрова М.В., д.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-4272-0957

Пирадов М.А., д.м.н., проф.,

академик РАН (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-6338-0392

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

ORCID: 0000-0002-9648-2336

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

ORCID: 0000-0002-1643-5960

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

ORCID: 0000-0003-3198-8990

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

ORCID: 0000-0002-0372-5790

Суворов А.Ю., к.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-4901-2208

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

ORCID: 0000-0003-3956-6362

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

ORCID: 0000-0001-8904-5333

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

ORCID: 0000-0002-8825-2346

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

ORCID: 0000-0002-3071-4712

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

ORCID: 0000-0001-5956-2306

Шамалов Н.А., д.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-6250-0762

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

ORCID: 0000-0001-9952-9630

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

ORCID: 0000-0002-5278-7058

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

16+

© ООО «Эко-Вектор», 2022

ЭКО • ВЕКТОР



## FOUNDERS

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

## PUBLISHER

### Eco-Vector

Address: 3 liter A, 1H,  
Aptekarsky pereulok, 191186,  
Saint Petersburg, Russian Federation  
E-mail: [info@eco-vector.com](mailto:info@eco-vector.com)  
WEB: <https://eco-vector.com>

## ADVERTISE

### Adv. department

Phone: +7 (495) 308 83 89  
E-mail: [adv@eco-vector.com](mailto:adv@eco-vector.com)

## EDITORIAL OFFICE

### Executive editor

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

## SUBSCRIPTION

For print version:  
[www.journals.eco-vector.com](http://www.journals.eco-vector.com)

## PUBLICATION ETHICS

Journal's ethic policies are based on:

- ICMJE
- COPE
- ORE
- CSE
- EASE

## OPEN ACCESS

Immediate Open Access is mandatory  
for all published articles

## INDEXATION

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

## TYPESET

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

ISSN 2658-6843 (Print)

# Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation

Volume 4 | Issue 4 | 2022

QUARTERLY PEER-REVIEW MEDICAL JOURNAL

## EDITOR-IN-CHIEF

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

## DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

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

## VICE EDITORS-IN-CHIEF

**A.A. Belkin**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Ekaterinburg, Russia)  
ORCID: 0000-0002-0544-1492

**S.V. Prokopenko**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Krasnoyarsk, Russia)  
ORCID: 0000-0002-4778-2586

**M.B. Tsykunov**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0002-0994-8602

**I.E. Mishina**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Ivanovo, Russia)  
ORCID: 0000-0002-7659-8008

**T.Y. Semiglazova**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.)  
ORCID: 0000-0002-4305-6691

**S.A. Valiullina**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.)  
ORCID: 0000-0002-1622-0169

## EDITORIAL COUNCIL

**D.M. Aronov**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0003-0484-9805

**T.T. Batysheva**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0003-0928-2131

**E.S. Berdnikovich**, Cand. Sci. (Psychol), Assistant Professor (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0002-7608-2255

**S.A. Boytsov**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of the RAS (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0001-6998-8406

**M.G. Bubnova**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0003-2250-5942

**T.V. Buylova**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Nizhni Novgorod, Russia)  
ORCID: 0000-0003-0282-7207

**M.Y. Gerasimenko**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0002-1741-7246

**A.V. Grechko**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of the RAS (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0003-3318-796X

**V.D. Daminov**, MD, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0001-7141-6052

**A.B. Danilov**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0003-2958-4479

**M.A. Dymochka**, MD, Assistant professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0002-0617-5093

**Zampolini Mauro**, Professor, MD (Foligno, Perugia, Italy)  
ORCID: 0000-0001-8089-8583

**V.G. Zilov**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Academition of RAS (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0003-3908-6801

**A.S. Kadykov**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0001-7491-7215

**V.N. Kasatkin**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0003-1142-9796

**N.B. Korchazhkina**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0001-6913-8778

**A.N. Kuzovlev**, MD, Assistant professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0002-5930-0118

**K.M. Lebedinskiy**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Saint-Petersburg, Russia)  
ORCID: 0000-0002-5752-4812

**O.S. Levin**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0003-3872-5923

**O.A. Laysheva**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0002-8084-1277

**E.I. Melnikova**, MD, Assistant professor, Dr. Sci. (Med.) (Saint-Petersburg, Russia)  
ORCID: 0000-0002-2076-4062

**I.V. Molchanov**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0001-8520-9468

**I.G. Nikitin**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0003-1699-0881

**N.S. Nikolae**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Cheboksary, Russia)  
ORCID: 0000-0002-1560-470X

**A.V. Oleskin**, Professor, Dr. Sci. (Biol.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0002-6816-1615

**S.A. Perepelitsa**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Kaliningrad, Russia)  
ORCID: 0000-0002-4535-9805

**S.S. Petrikov**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of the RAS (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0003-3292-8789

**M.V. Petrova**, MD, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0003-4272-0957

**M.A. Piradov**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Academition of RAS (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0002-6338-0392

**B.A. Polyayev**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0002-9648-2336

**A.G. Rummyantsev**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Academition of RAS (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0002-1643-5960

**A.M. Sarana**, MD, Cand. Sci. (Med.) (Saint-Petersburg, Russia)  
ORCID: 0000-0003-3198-8990

**Sobotka Lubos**, Professor, MD, PhD (Hradec Kralove, Czech Republic)  
ORCID: 0000-0002-0372-5790

**A.Y. Suvorov**, MD, Cand. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0003-4901-2208

**N.A. Suponeva**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of the RAS (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0003-3956-6362

**Weerkamp-Bartholomeus Paula**, Professor, MD (Voerendaal, The Netherlands)  
ORCID: 0000-0001-8904-5333

**D.R. Khasanova**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Kazan, Russia)  
ORCID: 0000-0002-8825-2346

**S.E. Khat'kova**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0002-3071-4712

**L.V. Chichanovskaya**, MD, Assistant professor, Dr. Sci. (Med.) (Tver, Russia)  
ORCID: 0000-0001-5956-2306

**N.A. Shamalov**, MD, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0001-6250-0762

**A.V. Shakula**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0001-9952-9630

**A.E. Shestopalov**, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)  
ORCID: 0000-0002-5278-7058

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

# СОДЕРЖАНИЕ

---

## ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

*Е.В. Мельникова, Г.Е. Иванова, А.Н. Усков, Н.В. Скрипченко, Н.М. Хасанова, А.В. Кудрявцев,  
Е.Ю. Шергольд, Т.Г. Лепихина*

Реабилитационная оценка при инфекционных заболеваниях нижних дыхательных путей у детей с использованием категорий Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья ..... 223

*И.Н. Новосёлова, И.В. Понина, С.А. Валиуллина*

Классификация последствий и осложнений позвоночно-спинномозговой травмы у детей ..... 234

## НАУЧНЫЙ ОБЗОР

*М.А. Шурупова, А.Д. Айзенштейн, Г.Е. Иванова*

Гомонимная гемианопсия и зрительный неглект. Часть I — феноменология, диагностика ..... 244

*Г.В. Пономарев, А.В. Полякова, М.В. Прохорова, И.А. Вознюк*

Биомаркеры инсульта: вопросы диагностики и медицинской реабилитации ..... 259

*И.В. Борисов, В.А. Бондарь, Д.А. Кудинов, Ю.Ю. Некрасова, М.М. Канарский, П. Прадхан, В.С. Сорокина,  
И.В. Редкин, А.В. Гречко, М.В. Петрова*

Проблемы и перспективы информационных технологий в здравоохранении России: современные реалии. .... 271

## КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

*А.В. Бурмистрова, А.Н. Воробьев, М.Д. Варюхина, А.А. Ильина, М.Л. Радутная, А.А. Яковлев, А.В. Гречко*

Регресс хронического болевого синдрома, рефрактерного к фармакотерапии опиоидами, у пациента после имплантации нейростимулятора спинного мозга: клинический случай ..... 283

*А.С. Клочков, А.Е. Хижникова, И.С. Бакулин, Е.И. Кремнева, А.Г. Пойдашева, А.А. Фукс,  
Д.В. Горлачев, Е.В. Гнедовская, Н.А. Супонева*

Вариант формирования постинсультной синергии руки. Клинический случай ..... 292

# CONTENTS

---

## ORIGINAL STUDY ARTICLE

*Elena V. Melnikova, Galina E. Ivanova, Alekzander N. Uskov, Natalia V. Skripchenko, Nina M. Khasanova, Alexander V. Kudryavtsev, Ekaterina Yu. Shergold, Tatyana G. Lepikhina*  
Assessment of rehabilitation in children with infectious diseases of the lower respiratory tract using the categories of the International Classification of Functioning, Disability and Health ..... 223

*Irina N. Novoselova, Irina V. Ponina, Svetlana A. Valiullina*  
The classification of consequences and complications of spinal cord injury in children ..... 234

## REVIEW

*Marina A. Shurupova, Alina D. Aizenshtein, Galina E. Ivanova*  
Homonymous hemianopia and visual neglect: I — phenomenology, diagnosis ..... 244

*Grigory V. Ponomarev, Alexandra V. Polyakova, Mariia V. Prokhorova, Igor A. Voznjouk*  
Stroke biomarkers: Issues of diagnosis and medical rehabilitation ..... 259

*Ilya V. Borisov, Valeriya A. Bondar, Dmitriy A. Kudinov, Iuliia Yu. Nekrasova, Mikhail M. Kanarskii, Pranil Pradhan, Viktoriya S. Sorokina, Ivan V. Redkin, Andrey V. Grechko, Marina V. Petrova*  
Problems and prospects of it in healthcare in Russia: modern realities ..... 271

## CASE REPORT

*Aleksandra V. Burmistrova, Alexey N. Vorobyev, Maria D. Varyukhina, Anna A. Ilina, Margarita L. Radutnaya, Alexey A. Yakovlev, Andrey V. Grechko*  
Regression of chronic pain syndrome refractory to opioid pharmacotherapy in a patient after implantation of a spinal cord neurostimulator: case report ..... 283

*Anton S. Klochkov, Anastasiya E. Khizhnikova, Ilya S. Bakulin, Elena I. Kremneva, Alexandra G. Poydasheva, Anna A. Fuks, Dmitry V. Gortachev, Elena V. Gnedovskaya, Natalia A. Suponeva*  
Post-stroke hand synergy formation variant. Clinical case ..... 292

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab112413>

# Реабилитационная оценка при инфекционных заболеваниях нижних дыхательных путей у детей с использованием категорий Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья

Е.В. Мельникова<sup>1, 2</sup>, Г.Е. Иванова<sup>3, 4, 5</sup>, А.Н. Усков<sup>1</sup>, Н.В. Скрипченко<sup>1, 6</sup>, Н.М. Хасанова<sup>1, 7</sup>,  
А.В. Кудрявцев<sup>7</sup>, Е.Ю. Шергольд<sup>8</sup>, Т.Г. Лепихина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Детский научно-клинический центр инфекционных болезней, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский медико-социальный институт, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>3</sup> Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Российская Федерация

<sup>4</sup> Федеральный центр мозга и нейротехнологий, Москва, Российская Федерация

<sup>5</sup> Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Москва, Российская Федерация

<sup>6</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>7</sup> Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Российская Федерация

<sup>8</sup> Архангельская городская клиническая поликлиника № 2, Архангельск, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Решение вопросов реабилитации детей после перенесённых инфекционных заболеваний нижних дыхательных путей требует постановки реабилитационного диагноза в категориях Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (МКФ).

**Цель исследования** — определить ключевые проблемы в категориях МКФ и выполнить количественную и качественную оценку изменений в доменах МКФ у детей-реконвалесцентов с инфекционными заболеваниями нижних дыхательных путей на амбулаторном этапе и через 1 месяц после перенесённого заболевания.

**Материалы и методы.** Проведена реабилитационная оценка с использованием категорий МКФ у 201 ребёнка-реконвалесцента заболеваний нижних дыхательных путей.

**Результаты.** Показано, что большинство пациентов как на момент выписки из дневного стационара, так и через месяц после выписки имеют значимые нарушения следующих функций: b134 Функции сна; b152 Эмоциональные функции; b280 Ощущение боли; b440 Дыхательные функции; b450 Дополнительные дыхательные функции; b455 Функция толерантности к физической нагрузке; b460 Ощущения, связанные с сердечно-сосудистой и дыхательной функцией; b730 Функция мышечной силы; b740 Функции мышечной выносливости; b780 Ощущения, связанные с мышцами и двигательными функциями. Показано влияние факторов среды (e115 Продукты и технологии для личного использования в повседневной жизни; e225 Климат; e260 Качество воздуха; e310 Близкие родственники; e355 Медицинские работники; e410 Взаимоотношения с ближайшими членами семьи; e450 Взаимоотношения с медицинскими работниками; e580 Медицинские услуги; e585 Услуги в области образования и профессиональной подготовки) на ход реабилитации.

**Заключение.** Выявленный спектр нарушений функционирования и влияния факторов среды свидетельствует о необходимости медицинской реабилитации детей после перенесённых инфекционных заболеваний нижних дыхательных путей. Характер реабилитации должен быть мультидисциплинарным с возможностью применения психологических, педагогических приёмов, работы с семьёй, методик двигательной реабилитации для восстановления толерантности к нагрузкам.

**Ключевые слова:** дети; реабилитация; инфекционные заболевания; заболевания дыхательных путей; Международная классификация функционирования и ограничений жизнедеятельности; МКФ; биопсихосоциальная модель; персонализированный подход.

## Как цитировать

Мельникова Е.В., Иванова Г.Е., Усков А.Н., Скрипченко Н.В., Хасанова Н.М., Кудрявцев А.В., Шергольд Е.Ю., Лепихина Т.Г. Реабилитационная оценка при инфекционных заболеваниях нижних дыхательных путей у детей с использованием категорий Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2022. Т. 4, № 4. С. 223–233. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab112413>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab112413>

# Assessment of rehabilitation in children with infectious diseases of the lower respiratory tract using the categories of the International Classification of Functioning, Disability and Health

Elena V. Melnikova<sup>1, 2</sup>, Galina E. Ivanova<sup>3, 4, 5</sup>, Alekzander N. Uskov<sup>1</sup>, Natalia V. Skripchenko<sup>1, 6</sup>, Nina M. Khasanova<sup>1, 7</sup>, Alexander V. Kudryavtsev<sup>7</sup>, Ekaterina Yu. Shergold<sup>8</sup>, Tatyana G. Lepikhina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pediatric Research and Clinical Center for Infectious Diseases, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Saint-Petersburg Medico-Social Institute, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>3</sup> The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup> Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies, Moscow, Russian Federation

<sup>5</sup> Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russian Federation

<sup>6</sup> Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>7</sup> Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russian Federation

<sup>8</sup> Arkhangelsk City Clinical Polyclinic No. 2, Arkhangelsk, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Solving the issues of rehabilitation of children after lower respiratory tract infections requires putting up rehabilitation diagnoses in the categories of the International Classification of Functioning, Disabilities and Health (ICF).

**AIMS:** The study aimed to define the key problems in the ICF categories and make quantitative and qualitative assessments of the changes in the ICF domains in convalescent children with infectious diseases of the lower respiratory tract at the outpatient stage and in one month after the disease.

**MATERIALS AND METHODS:** The assessment of rehabilitation was performed using the ICF categories for 201 convalescent children with lower respiratory tract infections.

**RESULTS:** Most of the patients had significant impairments in the following functions: b134 Sleep functions; b152 Emotional functions; b280 Feeling of pain; b440 Respiratory functions; b450 Additional respiratory functions; b455 Exercise tolerance function; b460 Sensations associated with cardiovascular and respiratory functions; b730 Muscle strength functions; b740 Muscular endurance functions; b780 Sensations associated with muscles and motor functions, both at the time of discharge from the hospital and a month after the discharge. Environmental factors (e115 Products and technologies for personal use in daily life; e225 Climate; e260 Air quality; e310 Close relatives; e355 Medical workers; e410 Relationships with immediate family members; e450 Relationships with medical workers; e580 Medical services; e585 Services in education and training) were shown to have an influence on rehabilitation process.

**CONCLUSION:** The identified range of functioning disorders and the influence of environmental factors indicates the need for medical rehabilitation for convalescent children with lower respiratory tract infections. The rehabilitation should be multidisciplinary and involve psychological and pedagogical techniques, work with the family, and motor rehabilitation techniques to restore workload tolerance.

**Keywords:** children; rehabilitation; infectious diseases; respiratory diseases; the International Classification of Functioning, Disability and Health; ICF; biopsychosocial diseases model; personalized approach.

## To cite this article

Melnikova EV, Ivanova GE, Uskov AN, Skripchenko NV, Khasanova NM, Kudryavtsev AV, Shergold EYu, Lepikhina TG. Assessment of rehabilitation in children with infectious diseases of the lower respiratory tract using the categories of the International Classification of Functioning, Disability and Health. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2022;4(4):223–233. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab112413>

Received: 06.11.2022

Accepted: 15.11.2022

Published: 15.12.2022

## Список сокращений

МКФ — Международная классификация функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья

## ОБОСНОВАНИЕ

Согласно вступившим в силу с 1 января 2021 года новым порядкам организации медицинской реабилитации<sup>1</sup>, обязательным в реабилитационной работе является применение Международной классификации функционирования и ограничений жизнедеятельности (МКФ) [1].

МКФ является отражением биопсихосоциальной модели болезни и системообразующим инструментом в реабилитации: на основе реабилитационного диагноза в категориях МКФ происходят установление цели реабилитации, определение отдельных задач, построение реабилитационного плана с учётом реабилитационного потенциала и контроль результатов реабилитации [2].

Значение инфекционных болезней ребёнка для его здоровья и дальнейшего развития трудно переоценить, учитывая современные тенденции заболеваемости детей инфекционными болезнями и, разумеется, текущую ситуацию с новой коронавирусной инфекцией, которая демонстрирует, что одной из основных угроз для жизни и здоровья человечества являются инфекционные агенты.

Инфекционные заболевания детей распространены чрезвычайно широко, их доля в структуре всей заболеваемости детей составляет более 90% [1], причём максимум приходится на острые респираторные инфекции, которые дети переносят в 2,5–2,9 раза чаще, чем взрослые [3, 4]. При этом вопрос реабилитации детей с респираторными заболеваниями разработан недостаточно. Так, даже реабилитационное пособие ребёнку с респираторным заболеванием не является показанием для последующего применения реабилитационных мероприятий. Ретроспективный когортный анализ реабилитации в период с 2013 по 2019 год с использованием базы данных Национального медицинского страхования Кореи включил пациентов в возрасте от 28 дней до 18 лет, которые находились в 245 отделениях интенсивной терапии более 2 дней, и продемонстрировал следующие результаты: из 13 276 пациентов только 2447 (18%) получали реабилитацию во время госпитализации, реже всего — пациенты младше 3 лет (11%). В рамках анализа были определены факторы, ставшие показанием для назначения детям реабилитации: острая неврологическая патология, пребывание в отделении

реанимации и интенсивной терапии более недели: в течение 1–2 нед — отношение шансов (odds ratio, OR) 3,50 [95% доверительный интервал (confidence interval, CI) 3,04–4,03]; 2–3 нед — OR 6,60 [95% CI 5,45–8,00]; >3 нед — OR 13,69 [95% CI 11,46–16,35]; механическая вентиляция лёгких >2 дней — OR 0,78 [95% CI 0,67–0,91], гемодиализ — OR 0,50; [95% CI 0,41–0,52]. Основная находка приведённого анализа в том, что реабилитацию дети с респираторными заболеваниями получали только при появлении приведённых факторов [5].

В литературных источниках последних лет практически отсутствуют систематические обзоры и оригинальные исследования о достоверных различиях и показаниях к выбору применяемых программ реабилитации при инфекционных заболеваниях, в том числе у детей. Большинство опубликованных работ лишь освещают методики медицинской реабилитации для детей с различной инфекционной патологией [6]. Это, безусловно, ставит задачу проведения соответствующих научных исследований с качественной статистической обработкой полученных данных. Решение вопросов реабилитации детей после перенесённых инфекционных заболеваний нижних дыхательных путей невозможно без постановки реабилитационного диагноза в категориях МКФ.

**Цель исследования** — провести анализ ключевых проблем в категориях МКФ и выполнить количественную и качественную оценку изменений в доменах МКФ у детей-реконвалесцентов с инфекционными заболеваниями нижних дыхательных путей на амбулаторном этапе и через 1 мес после перенесённого заболевания.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Условия проведения

Проведено обследование детей-реконвалесцентов ( $n=201$ ), находившихся на лечении в дневном стационаре ГБУЗ Архангельской области «Городская клиническая поликлиника № 2» (Архангельск) в январе 2021 – апреле 2022 года с диагнозом острого бронхита или внебольничной пневмонии.

### Методика исследования

Учитывали возраст ребёнка, локализацию пневмонии (по данным рентгенографического исследования органов грудной клетки); сатурацию крови при поступлении и выписке, анамнестические данные о сроках поступления в стационар от дебюта заболевания (дни).

<sup>1</sup> Приказ Министерства здравоохранения РФ от 31.07.2020 N 788н «Об утверждении Порядка организации медицинской реабилитации взрослых» (<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74581688/>); Приказ Министерства здравоохранения РФ от 23.10.2019 N 878н «Об утверждении Порядка организации медицинской реабилитации детей» (<https://base.garant.ru/73325898/>).

Оценивали тип клиноортостатической пробы при выписке и через 1 мес после выписки: 1 — нормотонический; 2 — гиперсимпатикотонический; 3 — гипердиастилический; 4 — асимпатикотонический; 5 — симпатикоастенический; 6 — астеносимпатический.

Всем обследованным детям проведена оценка структур, функций, активности и участия, факторов окружающей среды во всех категориях МКФ (табл. 1; при анализе использованы только имеющие отклонения). Оценка пациентов проводилась при выписке и через 1 мес после перенесённого заболевания.

Оценка активности и участия проведена согласно опроснику CASP для детей и подростков (Child and Adolescent Scale of Participation) при выписке и через 1 мес после выписки ребёнка.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней Федерального медико-биологического агентства» (Санкт-Петербург) с целью разработки медицинской технологии «Оценка вегетативной нервной системы у детей, перенёвших инфекционные заболевания нижних дыхательных путей».

## Статистический анализ

Категориальные переменные представлены как абсолютные числа (Abs) и процентные доли (%), порядковые — как медианы (p50) с первым и третьим квартилями

(p25–p75). Сравнения независимых групп по категориальным признакам проводились с использованием теста хи-квадрат Пирсона ( $\chi^2$ ) и рангового теста Краскела–Уоллиса, зависимых групп — с использованием знакового рангового теста Вилкоксона. Для анализа использовали программу STATA 12.0 (StataCorp, США, Колледж-Стейшн, штат Техас).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Объекты (участники) исследования

Всего обследован 201 ребёнок, из них 88 (44%) детей в возрасте 5–7 лет и 113 (56%) в возрасте 8–18 лет. С пневмонией госпитализированы 62 (31%) ребёнка, из них с правосторонней 36 (58%), левосторонней — 18 (29%), двусторонней — 8 (13%). С диагнозом острого бронхита госпитализированы 139 (69%) детей (рис. 1).

У пациентов в возрасте 5–7 лет чаще выявлялись острый бронхит (42; 48%) и правосторонняя пневмония (32; 36%), тогда как у детей в возрасте 15–18 лет — острый бронхит (74; 93%). Уровень сатурации у всех обследуемых при поступлении и выписке составлял 95–100%. Дети поступали преимущественно на 7-й день болезни — 84% (табл. 2).

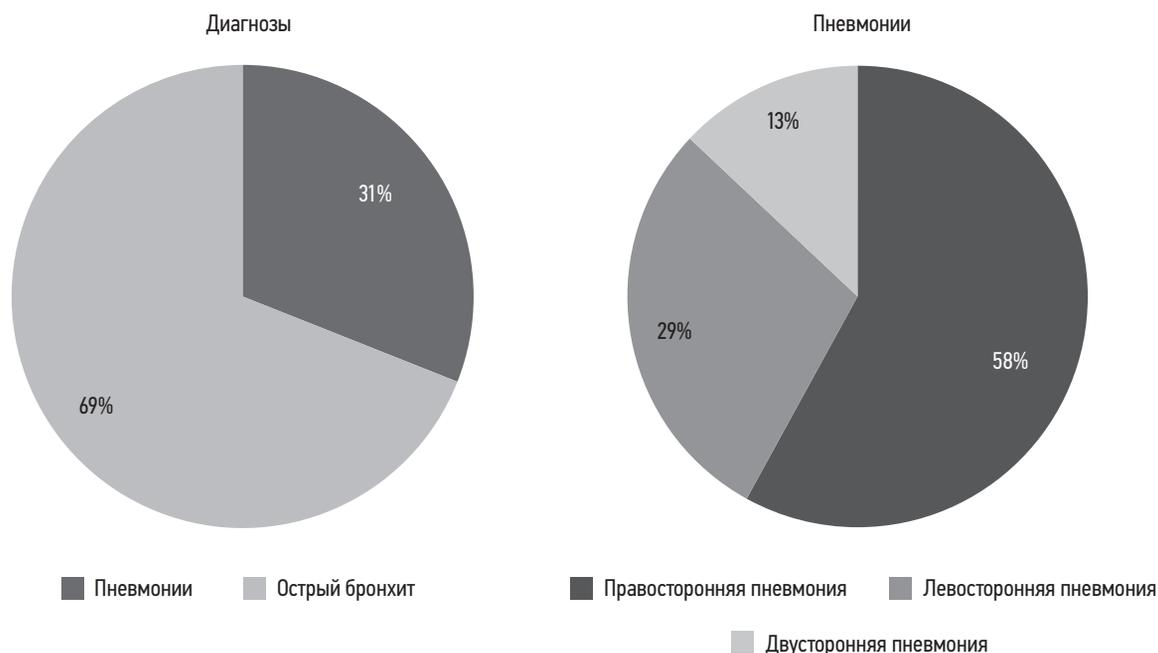
### Основные результаты исследования

При проведении клиноортостатической пробы при выписке (табл. 3) нормотонический тип реакции отмечался

**Таблица 1.** Домены МКФ, имеющие отклонения у детей-реконвалесцентов, перенёвших инфекционные заболевания нижних дыхательных путей

**Table 1.** ICF domains with abnormalities in convalescent children who have had infectious diseases of the lower respiratory tract

Функции	Определитель
b134 Функции сна	0 — нет проблем (отсутствуют, ничтожные) — 0–4%
b152 Эмоциональные функции	1 — лёгкие проблемы (незначительные, слабые) — 5–24%
b280 Ощущение боли	2 — умеренные проблемы (средние, значимые) — 25–49%
b440 Дыхательные функции	3 — тяжёлые проблемы (высокие, интенсивные) — 50–95%
b450 Дополнительные дыхательные функции (кашель, чихание, зевание)	4 — абсолютные проблемы (полные) — 96–100%
b455 Функция толерантности к физической нагрузке	
b460 Ощущения, связанные с сердечно-сосудистой и дыхательной функцией	
b730 Функция мышечной силы	
b740 Функции мышечной выносливости	
b780 Ощущения, связанные с мышцами и двигательными функциями	
Факторы среды	Определитель
e115 Продукты и технологии для личного использования в повседневной жизни	4 — абсолютный барьер
e225 Климат	3 — выраженный барьер
e260 Качество воздуха	2 — умеренный барьер
e310 Близкие родственники	1 — незначительный барьер
e355 Медицинские работники	0 — нет облегчающих факторов
e410 Взаимоотношения с ближайшими членами семьи	+1 — незначительные облегчающие факторы
e450 Взаимоотношения с медицинскими работниками	+2 — умеренные облегчающие факторы
e580 Медицинские услуги	+3 — выраженные облегчающие факторы
e585 Услуги в области образования и профессиональной подготовки	+4 — абсолютный облегчающий фактор



**Рис. 1.** Нозологическая характеристика обследованных детей.

**Fig. 1.** Nosological characteristics of the examined children.

**Таблица 2.** Длительность заболевания (дни) до госпитализации

**Table 2.** Duration of the disease (days) before hospitalization

Возрастные группы, лет	p50	p25	p75
5–7	7	5	8
8–10	8	5	12
11–14	7,5	5,5	8,5
15–18	5	4	8
Всего	6	4	8

**Примечание.** \* Ранговый критерий Краскела–Уоллиса  $\chi^2$  (сравнение трёх медиан) 9,442,  $p=0,024$ .

**Note:** \* Kruskal–Wallis rank test  $\chi^2$  (comparison of three medians) 9.442,  $p=0.024$ .

**Таблица 3.** Результаты клиноортостатической пробы детей–реконвалесцентов с заболеваниями нижних дыхательных путей при выписке

**Table 3.** Results of a clinorthostatic testing of convalescent children with lower respiratory tract diseases at discharge

Возрастные группы, лет	Тип клиноортостатической пробы, абс. (%)						Всего
	1	2	3	4	5	6	
5–7	-	35 (39,8)	-	12 (13,6)	19 (21,6)	22 (25,0)	88
8–10	-	10 (58,8)	-	1 (5,9)	6 (35,3)	-	17
11–14	-	3 (18,8)	-	4 (25,0)	5 (31,3)	4 (25,0)	16
15–18	1 (1,3)	41 (51,3)	-	2 (2,5)	21 (26,3)	15 (18,8)	80
Всего	1 (0,5)	89 (44,3)	-	19 (9,5)	51 (25,4)	41 (20,4)	201

**Примечание.** Типы клиноортостатической пробы: 1 — нормотонический; 2 — гиперсимпатикотонический; 3 — гипердиастилический; 4 — асимпатикотонический; 5 — симпатикоастенический; 6 — астеносимпатический.

**Note:** Types of clinorthostatic test: 1 — normotonic; 2 — hypersympathicotonic; 3 — hyperdiastolic; 4 — asymptoticotonic; 5 — sympathicoasthenic; 6 — asthenosympathetic.

**Таблица 4.** Результаты клиноортостатической пробы детей-реконвалесцентов с заболеваниями нижних дыхательных путей через месяц после выписки**Table 4.** Results of a clinorthostatic testing of convalescent children with lower respiratory tract diseases one month after discharge

Возрастные группы, лет	Тип клиноортостатической пробы, абс. (%)						Всего
	1	2	3	4	5	6	
5–7	24 (27,3)	58 (65,9)	-	1 (1,1)	3 (3,4)	2 (2,3)	88
8–10	7 (41,2)	7 (41,2)	-	1 (5,9)	2 (11,8)	-	17
11–14	2 (12,5)	14 (87,5)	-	-	-	-	16
15–18	22 (27,5)	54 (67,5)	-	-	2 (2,5)	2 (2,5)	80
Всего	55 (27,4)	133 (66,2)	-	2 (1,0)	7 (3,5)	4 (2,0)	201

**Примечание.** Типы клиноортостатической пробы: 1 — нормотонический; 2 — гиперсимпатикотонический; 3 — гипердиастилический; 4 — асимпатикотонический; 5 — симпатикоастенический; 6 — астеносимпатический.

**Note:** Types of clinorthostatic test: 1 — normotonic; 2 — hypersympathicotonic; 3 — hyperdiastolic; 4 — asymptoticotonic; 5 — sympathicoasthenic; 6 — asthenosympathetic.

только у 1 (0,5%) ребёнка; преимущественными типами реагирования оказались гиперсимпатикотонический (у 89; 44%), симпатикоастенический (у 51; 25%), астеносимпатический (у 41; 20%).

Через 1 месяц после выписки детей (табл. 4) увеличилось количество реконвалесцентов с нормотоническим типом реакции до 55 (27%). Одновременно у большего количества детей (133; 66%) стала отмечаться гиперсимпатикотоническая реакция на физическую нагрузку.

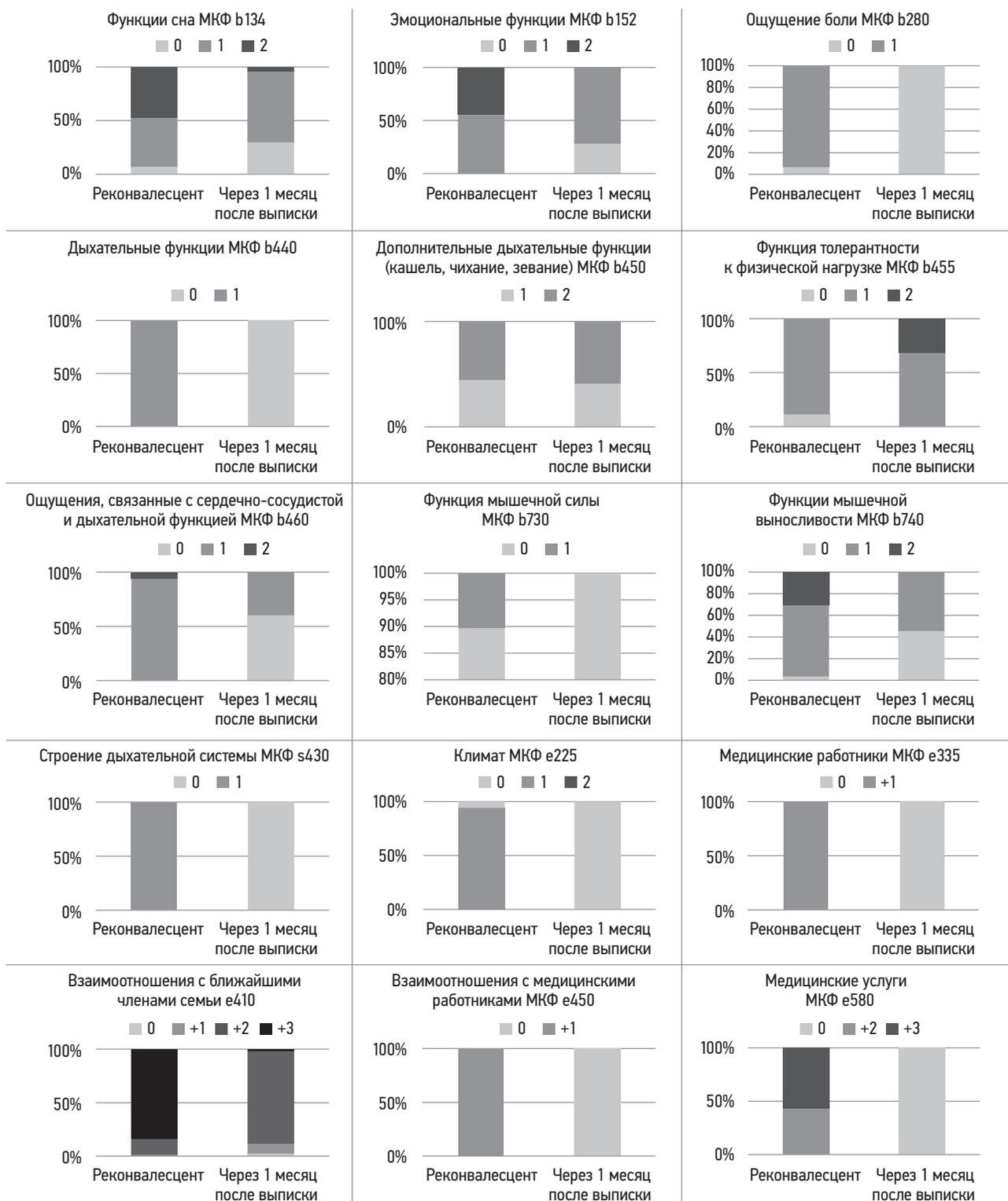
У детей дошкольного возраста в категории МКФ b134 Функции сна (например, ночные пробуждения, удлинение времени сна, удлинение периода засыпания) при выписке лёгкие нарушения сна выявлены в 45% случаев, умеренные — в 48%, и только 7% детей не имели нарушений сна при выписке. Через 1 мес после выписки их число увеличилось до 30%, но умеренные нарушения сна всё ещё сохранялись к этому сроку у 5% переболевших детей ( $p < 0,001$ ). У детей школьного возраста распределение лёгких и умеренных нарушений сна при выписке составляло 51 и 44% соответственно, при этом восстановление функции сна через 1 мес наблюдалось у 30% детей, но лёгкие нарушения сна всё ещё регистрировались у 67% реконвалесцентов ( $p < 0,001$ ); рис. 2, 3.

Оценка домена b152 Эмоциональные функции (например, капризность, раздражительность, плаксивость, тревожность) у детей дошкольного возраста при выписке продемонстрировала наличие лёгких и умеренных нарушений у 98% пациентов, через 1 мес после заболевания отсутствие эмоциональных нарушений фиксировали 29% матерей, а лёгкие нарушения сохранялись у 71% детей ( $p < 0,001$ ). У детей школьного возраста при выписке из дневного стационара с лёгкими и умеренными нарушениями эмоциональных функций столкнулись практически все переболевшие, при этом лёгкие нарушения эмоциональных функций в 68% случаев ( $p < 0,001$ ) фиксировались детьми и через 1 мес после выздоровления (см. рис. 2, 3).

Оценка домена b280 Ощущение боли (например, жалобы на боли в теле, нехарактерные для здорового ребёнка; усиление восприятия болевых стимулов) у 93% детей дошкольного возраста фиксировала лёгкие нарушения с восстановлением чувствительной функции у всех детей через 1 мес после заболевания ( $p < 0,001$ ), что отмечалось и в группе старших детей, также имевших лёгкие нарушения в домене ощущения боли при выписке (96%), которые полностью регрессировали через 1 мес после выздоровления ( $p < 0,001$ ); см. рис. 2, 3.

Лёгкие нарушения в домене b450 Дополнительные дыхательные функции (кашель, чихание, зевание) у детей 5–7 лет сохранялись в срок до 1 мес после заболевания в 59% случаев, при этом умеренные нарушения выявлены у 56% детей-реконвалесцентов при выписке ( $p < 0,001$ ). Дети школьного возраста при выписке имели 73% умеренных нарушений по домену, через 1 мес 67% детей отмечали лёгкие нарушения, и 33% детей не имели соответствующих жалоб ( $p < 0,001$ ); см. рис. 2, 3.

Домен b455 Функция толерантности к физической нагрузке (оценивался с учётом переносимости повседневных нагрузок, оценки клиноортостатической пробы, модифицированного Гарвардского степ-теста) у детей дошкольного возраста при выписке и через 1 мес после выписки оценивался как сниженный, причём субъективная оценка умеренных нарушений при выписке была зафиксирована в 31% случаев. Через 1 мес после выписки из дневного стационара толерантность к физическим нагрузкам увеличилась в целом у всех детей от общего числа переболевших, но осталась сниженной в 89% наблюдений ( $p < 0,001$ ). Дети школьного возраста также недостаточно наращивали физическую толерантность через 1 мес после выписки из стационара, доля детей с лёгкими нарушениями физической толерантности составляла 85% ( $p < 0,001$ ); см. рис. 2, 3.

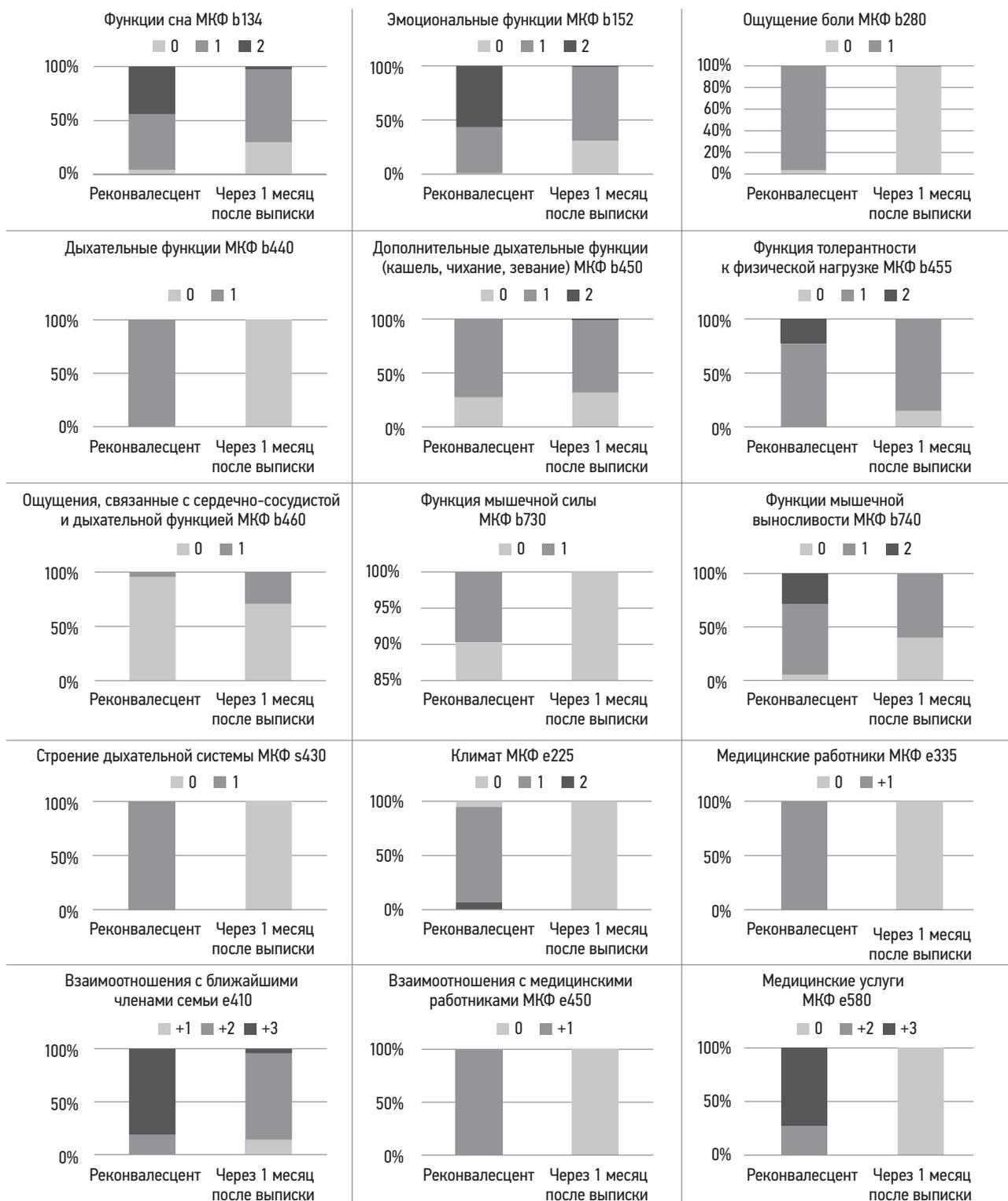


**Рис. 2.** Динамика изменения значений доменов МКФ в возрастной группе 5–7 лет.

**Примечание.** Категории b: 0 — нет проблем (никаких, отсутствуют, ничтожные) — 0–4%; 1 — лёгкие проблемы (незначительные, слабые) — 5–24%; 2 — умеренные проблемы (средние, значимые) — 25–49%; 3 — тяжёлые проблемы (высокие, интенсивные) — 50–95%; 4 — абсолютные проблемы (полные) — 96–100%. Категории e: 4 — абсолютный барьер; 3 — выраженный барьер; 2 — умеренный барьер; 1 — незначительный барьер; 0 — нет облегчающих факторов; +1 — незначительные облегчающие факторы; +2 — умеренные облегчающие факторы; +3 — выраженные облегчающие факторы; +4 — абсолютный облегчающий фактор.

**Fig. 2.** Dynamics of changes in the values of ICF domains in the age group of 5–7 years.

**Note:** Categories b: 0 — no problems (none, none, insignificant) — 0–4%; 1 — mild problems (minor, weak) — 5–24%; 2 — moderate problems (medium, significant) — 25–49%; 3 — severe problems (high, intense) — 50–95%; 4 — absolute problems (complete) — 96–100%. Categories e: 4 — absolute barrier; 3 — pronounced barrier; 2 — moderate barrier; 1 — insignificant barrier; 0 — no facilitating factors; +1 — minor facilitating factors; +2 — moderate facilitating factors; +3 — pronounced facilitating factors; +4 — absolute facilitating factor.



**Рис. 3.** Динамика изменения значений доменов МКФ в возрастной группе 8–18 лет.

**Примечание.** Категории b: 0 — нет проблем (никаких, отсутствуют, ничтожные) — 0–4%; 1 — лёгкие проблемы (незначительные, слабые) — 5–24%; 2 — умеренные проблемы (средние, значимые) — 25–49%; 3 — тяжёлые проблемы (высокие, интенсивные) — 50–95%; 4 — абсолютные проблемы (полные) — 96–100%. Категории e: 4 — абсолютный барьер; 3 — выраженный барьер; 2 — умеренный барьер; 1 — незначительный барьер; 0 — нет облегчающих факторов; +1 — незначительные облегчающие факторы; +2 — умеренные облегчающие факторы; +3 — выраженные облегчающие факторы; +4 — абсолютный облегчающий фактор.

**Fig. 3.** Dynamics of changes in the values of ICF domains in the age group of 8–18 years.

**Note:** Categories b: 0 — no problems (none, none, insignificant) — 0–4%; 1 — mild problems (minor, weak) — 5–24%; 2 — moderate problems (medium, significant) — 25–49%; 3 — severe problems (high, intense) — 50–95%; 4 — absolute problems (complete) — 96–100%. Categories e: 4 — absolute barrier; 3 — pronounced barrier; 2 — moderate barrier; 1 — insignificant barrier; 0 — no facilitating factors; +1 — minor facilitating factors; +2 — moderate facilitating factors; +3 — pronounced facilitating factors; +4 — absolute facilitating factor.

Лёгкие нарушения домена b730 Функция мышечной силы (определение мышечной силы по 6-балльной шкале) в равной доле, составляющей 11 и 10% соответственно, зафиксированы у детей младшей ( $p=0,004$ ) и старшей ( $p=0,001$ ) возрастной группы при выписке из дневного стационара, данные нарушения регрессировали в течение 1 мес после выписки из отделения (см. рис. 2, 3).

Домен b740 Функции мышечной выносливости (показатель оценивался по выполнению модифицированного Гарвардского степ-теста) также имел характеристики лёгкого снижения у детей всех возрастных групп даже через 1 мес после выздоровления, частота нарушений составляла 55% у детей 5–7 лет и 60% у детей старшего возраста ( $p < 0,001$ ); см. рис. 2, 3.

Оценка домена b780 Ощущения, связанные с мышечными функциями (например, субъективное ощущение мышечной слабости, болей в мышцах, уменьшения двигательной активности), продемонстрировала наличие лёгких нарушений при выписке из дневного стационара и регресс нарушений через 1 мес после выздоровления у всех детей выборки (см. рис. 2, 3).

Важным является тот факт, что в категориях МКФ фактор окружающей среды e225 Климат (наличие низких температур окружающей среды, холодного ветра, сырого, холодного воздуха) явился умеренным барьерным фактором при выписке и через 1 мес после выписки у 7% детей в возрасте 8–18 лет, тогда как только у 1% детей дошкольного возраста родители отмечали данный фактор в качестве барьерного ( $p < 0,001$ ). Фактор e310 Близкие родственники (помощь и влияние мамы, папы, бабушки на выздоровление ребёнка) при выписке и через 1 мес после выписки оценён как умеренный облегчающий у 116 (58%) и выраженный облегчающий фактор у 62 (31%) обследованных детей ( $p < 0,001$ ); см. рис. 2, 3.

Категория МКФ e355 Медицинские работники (например, проведение медицинских диагностических и лечебных манипуляций при лечении ребёнка) при выписке оценивалась как умеренный облегчающий фактор у всех пациентов; через 1 мес после выписки роль медицинских работников в облегчении симптомов заболевания не зафиксирована, что свидетельствует об отсутствии реабилитационного «маршрута» и вмешательства у данной категории пациентов ( $p < 0,001$ ). Такие же значения получены для домена e450 Взаимоотношения с медицинскими работниками (например, участие, доброжелательность или, напротив, строгость и категоричность в общении) ( $p < 0,001$ ); см. рис. 2, 3.

Домен e410 Взаимоотношения с ближайшими членами семьи (например, любовь, ласка, участие, поддержка) имели значение выраженного облегчающего фактора при выписке из дневного стационара у 85% детей от 5 до 7 лет и у 81% детей от 8 до 18 лет, через 1 мес после выписки домен расценён как умеренный облегчающий фактор у большинства детей как дошкольного (86%), так и школьного (81%) возраста ( $p < 0,001$ ); см. рис. 2, 3.

Домен e580 Медицинские услуги (например, осмотр врача, выполнение анализа крови, рентгенографии органов грудной клетки, проведение внутримышечных инъекций, выдача лекарственных препаратов) у детей-реконвалесцентов в возрасте от 5 до 7 лет оценён как выраженный облегчающий фактор у 57% переболевших, у детей старшего возраста — в 73% случаев. Через 1 мес после выписки облегчающих факторов в связи с получением медицинских услуг не зафиксировано ни в младшей, ни в старшей возрастной группе детей ( $p < 0,001$ ); см. рис. 2, 3.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, дети, перенёвшие инфекционные заболевания нижних дыхательных путей, имеют нарушения в показателях здоровья и жизнедеятельности не только на момент клинического выздоровления и выписки из стационара, но и сохраняющиеся проблемы в течение месяца после перенесённой болезни. Объективно нарушения выявляются не только с помощью функциональных методов исследования, но и при помощи анализа состояния детей в категориях МКФ, что демонстрирует её пользу для определения показаний к реабилитации детей, перенёвших инфекционные заболевания нижних дыхательных путей, в том числе для детей с неосложнённой пневмонией.

Период реконвалесценции после пневмоний может продолжаться до нескольких месяцев, в течение которых возможно формирование реинфекции и суперинфекции, приводящих к осложнениям (плеврит, острая сердечная недостаточность и др.) [7], что требует как можно более раннего начала реабилитационного процесса с целью формирования иммунитета и восстановления функциональных систем организма.

В настоящее время отсутствуют литературные источники о выполненных исследованиях по необходимости реабилитации на основании МКФ. В клинических рекомендациях от 18.01.2022 (утверждены Минздравом России на 2022–2024 гг.) нет указаний на потребность в реабилитации у детей с неосложнённой пневмонией, акцентируется необходимость реабилитационных мероприятий только при нарушении лёгочных структур (плеврит, отложения фибрина) [8]. Тем не менее известно, что в детском возрасте инфекционные заболевания, в том числе респираторного тракта, могут приводить к нарушению нейровегетативной регуляции, проявляющейся функциональными соматовегетативными (в том числе кардиальными) и психоэмоциональными расстройствами [9, 10], вследствие чего необходимо своевременно диагностировать или предотвращать подобные нарушения.

Ребёнок с ограничениями функционирования — это пациент, нуждающийся в повторных курсах реабилитации или абилитации, где каждый последующий курс должен быть продолжением предыдущего. И именно МКФ позволяет придерживаться единой стратегии абилитации/

реабилитации. Все новые информационные пособия и разработки должны соответствовать концепции реабилитации, представленной в МКФ [1]. Семья и ближайшие родственники как фактор окружающей среды (код МКФ e310 Семья и ближайшие родственники) оказывает значимое влияние на состояние ребёнка. В детской реабилитации важно установить контакт с ребёнком и родителем, следует придерживаться продуктивной коммуникации с пациентом и его семьёй.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дети-реконвалесценты инфекционных заболеваний нижних дыхательных путей как на момент выписки из стационара, так и через месяц после выписки имеют нарушения функций, свидетельствующие о необходимости проведения мероприятий медицинской реабилитации. Спектр выявленных нарушений функций и барьерных факторов среды у детей-реконвалесцентов инфекционных заболеваний нижних дыхательных путей доказывает необходимость мультидисциплинарного подхода при проведении медицинской реабилитации с применением, наряду с лечебными технологиями, психологических методов, методов повышения толерантности к нагрузкам, педагогических методов и работы с семьёй.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

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

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

**Вклад авторов.** Е.В. Мельникова, Г.Е. Иванова, А.Н. Усков, Н.В. Скрипченко — разработка концепции, написание, обсуждение и редактирование текста статьи; Н.М. Хасанова, Е.Ю. Шергольд, Т.Г. Лепихина — поисково-аналитическая работа, написание, обсуждение и редактирование статьи; А.В. Кудрявцев — статистический анализ данных, обсуждение и редактирование статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

## ADDITIONAL INFORMATION

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

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

**Author contribution.** E.V. Melnikova, G.E. Ivanova, A.N. Uskov, N.V. Skripchenko — development of the concept, writing, discussion and editing the text of the article; N.M. Khasanova, E.Yu. Shergold, T.G. Lepikhina — search and analytical work, writing, discussion and manuscript editing; A.V. Kudryavtsev — statistical data analysis, discussion and manuscript editing. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международная классификация функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья: 54-я сессия ассамблеи Всемирной организации здравоохранения 22 мая 2001 года. Библиотечная служба ВОЗ. Санкт-Петербургский институт усовершенствования врачей-экспертов Министерства труда и социального развития Российской Федерации, 2003. 228 с.
2. Мельникова Е.В., Буйлова Т.В., Бодрова Р.А., и др. Использование Международной классификации функционирования (МКФ) в амбулаторной и стационарной медицинской реабилитации: инструкция для специалистов // Вестник восстановительной медицины. 2017. № 6. С. 7–20.
3. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году. Государственный доклад. Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019. 254 с.
4. Лобзин Ю.В., Коновалова Л.Н., Скрипченко Н.В. Состояние инфекционной заболеваемости у детей в Российской Федерации // Медицина экстремальных ситуаций. 2017. Т. 60, № 2. С. 8–22.
5. Cho J., Park H., Kang D., et al. Rehabilitation in critically ill children: findings from the Korean National Health Insurance

database // PLoS One. 2022. Vol. 17, N 3. P. e0266360. doi: 10.1371/journal.pone.0266360

6. Мельникова Е.В., Хасанова Н.М., Чупрова С.Н., и др. Медицинская реабилитация и инфекционные болезни у детей // Медицина экстремальных ситуаций. 2021. Т. 23, № 4. С. 55–64. doi: 10.47183/mes.2021.043

7. Галкин В.А. Внутренние болезни. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Медицина, 1987. 400 с.

8. Пневмония (внебольничная). Клинические рекомендации. Союз педиатров России; Межрегиональная ассоциация по клинической микробиологии и антимикробной химиотерапии, 2022. 82 с. Режим доступа: [https://www.antibiotic.ru/files/334/kr-mz-vp-deti2022\\_714.pdf](https://www.antibiotic.ru/files/334/kr-mz-vp-deti2022_714.pdf). Дата обращения: 02.09.2022.

9. Левченко Н.В., Богомолова И.К., Чаванина С.А. Результаты катamnестического наблюдения за детьми после гриппа А/Н1N1/09 // Забайкальский медицинский вестник. 2014. № 2. С. 12–16.

10. Немкова С.А. Современные подходы к лечению постинфекционной астении у детей и подростков // Педиатрия. Журнал имени Г.Н. Сперанского. 2016. Т. 95, № 6. С. 199–204.

## REFERENCES

1. International Classification of Functioning, Disability and health: 54th session of the Assembly of the World Health Organization on May 22, 2001. WHO Library Service. Saint Petersburg Institute of Advanced Training of Medical Experts of the Ministry of Labor and Social Development of the Russian Federation; 2003. 228 p. (In Russ).
2. Melnikova EV, Buylova TV, Bodrova RA, et al. The use of the international classification of functioning (ICF) in outpatient and inpatient medical rehabilitation: instructions for specialists. *Vestnik vosstanovitel'noj mediciny*. 2017;(6):7–20. (In Russ).
3. On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2018. State report. Moscow: Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-Being; 2019. 254 p. (In Russ).
4. Lobzin YuV, Konovalova LN, Skripchenko NV. The state of infectious morbidity in children in the Russian Federation. *Extreme medicine*. 2017;60(2):8–22. (In Russ).
5. Cho J, Park H, Kang D, et al. Rehabilitation in critically ill children: findings from the Korean National Health Insurance database. *PLoS One*. 2022;17(3):e0266360. doi: 10.1371/journal.pone.0266360
6. Melnikova EV, Khasanova NM, Chuprova SN, et al. Medical rehabilitation and infectious diseases in children. *Extreme medicine*. 2021;23(4):55–64. (In Russ). doi: 10.47183/mes.2021.043
7. Galkin VA. Internal diseases. 3rd ed., revised and updated. Moscow: Medicine; 1987. 400 p. (In Russ).
8. Clinical recommendations. Pneumonia (community-acquired). The Union of Pediatricians of Russia; Interregional Association for Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy; 2022. 82 p. (In Russ). Available from: [https://www.antibiotic.ru/files/334/kr-mz-vp-deti2022\\_714.pdf](https://www.antibiotic.ru/files/334/kr-mz-vp-deti2022_714.pdf). Accessed: 02.09.2022.
9. Levchenko NV, Bogomolova IK, Chavanina SA. Results of catamnesic observation of children after influenza A/H1N1/09. *Zabaikal'skii meditsinskii vestnik*. 2014;(2):23–27. (In Russ).
10. Nemkova SA. Modern approaches to the treatment of postinfectious asthenia in children and adolescents. *Pediatria named after G.N. Speransky*. 2016;95(6):199–204. (In Russ).

## ОБ АВТОРАХ

\* **Мельникова Елена Валентиновна**, д.м.н.;  
адрес: Россия, 197022, Санкт-Петербург,  
ул. Профессора Попова, д. 9;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2076-4062>;  
eLibrary SPIN: 8347-8594; e-mail: melnikovae2002@mail.ru

**Иванова Галина Евгеньевна**, д.м.н., профессор;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3180-5525>;  
eLibrary SPIN: 4049-4581; e-mail: reabilivanova@mail.ru

**Усков Александр Николаевич**, д.м.н., профессор;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3185-516X>;  
eLibrary SPIN: 2297-6884; e-mail: aouskov@gmail.com

**Скрипченко Наталья Викторовна**, д.м.н.;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8927-3176>;  
eLibrary SPIN: 7980-4060; e-mail: snv@niidi.ru

**Хасанова Нина Минувалиевна**, к.м.н.;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0729-3726>;  
eLibrary SPIN: 6834-6281; e-mail: khasanovanina@rambler.ru

**Кудрявцев Александр Валерьевич**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8902-8947>;  
eLibrary SPIN: 9296-2930; e-mail: ispha09@gmail.com

**Шергольд Екатерина Юрьевна**;  
e-mail: katrinsher@mail.ru

**Лепихина Татьяна Геннадьевна**, м.н.с.;  
e-mail: side-tf@yandex.ru

## AUTHORS' INFO

\* **Elena V. Melnikova**, MD, Dr. Sci. (Med.);  
address: 9, Professor Popov street, 197022,  
Saint Petersburg, Russia;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2076-4062>;  
eLibrary SPIN: 8347-8594; e-mail: melnikovae2002@mail.ru

**Galina E. Ivanova**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3180-5525>;  
eLibrary SPIN: 4049-4581; e-mail: reabilivanova@mail.ru

**Alexander N. Uskov**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3185-516X>;  
eLibrary SPIN: 2297-6884; e-mail: aouskov@gmail.com

**Natalia V. Skripchenko**, MD, Dr. Sci. (Med.);  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8927-3176>;  
eLibrary SPIN: 7980-4060; e-mail: snv@niidi.ru

**Nina M. Khasanova**, MD, Cand. Sci. (Med.);  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0729-3726>;  
eLibrary SPIN: 6834-6281; e-mail: khasanovanina@rambler.ru

**Alexander V. Kudryavtsev**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8902-8947>;  
eLibrary SPIN: 9296-2930; e-mail: ispha09@gmail.com

**Ekaterina Yu. Shergold**;  
e-mail: katrinsher@mail.ru

**Tatyana G. Lepikhina**, Junior Research Associate;  
e-mail: side-tf@yandex.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab114841>

# Классификация последствий и осложнений позвоночно-спинномозговой травмы у детей

И.Н. Новосёлова<sup>1, 2</sup>, И.В. Понина<sup>1</sup>, С.А. Валиуллина<sup>1</sup><sup>1</sup> Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии, Москва, Российская Федерация<sup>2</sup> Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** На результат лечения и исход позвоночно-спинномозговой травмы у детей существенно влияет наличие последствий и осложнений, возникающих на всех этапах восстановления. Предложенная в 1994 году классификация не даёт чётких разграничений между понятиями «последствия» и «осложнения» и, на наш взгляд, давно устарела, поскольку вызывает больше вопросов, чем содержит ответов.

**Цель исследования** — предложить новую классификацию последствий и осложнений позвоночно-спинномозговой травмы, охватывающую все периоды течения травмы.

**Материалы и методы.** В исследовании принимали участие дети с тяжёлой позвоночно-спинномозговой травмой, поступившие в НИИ НДХиТ с 2014 года. Для диагностики актуального состояния использовали клинический осмотр с определением трофологического статуса, неврологическую оценку по шкале ASIA, исследование локомоторного паттерна, лабораторный и инструментальный мониторинг. Кроме того, проводилось психологическое обследование с целью выявления посттравматической дезадаптации и психопатологических состояний.

**Результаты.** Последствия позвоночно-спинномозговой травмы через 3 года после получения травмы выявлены у 96% пострадавших детей, осложнения позвоночно-спинномозговой травмы — у 56% детей с позвоночно-спинномозговой травмой, поступивших в НИИ НДХиТ в 2014–2020 гг. Разработана новая классификация последствий и осложнений позвоночно-спинномозговой травмы у детей.

**Заключение.** Раннее начало реабилитационных мероприятий и последующее длительное медико-психологическое сопровождение детей с позвоночно-спинномозговой травмой отдаляет возникновение последствий травмы спинного мозга, профилактирует осложнения и побуждает ребёнка и его родителей соблюдать рекомендации реабилитационной команды. Недооценка тяжести состояния ребёнка с позвоночно-спинномозговой травмой может привести не только к ограничению двигательных возможностей, но и затруднению интеграции его в общество, а соответственно, ухудшению качества жизни всей семьи.

Разработанная новая классификация является необходимой для улучшения исходов травмы, дальнейшего роста и развития ребёнка и интеграции его в социальную среду.

**Ключевые слова:** позвоночно-спинномозговая травма; последствия позвоночно-спинномозговой травмы; осложнения позвоночно-спинномозговой травмы; классификация последствий и осложнений; медицинская реабилитация.

## Как цитировать

Новосёлова И.Н., Понина И.В., Валиуллина С.А. Классификация последствий и осложнений позвоночно-спинномозговой травмы у детей // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2022. Т. 4, № 4. С. 234–243. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab114841>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab114841>

# The classification of consequences and complications of spinal cord injury in children

Irina N. Novoselova<sup>1, 2</sup>, Irina V. Ponina<sup>1</sup>, Svetlana A. Valiullina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Consequences and complications of spinal cord injury in children which appear at all recovery stages significantly affect outcomes. The Classification proposed in 1994 does not provide a clear distinction between terms "consequences" and "complications" and currently, in our opinion, is outdated and was outdated long ago, since it raises more questions than it contains answers.

**AIM:** to propose a new classification of spinal cord injury consequences and complications in children covering all periods of the injury course.

**MATERIAL AND METHODS:** Children with severe spinal and spinal cord injury who have been admitted to the Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma in Moscow since 2014 were taken into the study. To diagnose their current state, the following diagnostic tools were used: clinical examination, trophological status, neurological assessment by ASIA scale, locomotor pattern, laboratory and instrumental testings; in addition, psychological examination so as to identify child's post-traumatic disadaptation and psychopathological state.

**RESULTS:** Three years after the injury, spinal cord injury consequences were detected in 96% of injured children; spinal cord injury complications — in 56% of children who were treated at Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma in 2014–2020. The authors have developed a new classification of spinal cord injury consequences and complications in children.

**CONCLUSION:** The early start of rehabilitation measures and subsequent long-term medical and psychological support of children with spinal cord injury delays the onset of spinal cord injury consequences, prevents complications, as well as encourages the child and his/her parents to comply with the recommendations of the rehabilitation team. Underestimation of the severity of child's condition can lead not only to the deprivation of motor restoration, but also to the deterioration in the quality of family life and to the problem of integrating children with spinal cord injury into the society.

The newly developed classification is an important instrument to improve injury outcomes, child's growth and development as well his/her integration into the social environment.

**Keywords:** spinal cord injury; consequences of spinal cord injury; complications of spinal cord injury; classification of consequences and complications; medical rehabilitation.

## To cite this article

Novoselova IN, Ponina IV, Valiullina SA. The classification of consequences and complications of spinal cord injury in children. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2022;4(4):234–243. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab114841>

Received: 24.10.2022

Accepted: 21.11.2022

Published: 28.11.2022

## ОБОСНОВАНИЕ

Последствия и осложнения, неизбежно возникающие на протяжении всей жизни у детей с позвоночно-спинно-мозговой травмой (ПСМТ), существенно влияют на результат восстановления и исход заболевания. В течение последних десятилетий правила ведения пациентов с ПСМТ значительно изменились в связи с углублением знаний о патофизиологии, появлением новых методов диагностики и лечения [1, 2]. Однако до настоящего времени отсутствует классификация последствий и осложнений ПСМТ. *Последствия* (вторичные изменения) — это комплекс необратимых морфологических, функциональных, метаболических изменений, которые возникают у всех пациентов с травмой спинного мозга. Выраженность последствий ПСМТ зависит от уровня и характера поражения, метаболических особенностей пациента, степени восстановления, образа жизни и времени, прошедшего после травмы. *Осложнения* — это вторичные патологические состояния, присоединившиеся к основному заболеванию, вследствие недооценки последствий и неправильного ведения пациента [3]. Осложнения на самом раннем этапе восстановления, отягощая течение болезни, отодвигают момент активизации пациента, увеличивают сроки пребывания в стационаре, а порой приводят к летальному исходу [4].

В настоящее время существует лишь одна русскоязычная классификация характерных осложнений ПСМТ, принятая в 1994 г. [5], которая выделяет инфекционно-воспалительные, нейротрофические, сердечно-сосудистые изменения, а также нарушения функции тазовых органов и ортопедические последствия. В остром, раннем и промежуточном периодах гнойно-воспалительные осложнения встречаются у 5–40% взрослых больных [6], нейротрофические и сосудистые — у 35–63% [7]; осложнения со стороны тазовых органов, по данным разных авторов, встречаются в 77–100% случаев [8], ортопедические последствия травмы — в 60% [9].

Риск развития осложнений у детей с ПСМТ сравним со взрослыми пострадавшими [10]. Эпидемиологического исследования ПСМТ у детей в России не проводилось, литературные данные по вопросу последствий и осложнений ПСМТ у детей относительно немногочисленны и представлены чаще отдельными статьями, посвящёнными ограниченному кругу проблем. Статистические данные по детям были обнаружены нами в англоязычной литературе, где последствия и осложнения ПСМТ рассматриваются по отдельным органам и системам, частота их возникновения не отличается от взрослых пациентов [11–13].

При прочих равных условиях шансы умереть от осложнений у детей, которым на момент травмы было менее 16 лет, ежегодные увеличиваются на 31% по сравнению со взрослыми, получившими травмы в более старшем возрасте ( $p=0,013$ ). Этот повышенный риск существенно не зависит от возраста, пола, расы, тяжести травмы или времени её получения ( $p > 0,05$ ) [10].

**Цель исследования** — разработать новую классификацию последствий и осложнений ПСМТ, охватывающую все периоды течения травмы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

*Критерии включения:* возраст от 1 года до 17 лет включительно; наличие позвоночно-спинномозговой травмы, подтверждённой клиническими и лучевыми методами обследования; добровольное информированное согласие пациента или родителей (опекунов) пациента на участие в научном исследовании.

### Условия проведения

Исследование выполнено среди пациентов детского возраста с позвоночно-спинномозговыми травмами, поступавших на лечение в Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии (НИИ НДХИТ) в период с 2014 по 2020 г.

### Описание медицинского вмешательства

Всем детям проводились мероприятия по разработанной нами методике: пациентам I группы — курс ранней реабилитации, начинающийся в отделении реанимации; пациентам II группы — второй этап реабилитации в профильном отделении. В процессе медицинской реабилитации дети и их родители получали подробные рекомендации по уходу, питанию, позиционированию, физическим нагрузкам и двигательному режиму, приобретению дополнительных технических средств реабилитации, переоборудованию жилого помещения и оформлению пособия по инвалидности.

После выписки из стационара реабилитационные мероприятия продолжались с использованием многофункциональной телемедицинской цифровой платформы KIDS REHAB<sup>1</sup> для постстационарного медико-социального мониторинга и сопровождения детей с ПСМТ, нуждающихся в длительной реабилитации.

### Методы регистрации исходов

С целью определения неврологического статуса исследовали уровень и степень тяжести поражения спинного мозга, которые оценивались по шкале Американской ассоциации травм спинного мозга ASIA (American Spinal Cord Injury Association), являющейся международным стандартом неврологической и функциональной классификации повреждений спинного мозга [14].

Подтверждение неврологического диагноза и определение тактики ведения пациента осуществляли путём верификации уровня, степени и характера повреждения позвоночника и спинного мозга с помощью методов лучевой диагностики: компьютерной и магнитно-резонансной томографии.

<sup>1</sup> Режим доступа: [https://roshalfund.com/kids\\_rehab](https://roshalfund.com/kids_rehab).

Оценка соматического статуса базировалась на клиническом осмотре с оценкой антропометрических данных, лабораторном (общий анализ крови, биохимический анализ крови, анализ суточной мочи) и инструментальном (ультразвуковое исследование, ультразвуковая доплерография, электрокардиография) мониторинге.

Для обследования локомоторного паттерна проводили оценку ограничения пассивных движений в крупных суставах методом гониометрии, мышечной силы по шестибалльной шкале Вейсс (Weiss functional impairment rating scale) и мышечного тонуса по шкале Эшворта (Ashworth).

Кроме того, проводилось психологическое обследование с целью выявления посттравматической дезадаптации и психопатологических состояний.

Состояние детей оценивалось на момент поступления, через 6 мес после травмы во время госпитализации, через 1 год после травмы по опросникам KIDS REHAB и через 3 года после травмы по опроснику «Последствия и осложнения».

### Этическая экспертиза

Исследование выполнено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека», правилами клинической практики в Российской Федерации и одобрено локальным этическим комитетом Центра 20 февраля 2019 года, протокол № 7.

### Статистический анализ

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью компьютерной программы Statistica v.6.0 (StatSoft Inc.). Использовались вычислительные и графические возможности редактора электронных таблиц Excel. Данные проверялись на соответствие нормальному

закону распределения с помощью критериев Лиллиефорса (Lilliefors) и Шапиро–Уилка (Shapiro–Wilk W-test). Применяли дисперсионный анализ, t-критерий Стьюдента, непараметрические тесты: критерий знаков и парный тест Вилкоксона (Wilcoxon T-test). При всех видах статистического анализа различия считались достоверными при уровне значимости  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Объекты (участники) исследования

В исследование были включены 167 детей в возрасте от 1 года до 17 лет включительно: I группу ( $n=106$ ) составили дети, поступившие в течение 1 мес после события травмы, II группу ( $n=61$ ) — дети, поступившие более чем через 1 мес после получения травмы. Средний возраст детей составил  $11,4 \pm 4,0$  года. Среди детей преобладали мальчики (56,3%), статистически значимых различий между сформированными группами не выявлено.

Самым частым осложнением у пациентов I группы в течение первого месяца после травмы были психоэмоциональные нарушения, в том числе депрессивные тенденции, требующие специализированной медикаментозной коррекции, причём у детей с тетраплегией (парезом) их было значительно больше (32% против 4%). Вторым значимым соматическим осложнением у детей была анемия — 16% случаев у пациентов с тетраплегией (парезом) и 4% у пациентов с параплегией (парезом); табл. 1.

На момент выписки из стационара после окончания первого этапа реабилитации все возникшие осложнения у пациентов I группы были купированы, а родители детей обучены современным методам ухода и профилактики осложнений гипостатического положения.

**Таблица 1.** Частота встречаемости соматических осложнений у пациентов I группы в течение первого месяца после травмы

**Table 1.** The frequency of occurrence of somatic complications in patients of group I during the 1st month after injury

Двигательный дефицит	Осложнения, абс. (%)									Число детей
	П	А	Пр	ИМП	АД	ГО	Д	Кр	МКБ	
Тетраплегия (парез)	4 (13)	5 (16)	5 (16,1)	2 (6,5)	4 (13)	1 (3)	10 (32)	-	-	31
Параплегия (парез)	1 (1,4)	3 (4)	1 (1,4)	2 (2,7)	1 (1,3)	-	3 (4)	-	-	75
Всего	5 (4,7)	8 (7,5)	6 (5,7)	4 (3,8)	5 (4,7)	1 (0,9)	13 (12,3)	-	-	106

**Примечание.** Здесь и в табл. 2–4: П — пневмония, А — анемия, Пр — пролежни, ИМП — инфекции мочевыводящих путей, АД — приступы автономной дисрефлексии, ГО — гетеротопические оссификаты, Д — депрессия или депрессивные тенденции, Кр — контрактуры, О — остеопороз, МКБ — мочекаменная болезнь.

**Note:** Here and in Tables 2–4: П — pneumonia, А — anemia, Пр — bedsores, ИМП — urinary tract infections, АД — attacks of autonomous dysreflexia, ГО — heterotopic ossifications, Д — depression or depressive tendencies, Кр — contractures, О — osteoporosis, МКБ — urolithiasis.

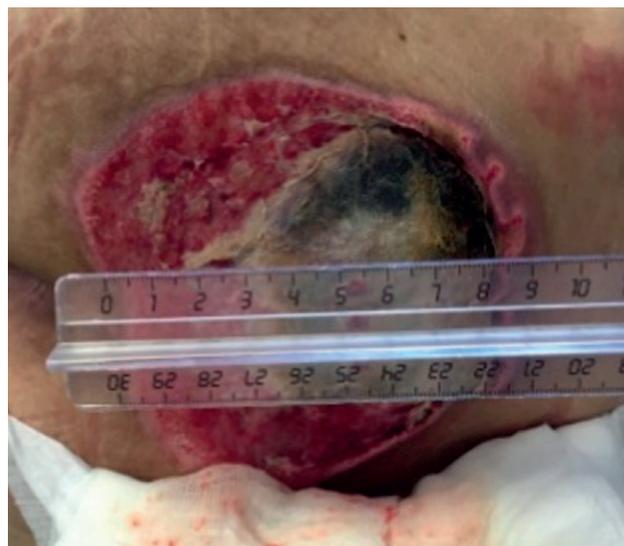
При обследовании через 6 мес после ПСМТ у 16,1% пациентов I группы с тетраплегией (парезом) наблюдались приступы автономной дисрефлексии, у 12,9% сохранялись депрессивные тенденции; анемия, пролежневые раны, инфекции мочевыводящих путей были обнаружены у 9,7% детей. Самым частым осложнением у пациентов I группы с параплегией (парезом) были инфекции мочевыводящих путей (у 6; 5,7%), у 1 (1,3%) ребёнка отмечены проявления остеопороза (табл. 2).

Наличие осложнений у детей, родители которых были обучены методам профилактики, связаны, по-видимому, с отсутствием комплаенса, индифферентной стратегией семейных взаимоотношений и недостатком контроля со стороны родителей ребёнка.

Самым частым соматическим осложнением у пациентов II группы были пролежневые раны (57,3%): у 90,5% детей с тетраплегией (парезом) (табл. 3) диагностированы I–IV стадии пролежневой (рис. 1).

Вторым значимым осложнением у пациентов этой группы были инфекции мочевыводящих путей (54,1%), третьим — приступы автономной дисрефлексии (19,7%) (см. табл. 3); 12 (19,7%) детей с тетраплегией (парезом) испытывали приступы автономной дисрефлексии, но ни дети, ни родители не были проинформированы о клинических проявлениях, мерах профилактики и способах коррекции этого состояния, угрожающего жизни ребёнка.

На реабилитацию с тромбозами нижних конечностей в стадии реканализации поступили 12 (19,7%) детей этой



**Рис. 1.** Гнойно-некротическая рана крестца IV стадии у пациента с позвоночно-спинномозговой травмой на уровне C5–C6 (2 мес после травмы).

**Fig. 1.** Purulent-necrotic wound of the sacrum, stage IV, in a patient with SSCI at the C5–C6 level (2 months after the injury).

группы, у 5 (8,2%) из них была выявлена мочекаменная болезнь (рис. 2). У 3 (14,3%) детей II группы при поступлении на реабилитацию были выявлены гетеротопические оссификации (рис. 3).

**Таблица 2.** Последствия и осложнения позвоночно-спинномозговой травмы у пациентов I группы через 6 мес после травмы

**Table 2.** Consequences and complications of spinal cord injury in patients of group I 6 months after injury

Двигательный дефицит	Последствия и осложнения, абс. (%)										Число детей
	П	А	Пр	ИМП	АД	ГО	Д	Кр	О	МКБ	
Тетраплегия (парез)	-	3 (9,7)	3 (9,7)	3 (9,7)	5 (16,1)	1 (3)	4 (12,9)	1 (3)	-	-	31
Параплегия (парез)	-	2 (2,7)	1 (1,3)	3 (4)	-	-	-	-	1 (1,3)	-	75
Всего	-	5 (4,7)	4 (3,8)	6 (5,7)	10 (9,4)	1 (0,9)	4 (3,8)	1 (0,9)	1 (0,9)	-	106

**Таблица 3.** Последствия и осложнения у пациентов II группы на момент поступления

**Table 3.** Consequences and complications in patients of group II at the time of admission

Двигательный дефицит	Последствия и осложнения, абс. (%)										Число детей
	П	А	Пр	ИМП	АД	ГО	Д	Кр	О	МКБ	
Тетраплегия (парез)	6 (28,6)	4 (19)	19 (90,5)	17 (80,9)	12 (57,1)	3 (14)	7 (33,3)	1 (4,8)	3 (14)	2 (9,5)	21
Параплегия (парез)	2 (5)	1 (2,5)	16 (40)	16 (40)	-	-	2 (5)	-	1 (2,5)	3 (7,5)	40
Всего	8 (13,1)	5 (8,2)	35 (57,3)	33 (54,1)	12 (19,7)	3 (9,9)	9 (14,8)	1 (1,6)	4 (6,6)	5 (8,2)	61



**Рис. 2.** Компьютерная томография: мочекаменная болезнь, картина высокоплотного конкремента в лоханке правой почки (стрелка).

**Fig. 2.** Computed tomography: picture of urolithiasis, a high-density calculus in the pelvis of the right kidney (arrow).



**Рис. 3.** Рентгенологическая картина пациента с позвоночно-спинномозговой травмой на уровне С5–С6 (3 мес после травмы): массивные гетеротопические оссификаты в области тазобедренных суставов в проекции от крыльев подвздошных костей до верхней трети диафизов бедренных костей, регионарный остеопороз (стрелка).

**Fig. 3.** X-ray picture of massive heterotopic ossifications in the area of the hip joints in the projection from the wings of the iliac bones, up to 3 of the diaphysis of the femur, regional osteoporosis (arrow) in a patient with at the level of C5–C6 (3 months after injury).

На момент выписки из стационара после окончания первого курса реабилитации все осложнения у пациентов II группы были купированы, а родители детей обучены современным методам ухода и профилактики.

Через 6 мес после ПСМТ у 19% пациентов II группы с тетраплегией (парезом) наблюдались приступы автономной дисрефлексии и сохранялись депрессивные тенденции, у 14,3% — анемия; пролежневые раны, инфекции мочевыводящих путей обнаружены у 23,8% детей, у 4 (6,6%) — проявления остеопороза (табл. 4).

Пролежневые раны I–II стадии к 6 мес были выявлены у 2 (3,3%) детей II группы; гнойно-некротические раны, с которыми дети поступали на первый курс реабилитации, были подвергнуты успешному хирургическому лечению (рис. 4). Новых тромбозов у пациентов этой группы при поступлении на повторный курс реабилитации не обнаружено, «старые» тромбозы были реканализованы, но 4 пациентам продолжалась антикоагулянтная терапия.

Через 1 год после ПСМТ у 39 детей I группы и 25 пациентов II группы, сопровождаемых по системе дистанционного мониторинга KIDS REHAB, были оценены время возникновения последствий ПСМТ и частота осложнений (табл. 5).

Очевидно, что у детей, прошедших I этап реабилитации в первичном стационаре (I группа), последствия ПСМТ при прочих равных условиях появляются позже, а количество осложнений значительно меньше за счёт ранней адаптации ребёнка и его семьи к актуальному неврологическому дефициту и новому образу жизни.

Для оценки последствий и осложнений через 3 года после ПСМТ мы использовали разработанный нами опросник «Последствия и осложнения». В мониторинге приняли участие 148 детей из I и II групп (табл. 6).

Различные последствия ПСМТ через 3 года после получения травмы выявлены у 96% пострадавших детей, осложнения — у 56% детей с ПСМТ.

Разработанная новая классификация является необходимой для улучшения исходов травмы, дальнейшего роста и развития ребёнка и интеграции его в социальную среду (табл. 7).

**Таблица 4.** Последствия и осложнения у пациентов II группы на момент выписки из стационара после проведённого курса реабилитации

**Table 4.** Consequences and complications in patients of group II at the time of discharge from the hospital after a course of rehabilitation

Двигательный дефицит	Последствия и осложнения, абс. (%)										Число детей
	П	А	Пр	ИМП	АД	ГО	Д	Кр	О	МКБ	
Тетраплегия (парез)	1 (4,7)	3 (14,3)	3 (14,3)	5 (23,8)	4 (19)	3 (14)	4 (19)	1 (4,8)	3 (14)	2 (9,5)	21
Параплегия (парез)	-	2 (5)	-	3 (7,5)	-	-	-	-	1 (2,5)	3 (7,5)	40
Всего	1 (1,6)	5 (8,2)	2 (3,3)	8 (13,1)	4 (6,6)	3 (9,9)	4 (6,6)	1 (1,6)	4 (6,6)	5 (8,2)	61

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Раннее начало реабилитационных мероприятий и последующее длительное медико-психологическое сопровождение детей с ПСМТ отдалает возникновение последствий травмы спинного мозга, профилактирует осложнения и побуждает ребёнка и его родителей соблюдать рекомендации реабилитационной команды. Недооценка тяжести состояния ребёнка с ПСМТ может привести не только к ограничению восстановления двигательных возможностей, но и к ухудшению качества жизни семьи и затруднению интеграции ребёнка в общество.

Осведомлённость пациента и его семьи о неизбежном возникновении последствий неврологического дефицита и связанного с ним гипостатического положения, своевременная компенсация возникших нарушений являются залогом успешной профилактики возможных осложнений.



**Рис. 4.** Успешное хирургическое лечение гнойно-некротической раны крестца IV стадии у пациента с позвоночно-спинномозговой травмой на уровне C5–C6 (6 мес после травмы).

**Fig. 4.** Successful surgical treatment of a grade IV purulent-necrotic sacral wound in a patient with spinal cord injury at the C5–C6 level (6 months after injury).

**Таблица 5.** Оценка возникновения последствий и осложнений позвоночно-спинномозговой травмы у детей, участвующих в дистанционном мониторинге по системе KIDS REHAB\*

**Table 5.** Assessment of the occurrence of consequences and complications of spinal cord injury in children participating in remote monitoring using the KIDS REHAB system\*

Группы детей	Последствия, мес	Осложнения, количество
I (n=39)	5±1,2	21±4,6
II (n=25)	4±1,6	33±5,2

**Примечание.** \*  $p=0,015$ .

**Note:** \*  $p=0,015$ .

**Таблица 6.** Оценка последствий и осложнений позвоночно-спинномозговой травмы у детей по опроснику «Последствия и осложнения» через 3 года после травмы

**Table 6.** Assessment of the consequences and complications of spinal cord injury in children according to the questionnaire "Consequences and complications" 3 years after the injury

Последствия	+/-	Осложнения	+/-
Нарушение трофики	96	Пролежни	52
Недостаточность дыхательной мускулатуры, бронхообструкция	52	Пневмония, ателектаз	12
Изменение артериального давления, нарушение проведения по синоатриальному и/или атриовентрикулярному узлам	64	Нарушение ритма, блокады, инфаркт, инсульт	1
Нарушение моторики кишечника, работы сфинктеров	97	Язвенная болезнь, запор или недержание, инвагинация, кишечная непроходимость, жёлчнокаменная болезнь	56
Детрузорно-сфинктерная диссинергия, эректильная дисфункция, автономная дисрефлексия	82	Рефлюкс, гидронефроз, мочекаменная болезнь, инфекция мочевой системы, хроническая почечная недостаточность, приступы автономной дисрефлексии	42
Остеопороз, спастика	102	Вторичные переломы, гетеротопические оссификаты, контрактуры	49
Метаболические нарушения	73	Белково-энергетическая недостаточность, ожирение, сахарный диабет 2-го типа	26
Психологическая дезадаптация, болевой синдром	125	Эмоциональные, мотивационные, поведенческие расстройства	56

**Таблица 7.** Классификация последствий и осложнений позвоночно-спинномозговой травмы у детей**Table 7.** Classification of consequences and complications of spinal cord injury in children

№	Патогенез	Последствия	Осложнения
<i>Кожа и слизистые</i>			
1	Изменение тонуса сосудов	Нарушение трофики	Пролежни
<i>Дыхательная система</i>			
2	Нарушение центральной регуляции дыхательной мускулатуры	Выключение из акта дыхания определённых групп мышц в зависимости от уровня поражения	Пневмония Ателектаз
	Нарушение вегетативной иннервации	Бронхообструкция Изменение мукоцилиарного клиренса	
<i>Сердечно-сосудистая система</i>			
3	Нарушение вегетативной иннервации	Изменение артериального давления, нарушение проведения по синоатриальному и атриовентрикулярному узлам	Инфаркт, инсульт, остановка сердца нарушения ритма, блокады
<i>Желудочно-кишечный тракт</i>			
4	Нарушение вегетативной иннервации	Повышение агрессивности секрета	Стрессовые язвы
		Нарушение моторики кишечника	Копростаз
		Нарушение работы сфинктеров	Запор или недержание Инвагинация, кишечная непроходимость
		Дисфункция билиарного тракта	Билиарный сладж, жёлчнокаменная болезнь
<i>Мочеполовая система</i>			
5	Нарушение вегетативной иннервации при отсутствии центральной регуляции	Детрузорно-сфинктерная диссинергия Эректильная дисфункция	Рефлюкс, гидронефроз, хроническая почечная недостаточность, мочекаменная болезнь, инфекция мочевой системы,
<i>Эндокринная система</i>			
6	Отсутствие центральной регуляции	Метаболические нарушения (гиперкатаболизм, гиперметаболизм) Миастеатоз	Белково-энергетическая недостаточность, ожирение, сахарный диабет 2-го типа
<i>Костно-мышечная система</i>			
7	Отсутствие опорной нагрузки Отсутствие центральной регуляции	Остеопороз	Низкоэнергетические переломы
		Метаболические нарушения	Гетеротопические оссификации
		Спастика	Контрактуры
<i>Автономная дисрефлексия</i>			
8	Отсутствие центральной регуляции вегетативной нервной системы	Дискоординация работы симпатической и парасимпатической нервной системы	Повышение артериального давления, тахикардия, гипертермия, паническая атака, инсульт
<i>Психозоциальная сфера</i>			
9	Изменение привычного жизненного стереотипа	Психологическая дезадаптация	Эмоциональные, мотивационные, поведенческие расстройства
	Нарушение центральной регуляции + эмоционально-личностные характеристики	Боль	Эмоциональные, мотивационные, поведенческие расстройства

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Исследование поддержано грантом Правительства г. Москвы «Система комплексной реабилитации детей с острыми травматическими повреждениями на основе организационной модели с применением инновационных медико-конвергентных технологий» (проект № 2412-9).

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

**Вклад авторов.** И.Н. Новосёлова — концепция и дизайн, обзор публикаций по теме статьи, выбор и обследование пациентов, анализ полученных данных, написание и научная редакция текста рукописи; И.В. Понина — обзор публикаций по теме статьи, обследование пациентов, проведение исследования, предоставление и анализ полученных данных; С.А. Валиуллина — общее редактирование, утверждение рукописи для публикации. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

## ADDITIONAL INFORMATION

**Funding source.** The study was supported by a grant from the Government of Moscow "Comprehensive rehabilitation system for children with acute traumatic injuries based on an organizational model using innovative medical convergent technologies" (project No. 2412-9).

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

**Author contribution.** I.N. Novoselova — concept and design, review of publications on the topic of the article, selection and examination of patients, analysis of the data obtained, writing and scientific editing of the text of the manuscript; I.V. Ponina — review of publications on the topic of the article, examination of patients, research, provision and analysis of the obtained data; S.A. Valiullina — general editing, approval of the manuscript for publication. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Hagen E.M. Acute complications of spinal cord injuries // *World J Orthopedics*. 2015. Vol. 6, N 1. P. 17–23. doi: 10.5312/wjo.v6.i1.17
- Иванова Г.Е., Мельникова Е.В., Белкин А.А., и др. Как организовать медицинскую реабилитацию? // *Вестник восстановительной медицины*. 2018. № 2. С. 2–12.
- Новосёлова И.Н., Понина И.В., Валиуллина С.А. Осложнения и последствия позвоночно-спинномозговой травмы у детей и взрослых. Обзор литературы // *Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова*. 2020. Т. 12, № 1. С. 48–54.
- Новосёлова И.Н., Мачалов В.А., Понина И.В., и др. Концепция ранней реабилитации детей с позвоночно-спинномозговой травмой в условиях хирургического стационара // *Вестник восстановительной медицины*. 2020. № 2. С. 94–101. doi: 10.38025/2078-1962-2020-96-2-94-101
- Бабиченко Е.И. Классификация позвоночно-спинномозговой травмы // *Нейротравматология: справочник / под ред. А.Н. Коновалова, Л.Б. Лихтермана, А.А. Потапова*. Москва: Вазар-Ферро, 1994. С. 252–253.
- Джуманов К.Н., Перфильев С.Б., Бабаханов Ф.Х. Вопросы лечения ранних осложнений у больных с травмами грудного отдела позвоночника // *VII Поленовские чтения: тезисы Всероссийской научно-практической конференции*, 27–30 апреля. Санкт-Петербург, 2008. С. 97–98.
- Леонтьев М.А. Эпидемиология спинальной травмы и частота полного анатомического повреждения спинного мозга // *Актуальные проблемы реабилитации инвалидов: материалы научно-практической конференции, посвященной европейскому и российскому году инвалидов-2003, 60-летию Кемеровской области, 25-летию Федерального государственного учреждения «Новокузнецкий научно-практический центр медико-социальной экспертизы и реабилитации инвалидов»*, 30 сентября – 3 октября. Новокузнецк, 2003. С. 37–38.
- Сеничев А.А., Лебедева Н.Б., Белова А.Н. Основные виды и структура поражения органов мочевой системы у больных, перенесших позвоночно-спинномозговую травму // *Вятские встречи: сборник научных трудов Кировской межрегиональной научно-практической конференции неврологов и нейрохирургов*. Киров, 2004. С. 106–107.
- Солёный В.И. Ортопедические последствия позвоночно-спинномозговой травмы // *Нейротравматология: справочник / под ред. А.Н. Коновалова, Л.Б. Лихтермана*. Москва: Вазар-Ферро, 1994. С. 267–268.
- Johnston T.E., McDonald C.M. Health and fitness in pediatric spinal cord injury: medical issues and the role of exercise // *J Pediatr Rehabil Med*. 2013. Vol. 6, N 1. P. 35–44. doi: 10.3233/PRM-130235
- Vogel L.C., Mendoza M.M., Schottler J.C., et al. Ambulation in children and youth with spinal cord injuries // *J Spinal Cord Med*. 2007. N 30. P. 158–164. doi: 10.1080/10790268.2007.11754595
- Shavelle R.M., DeVivo M.J., Brooks J.C., et al. Improvements in long-term survival after spinal cord injury? // *Arch Phys Med Rehab*. 2015. Vol. 96, N 4. P. 645–651. doi: 10.1016/j.apmr.2014.11.003
- Nelson V.S. Durable medical equipment for children with spinal cord dysfunction: implications of age and level of injury // *J Spinal Cord Med*. 2007. N 30. P. 172–177. doi: 10.1080/10790268.2007.11754597
- Schuld C., Franz S., Brüggemann K., et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury: impact of the revised worksheet (revision 02/13) on classification performance // *Journal of Spinal Cord Medicine*. 2016. Vol. 5, N 39. P. 504–512. doi: 10.1080/10790268.2016.1180831

## REFERENCES

1. Hagen EM. Acute complications of spinal cord injuries. *World J Orthopedics*. 2015;6(1):17–23. doi: 10.5312/wjo.v6.i1.17
2. Ivanova GE, Melnikova EV, Belkin AA, et al. How to organize medical rehabilitation? *Bulletin restorative medicine*. 2018;(2):2–12. (In Russ).
3. Novoselova IN, Panina IV, Valiullina SA. Complications and consequences of spinal cord injury in children and adults. Literature review. *Russian Neurosurgical Journal named after Professor A.L. Polenov*. 2020;12(1):48–54. (In Russ).
4. Novoselova IN, Mochalov VA, Panina IV, et al. The concept of early rehabilitation of children with spinal cord injury in a surgical hospital. *Bulletin restorative medicine*. 2020;(2):94–101. (In Russ). doi: 10.38025/2078-1962-2020-96-2-94-101
5. Babichenko EI. Classification of spinal cord injury. In: *Neurotraumatology: a reference book*. Ed. A.N. Kononov, L.B. Likhтерman, A.A. Potapov. Moscow: Vazar-Ferro; 1994. P. 252–253. (In Russ).
6. Jumanov KN, Perfiliev SB, Babakhanov FX. Issues of treatment of early complications in patients with injuries of the thoracolumbar spine. In: VII Polenov readings: theses of the All-Russian Scientific and practical conference, April 27–30. Saint-Petersburg; 2008. P. 97–98. (In Russ).
7. Leontiev MA. Epidemiology of spinal injury and the frequency of complete anatomical spinal cord injury. In: Actual problems of rehabilitation of the disabled: Materials of the scientific and practical conference dedicated to the European and Russian Year of Disabled People-2003, the 60th anniversary of the Kemerovo region, the 25th anniversary of the Federal State Institution “Novokuznetsk Scientific and Practical Center for Medical and Social Expertise and Rehabilitation of Disabled People”, September 30 – October 3. Novokuznetsk; 2003. P. 37–38. (In Russ).
8. Senichev AA, Lebedeva NB, Belova AN. The main types and structure of lesions of the urinary system organs in patients who have suffered spinal cord injury. In: Vyatka meetings: collection of scientific papers of the Kirov interregional scientific and practical Conference of neurologists and neurosurgeons. Kirov; 2004. P. 106–107. (In Russ).
9. Soleny VI. Orthopedic consequences of spinal cord injury. In: *Neurotraumatology: reference book*. Ed. A.N. Kononov, L.B. Likhтерman. Moscow: Vazar-Ferro; 1994. P. 267–268. (In Russ).
10. Johnston TE, McDonald CM. Health and fitness in pediatric spinal cord injury: medical issues and the role of exercise. *J Pediatr Rehabil Med*. 2013;6(1):35–44. doi: 10.3233/PRM-130235
11. Vogel LC, Mendoza MM, Schottler JC, et al. Ambulation in children and youth with spinal cord injuries. *J Spinal Cord Med*. 2007;(30):158–164. doi: 10.1080/10790268.2007.11754595
12. Shavelle RM, DeVivo MJ, Brooks JC, et al. Improvements in long-term survival after spinal cord injury? *Arch Phys Med Rehabil*. 2015;96(4):645–651. doi: 10.1016/j.apmr.2014.11.003
13. Nelson VS. Durable medical equipment for children with spinal cord dysfunction: implications of age and level of injury. *J Spinal Cord Med*. 2007;(30):172–177. doi: 10.1080/10790268.2007.11754597
14. Schulz C, Franz S, Brüggemann K, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury: impact of the revised worksheet (revision 02/13) on classification performance. *J Spinal Cord Med*. 2016;5(39):504–512. doi: 10.1080/10790268.2016.1180831

## ОБ АВТОРАХ

\* **Новосёлова Ирина Наумовна**, д.м.н.;  
адрес: Россия, 119180, Москва, ул. Б. Полянка, д. 22;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2258-2913>;  
eLibrary SPIN: 1406-1334; e-mail: [i.n.novoselova@gmail.com](mailto:i.n.novoselova@gmail.com)

**Понина Ирина Витальевна**;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0060-7895>;  
eLibrary SPIN: 1753-6156; e-mail: [ponina.irina@mail.ru](mailto:ponina.irina@mail.ru)

**Валиуллина Светлана Альбертовна**, д.м.н., профессор;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1622-0169>;  
eLibrary SPIN: 6652-2374; e-mail: [vsa64@mail.ru](mailto:vsa64@mail.ru)

## AUTHORS' INFO

\* **Irina N. Novoselova**, MD, Dr. Sci. (Med.);  
address: 20 Bolshaya Polyanka Street, Moscow, 119180, Russia;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2258-2913>;  
eLibrary SPIN: 1406-1334; e-mail: [i.n.novoselova@gmail.com](mailto:i.n.novoselova@gmail.com)

**Irina V. Ponina**;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0060-7895>;  
eLibrary SPIN: 1753-6156; e-mail: [ponina.irina@mail.ru](mailto:ponina.irina@mail.ru)

**Svetlana A. Valiullina**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1622-0169>;  
eLibrary SPIN: 6652-2374; e-mail: [vsa64@mail.ru](mailto:vsa64@mail.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab112424>

# Гомонимная гемианопсия и зрительный неглект. Часть I — феноменология, диагностика

М.А. Шурупова<sup>1, 2, 3</sup>, А.Д. Айзенштейн<sup>1</sup>, Г.Е. Иванова<sup>1, 4, 5</sup><sup>1</sup> Федеральный центр мозга и нейротехнологий, Москва, Российская Федерация<sup>2</sup> Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Лечебно-реабилитационный научный центр «Русское поле», Чехов, Российская Федерация<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация<sup>4</sup> Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Российская Федерация<sup>5</sup> Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

Гемианопсия и одностороннее пространственное игнорирование (синдром неглеста) являются наиболее распространёнными зрительно-пространственными нарушениями, возникающими после правополушарного инсульта. Медицинским специалистам зачастую требуется устанавливать дифференциальный диагноз между этими двумя расстройствами в связи со схожестью проявления их симптомов.

Настоящая статья является первой частью литературного обзора и посвящена обсуждению феноменологии и способам диагностики гомонимной гемианопсии и неглеста. Впервые в отечественной литературе освещено применение метода айтрекинга у пациентов с гомонимной гемианопсией и неглектом. Приведены отличительные критерии обоих расстройств.

Статья содержит полезную информацию для медицинских специалистов по постановке соответствующего диагноза и назначению коррекционных процедур (методы коррекции будут подробно изложены во второй части литературного обзора).

**Ключевые слова:** неглект; гемианопсия; одностороннее пространственное игнорирование; гомонимная гемианопсия; диагностика; айтрекинг.

## Как цитировать

Шурупова М.А., Айзенштейн А.Д., Иванова Г.Е. Гомонимная гемианопсия и зрительный неглект. Часть I — феноменология, диагностика // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2022. Т. 4, № 4. С. 244–258. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab112424>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab112424>

# Homonymous hemianopia and visual neglect: I — phenomenology, diagnosis

Marina A. Shurupova<sup>1, 2, 3</sup>, Alina D. Aizenshtein<sup>1</sup>, Galina E. Ivanova<sup>1, 4, 5</sup>

<sup>1</sup> Federal center of brain research and neurotechnologies, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Medical and Rehabilitation Scientific Center "Russkoe pole", Chekhov, Russian Federation

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup> The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russian Federation

<sup>5</sup> Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

Hemianopia and unilateral spatial neglect are the most common visual-spatial disorders that occur after a right hemisphere stroke. Due to the similarity of their symptoms, health care professionals often need to establish a differential diagnosis between these two disorders.

This article is the first part of the literature review and is devoted to the discussion of the phenomenology and diagnostic methods of homonymous hemianopia and neglect. For the first time in the Russian literature, the use of the eyetracking method in patients with homonymous hemianopia and neglect is highlighted. The article also provides criteria for the differences between the two disorders.

The article contains useful information for health care professionals to make an appropriate diagnosis, which implies subsequent rehabilitation procedures. Rehabilitation methods will be described in detail in the second part of the literature review.

**Keywords:** homonymous hemianopia; hemispatial neglect; diagnosis; eye tracking.

## To cite this article

Shurupova MA, Aizenshtein AD, Ivanova GE. Homonymous hemianopia and visual neglect: I — phenomenology, diagnosis. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2022;4(4):244–258. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab112424>

Received: 08.10.2022

Accepted: 15.11.2022

Published: 21.11.2022

### Список сокращений

ГГ — гомонимная гемианопсия	SPL (superior parietal lobule) — верхняя теменная доля
FEF (frontal eye field) — фронтальное поле зрения	TPJ (temporoparietal junction) — височно-теменной узел
IPS (intraparietal sulcus) — внутривисочная борозда	

## ВВЕДЕНИЕ

Нарушение зрительных функций и зрительного восприятия, по разным оценкам, развивается в 25–80% случаев правополушарного инсульта [1–3]. Гемианопсия и одностороннее пространственное игнорирование (синдром неглекта) являются наиболее распространёнными постинсультными зрительно-пространственными нарушениями [4]. Гемианопсия — частичная потеря полей зрения в обоих глазах, которая возникает при повреждении зрительных путей в постхиазмальной области. Синдром неглекта — нарушение осознания пространства, при котором пациенты не воспринимают стимулы, находящиеся в контралатеральном поражению мозга полушарии пространства. В связи со схожестью проявления их симптомов медицинскими специалистами часто требуется установить дифференциальный диагноз между этими двумя расстройствами. Так, по результатам опроса, проведённого в Дании в 2018 г. среди клинических специалистов, оценивающих наличие неглекта у постинсультных больных, 92% респондентов заявили о необходимости постановки дифференциального диагноза именно между неглектом и гемианопсией [5].

В данной статье, которая является первой частью литературного обзора, посвящённого гомонимной гемианопсии и неглекту, мы рассмотрим феноменологию данных нарушений, основные различия, которые их характеризуют, их влияние на повседневную активность пациента, а также способы их диагностики.

### Критерии поиска и включения литературных источников

Для отбора литературных источников был использован поиск по следующим ключевым словам и их комбинациям на русском и английском языках: «гомонимная гемианопсия» (hemianopia), «неглект» (hemispatial neglect), «инсульт» (stroke), «диагностика» (diagnostic), «айтрекинг» (eye tracking) в базах данных PubMed, Google Scholar, Cochrane. В результате было отобрано 89 источников. Глубина поиска составила 20 лет. Кроме того, были использованы 6 источников, датированные более ранним периодом (1979–1997), поскольку они содержат концептуальную информацию в рамках настоящего обзора.

Критерии включения: обзоры литературы, оригинальные статьи, метаанализы, клинические руководства и рекомендации; публикации с полным текстом на английском и русском языках. Критерии исключения: публикации низкого методологического качества, материалы конференций.

## ФЕНОМЕНОЛОГИЯ ГОМОНИМНОЙ ГЕМИАНОПСИИ

Гемианопсия является частичной потерей полей зрения в обоих глазах, которая возникает при повреждении зрительных путей в постхиазмальной области (зрительного тракта, наружного коленчатого тела, зрительной лучистости, стриарной коры) и наблюдается у 8–25% пациентов, перенёсших инсульт [6, 7]. Может наблюдаться полное выпадение половин полей зрения (гомонимная, гетеронимная гемианопсия), а также частичное (квадрантная гемианопсия, гемианопическая скотома). Наиболее частой формой гемианопсии после перенесённого инсульта является гомонимная гемианопсия (ГГ) (54%) [7, 8] — дефект поля зрения, который состоит в полной или частичной слепоте в одноимённых полях зрения с левой или правой стороны обоих глаз, обычно вызываемый инфарктом в контралатеральном полушарии головного мозга. Так, у пациентов с левосторонней гемианопсией, развившейся вследствие правополушарного инсульта, выпадает левая половина зрительного поля. Данная симптоматика ГГ наиболее схожа с синдромом неглекта.

## ФЕНОМЕНОЛОГИЯ НЕГЛЕКТА

Одностороннее пространственное игнорирование (неглект, односторонний пространственный неглект, гемипространственный неглект, гемипространственное сенсорное невнимание) — нарушение осознания пространства, при котором пациенты не воспринимают информацию и не реагируют на различные стимулы или условия, возникающие со стороны, контралатеральной стороне поражения головного мозга, даже если нет элементарных нарушений сенсорной или моторной функции [9, 10].

Хотя частота левополушарных инсультов составляет 54%, что больше, чем правополушарных (43%), частота пространственного игнорирования непропорционально выше после правостороннего инсульта [11]. Общее наличие синдрома неглекта составляет до 82% у пациентов после инсульта, при этом в среднем у 50% пациентов остаются проявления игнорирования в одной из модальностей [12, 13]. Развитие неглекта положительно коррелирует с возрастом пациента, в котором произошёл инсульт, и не связано с половыми различиями или ведущей рукой [14].

Синдром неглекта относят к феноменам оптико-пространственной агнозии, которая возникает при одностороннем поражении корковых структур задних отделов больших полушарий [15]. Оптико-пространственная

агнозия — один из типов зрительной агнозии, для которой характерны нарушения зрительного восприятия при относительной сохранности элементарных зрительных функций (остроты зрения, полей зрения, цветоощущения). Помимо зрительной агнозии выделяют слуховую, обонятельную, вкусовую, тактильную.

Неглект представляет собой гетерогенный синдром и может быть определён по нескольким классификациям. Во-первых, выделяют виды: сенсорное (input) и моторное (output) игнорирование. Сенсорное игнорирование может быть зрительным, определяемым как неспособность обнаруживать стимулы, представленные в контралатеральном поле зрения [16], или слуховым, определяемым дефицитом внимания к звукам или словесным стимулам из контралатерального пространства [17], тактильным [18] и даже обонятельным [18]. Важным признаком проявления сенсорного неглекта является феномен угасания — утрата способности реагировать на зрительные, слуховые, тактильные стимулы при одновременной стимуляции обоих полей зрения, обоих слуховых каналов, обеих сторон тела, при этом реакция на одиночный стимул, даже с контралатеральной стороны, может сохраняться [19]. Пространственный дефицит пациентов наиболее очевиден в конкурентных ситуациях, когда информация, направленная в сторону «хорошей» ипсилатеральной стороны, доминирует над информацией, которая в противном случае была бы опознана в контралатеральной стороне.

Моторное игнорирование может быть разделено на два подвида, обозначенные E. Bisiach и соавт. [20]: (1) нарушение спонтанного движения контралатеральной конечности и (2) специфический дефицит направленности с нарушением движения в контралатеральную сторону [20, 22]. Кроме того, выделяют репрезентативное игнорирование [10], которое касается воображаемого пространства, — игнорирование внутренних представлений, потеря или искажение ментальных образов, дефицит пространственной памяти и репрезентации информации [23].

В соответствии с областями пространства можно выделить персональный (пространство тела), периперсональный (пространство в пределах досягаемости рук) и экстраперсональный (дальнее пространство, за пределами досягаемости рук — игнорирование окружающей среды) типы игнорирования [2, 24, 25].

Более того, неглект можно классифицировать как аллоцентрическое игнорирование (объектно-ориентированное), характеризующееся неспособностью воспринимать противоположную сторону отдельного стимула независимо от его местоположения в пространстве, и эгоцентрическое (ориентированное на зрителя) игнорирование, характеризующееся невниманием к любым стимулам, расположенным в пространстве, противоположном поражённому полушарию [26, 27].

## Нарушения в поведении и эмоционально-личностной сфере при неглекте

Проявления синдрома неглекта с большей долей вероятности вызывают анозогнозию (отсутствие критической

оценки больным своего дефекта), проявляющуюся в когнитивной и двигательной сферах [28]. Достаточно часто возникают также специфические нарушения в эмоционально-личностной и поведенческой сферах. Для таких больных характерно снижение критики, приподнятое настроение, сочетающиеся с отсутствием какой-либо спонтанной активности [29]. В.Н. Григорьева и Т.А. Сорокина [28] сообщают о специфической регуляторной дисфункции, сходной с «лобным» синдромом, сочетающейся с синдромом неглекта и анозогнозией. Помимо повреждения коры, синдром неглекта можно рассматривать как синдром разъединения, который создаёт гипофункцию большой сети связанных областей мозга, особенно в правой лобно-теменной сети [30]. Больной самодистанцируется от выполнения каких-либо обязательств (самообслуживание, выполнение коррекционных заданий по поручению психолога и пр.), перекладывает их на окружающих его родственников или медперсонал. Задания, оставляемые психологом или другими специалистами, как правило, не выполняются, хотя при предшествующем общении пациент может выглядеть крайне заинтересованным в их выполнении [31].

## Функциональная анатомия неглекта

Функциональная анатомия синдрома неглекта представляет собой отдельный интерес. На данный момент известно, что за процессы внимания в сети ориентирования у человека отвечают в основном теменная доля и веретеновидная извилина, а также частично лобные доли, верхнее двухолмие и подушка таламуса [32]. В работе M. Corbetta и G.L. Shulman [33] описаны теменные, височные и лобные области мозга, функционирующие в контексте двух систем (дорсальной и вентральной), связанных с ориентацией человека на внешние стимулы. Дорсальная система включает в себя фронтальное глазодвигательное поле (frontal eye field, FEF), интрапариетальную борозду (intraparietal sulcus, IPS) вместе с верхней теменной долькой (superior parietal lobule, SPL) и активна во время перемещения целенаправленного внимания на внешние стимулы; вентральная система — область височно-теменного узла (temporoparietal junction, TPJ) — активна как часть сети, идентифицирующая сенсорные события. Эта сеть асимметрична и имеет правую латерализацию: считается, что между полушариями эта функция неравномерно распределена из-за того, что правое полушарие опосредует внимание как к левой, так и к правой половине пространства и тела [34], а левое — только к правой половине. Это означает, что поражения левой теменной коры, как правило, компенсируются за счёт неповреждённого правого полушария, а поражения правой — не компенсируются. В недавней работе С. Sperber с соавт. [35] конкретизируется, что именно повреждения в корковой пересильвиевой лобно-височно-теменной сети значимо коррелируют со степенью тяжести неглекта. В работе M. Chechlacz с соавт. [36] удалось показать специфичность областей, вовлечённых в разные типы неглекта: аллоцентрический

неглект связан с повреждением задних областей коры головного мозга (задняя верхняя височная борозда, угловая, средняя височная и средняя затылочная извилины), а эгоцентрический — с большим повреждением передней коры головного мозга (средняя лобная, постцентральная, супрамаргинальная и верхняя височная извилины) и повреждением подкорковых структур; повреждения IPS и TPJ связаны с обеими формами неглекта. Таким образом, различные области коры контролируют внимание в пространстве (используя эгоцентрическую систему отсчёта) и внутри объектов (используя аллоцентрическую систему отсчёта), в то время как общие области коры (TPJ, IPS) и общие пути белого вещества поддерживают взаимодействия между различными областями коры. Кроме того, в работе M. Rousseaux с соавт. [37] было показано, что разные области коры связаны с разными подтипами неглекта относительно областей пространства. Периперсональный неглект связан с поражением верхней височной и нижней теменной извилин с вовлечением подкорковых структур. Персональный неглект возникает в основном после поражения соматосенсорной коры и в меньшей степени — верхней височной борозды. Это иллюстрирует неоднородность неглекта как симптома.

## СПОНТАННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРИ ГОМОНИМНОЙ ГЕМИАНОПСИИ И НЕГЛЕКТЕ

У части пациентов данные расстройства могут компенсироваться или спонтанно исчезнуть в раннем восстановительном периоде. Спонтанное восстановление полей зрения после ГГ происходит в первые 2–3 мес после инсульта у 50% пациентов [38], а после 6 мес спонтанное восстановление уже крайне маловероятно [39]. Спонтанное восстановление после неглекта происходит в основном в первые 3–4 мес после инсульта у 60–70% пациентов [40], а в хроническом виде неглект остаётся примерно у 15% людей с правым и у 5% с левополушарным инсультом [41]. Может улучшаться в течение первых 3 мес и постинсультное ипсилатеральное отклонение зрения, параллельно с более симметричным и широким полем зрения пациента [42]. Имеются также данные, что при наличии наложенного состояния (и неглекта, и ГГ), влияние ГГ со временем ослабевает, и у пациента наблюдаются только симптомы неглекта [43].

## ВЛИЯНИЕ НА ПОВСЕДНЕВНУЮ АКТИВНОСТЬ

И ГГ, и неглект являются негативными прогностическими факторами для успешного постинсультного восстановления [40, 44]. Нарушение зрительного восприятия, если обратиться к Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья, влияет на функции и структуру тела, что в свою очередь

вызывает ограничения в активности и уровне участия в повседневной жизни [45]. Зрительные расстройства приводят к длительной госпитализации, повышенному риску падений и травм, затруднённому возвращению к самостоятельной жизни и уходу за собой [46, 47], а также к депрессивным симптомам [48, 49]. Кроме того, в реабилитационном процессе данные расстройства создают дополнительную нагрузку на лиц, осуществляющих уход [50], а большинство пациентов не возвращаются к трудовой деятельности, что также создаёт огромное финансовое бремя и составляет значительную долю расходов государства и семьи на лечение инсульта [51]. Таким образом, у неглекта и ГГ имеются значительные физические, социальные, эмоционально-поведенческие, а также экономические последствия.

Исследователи обычно не делают акцента на том, какое из зрительных расстройств сильнее влияет на повседневную жизнь пациентов, однако в одной из работ показано, что наличие неглекта оказывает более серьёзный эффект на недееспособность пациентов спустя год после инсульта [52]. Аллоцентрический неглект сильнее нарушает жизнедеятельность пациента, чем эгоцентрический [53], а сочетание этих форм неглекта приводит к ещё большей дисфункциональности состояния пациента [54].

Кроме того, неглект может быть ассоциирован с левосторонней гемианопсией, что ещё больше затрудняет их дифференциацию [55–57], отражает более обширные повреждения мозга, приводит к хроническому течению неглекта и особенно тяжёлому восстановлению утраченных функций [43, 58, 59].

## РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ ГОМОНИМНОЙ ГЕМИАНОПСИЕЙ И НЕГЛЕКТОМ

Поскольку оба расстройства связаны с неспособностью воспринимать или обрабатывать информацию из контралатерального зрительного поля, дифференциация часто бывает проблематичной, особенно на ранней стадии, однако она является важной как для прогноза состояния пациента, так и для планирования дальнейшего лечения [42]. Главное морфофункциональное различие между ГГ и неглектотом заключается в первичной потере сенсорной информации, приходящей по зрительным путям при ГГ, в то время как при неглекте зрительные пути остаются сохранными, а нарушения возникают в корковых ассоциативных областях, связанных с процессами внимания [35]. Другими словами, неглект характеризуется именно невниманием к контралатеральному полупространству, которое не зависит от направления взгляда пациента, тогда как ГГ представляет собой фактическое выпадение контралатерального поля зрения, которое может быть *компенсировано* движениями головы и глаз [19]. Пациенты с неглектотом имеют серьёзные затруднения при ориентировании и сканировании зрительной сцены в контралатеральном полупространстве и не могут сознательно компенсировать это,

в то время как ГГ оказывает менее значительное влияние на пространственное внимание и сканирующее поведение, что позволяет использовать зрительно-пространственные функции сохранного полушария при компенсаторных движениях глаз, головы и тела в сторону поражённого поля зрения [19]. Основные различия между этими расстройствами приведены в таблице.

ГГ развивается при инфаркте в бассейне задней мозговой артерии вследствие одностороннего поражения стриарной коры, зрительной лучистости или латерального коленчатого тела [60]. Неглект развивается при инфаркте в бассейне средней мозговой артерии (реже задней и передней хориоидальной артерии) вследствие поражения теменных, теменно-затылочных, иногда височных и лобных областей [2, 19], которые подробно были описаны выше.

Пациенты с ГГ обычно осведомлены о своём дефиците, могут сообщать о конкретных жалобах на выпадение поля зрения, трудности в чтении и т.д., в то время как пациенты с неглектом часто не имеют реального представления о своих нарушениях, их жалобы не имеют отношения к фактическому дефициту, что свидетельствует об анозогнозии. У пациентов с неглектом зрительное игнорирование нередко сочетается с другими модальностями — слуховой, моторной, тактильной [10],

особенно выражена феноменология при сопутствующей гемиплегии [61]. У пациентов с ГГ дефекты поля зрения, по определению, затрагивают только зрительную модальность и не обязательно подразумевают полушарный дефицит в других сенсорных каналах [62]. Феномен угасания характерен именно для пациентов с неглектом [63], у них смещён также субъективный центр пространства на ипсилатеральную пораженную сторону, в то время как у пациентов с ГГ такого не происходит. У пациентов с неглектом нарушается внутреннее пространственное представление, а также возникают моторные нарушения в контралатеральном пространстве (или по направлению к нему): акинезия, направленная гипокинезия, гипометрия [64]. Пациенты с гемианопсией не совершают ипсилатеральной ошибки при выполнении теста на деление линии пополам [65, 66]. Кроме того, у пациентов с гемианопсией, в отличие от пациентов с неглектом, не регистрируются нормальные латентности и амплитуды ранних зрительных вызванных потенциалов на стимулы, предъявленные в повреждённое поле зрения (P1, N1, P2, N2) [67]. Различия выявляются и в глазодвигательной активности у данных групп пациентов. Перспективным методом выявления различий этих двух расстройств представляется окулография (видеоокулография), которая будет рассматриваться ниже.

**Таблица.** Основные критерии, по которым различаются пациенты с гомонимной гемианопсией и зрительным неглектом (по [19], с изменениями)

**Table.** The main criteria by which patients with HH and those with visual neglect differ. According to [19], with modifications

Критерий	Зрительный неглект	Гомонимная гемианопсия
Зрительное поведение	Недостаток внимания к контралатеральному полупространству, не зависящий от направления взгляда	Потеря контралатерального поля зрения, которое зависит от расположения головы и глаз
Осознание дефицита	Обычно не осознают свой дефицит	Обычно осознают свой дефицит
Локализация поражения мозга	Обычно в бассейне средней мозговой артерии	Обычно в бассейне задней мозговой артерии
Уни-/мультимодальность дефицита	Может быть ассоциирован с тактильным, слуховым, моторным игнорированием	Относится только к зрительной модальности
Угасание	Часто ассоциирован	Редко ассоциирован
Рисование по памяти	Обычно пропуск деталей рисунка на поражённой стороне	Нормальное и симметричное
Деление линии пополам	Отклонение, ипсилатеральное поражению (вправо)	Нормальное или отклонение, контралатеральное поражению (влево)
Влияние «подсказки», направленной на поражённую сторону	Снижение симптомов игнорирования (обычно кратковременное)	Не влияет
Проведение периметрии	Трудности в удержании фиксации взгляда на центральной точке	Нормальное удержание фиксации взгляда на центральной точке
Зрительные вызванные потенциалы	Нормальная латентность и амплитуда P1, отклонения в P3 на поражённой стороне	Отклонения в P1 на поражённой стороне
Окулография*	Нет или есть только несколько спонтанных поисковых саккад, которые пересекают среднюю линию	Много спонтанных поисковых саккад, пересекающих среднюю линию

**Примечание.** \* Приведён один из признаков.

**Note:** \* One of the signs is given.

## ДИАГНОСТИКА ГОМОНИМНОЙ ГЕМИАНОПСИИ

Тестирование полей зрения может выполняться различными методами, начиная с конфронтационного тестирования как части неврологического обследования, заканчивая компьютерной периметрией [4]. В конфронтационном тестировании врач просит пациента определить количество пальцев на своей руке, предъявляемой в каждом квадранте зрительного поля пациента при статической фиксации на лице врача: таким образом проводится скрининговая оценка выпадения полей зрения. Автоматизированная компьютерная периметрия является золотым стандартом систематического измерения полей зрения [4]. Пациент фиксирует взор на центральной точке и нажимает на кнопку, если предъявленный на периферии стимул был им замечен: таким образом выявляются дефектные области поля зрения. Пациентам с неглектом при прохождении периметрии тяжело удерживать зрительный контроль на центральной фиксации, они чаще выполняют прослеживающие движения за периферийными стимулами, а кроме того, получаемые результаты при проведении периметрии от центра к периферии и от периферии к центру сильно разнятся («скотома» уменьшается во втором случае) [62]. Существуют также и компьютеризированные тесты на быструю оценку полей зрения [68]. Однако для пациентов с неглектом в сочетании с ГГ такая диагностика сильно затруднена в связи с отягчающими проявлениями игнорирования периферийных стимулов.

## ДИАГНОСТИКА НЕГЛЕКТА

Поскольку неглект является мультимодальным расстройством, а пространственное внимание необходимо для многих перцептивных, когнитивных и двигательных функций, важной задачей диагностики является не только выявление самого синдрома, но и его подтипов для предсказания, на какие повседневные задачи повлияют его проявления. Например, зрительное игнорирование, присутствующее в дальнем экстраперсональном пространстве, повлияет на способность безопасно переходить дорогу, однако на такие задачи, как чтение, бритьё или нанесение макияжа, это не повлияет. Если игнорирование в конкретном подтипе не обнаружено, человек может оставаться в неведении о рисках, связанных с возвращением к своим повседневным занятиям, потенциально подвергая себя и других риску при выполнении определённых действий, таких как приготовление пищи, вождение автомобиля или переход дороги [69, 70]. Кроме того, восстановление после синдрома неглекта также может зависеть от его подтипа. Большинство людей полностью выздоравливают через 6 мес после персонального и экстраперсонального игнорирования по сравнению с периперсональным подтипом, более тяжёлым для восстановления [71]. Отметим, что помимо оценки симптомов неглекта также должны проводиться дополнительные тесты на зрительное, тактильное (проба Тойбера)

и слуховое угасание, особенно в подострой фазе или когда присутствует только остаточное игнорирование.

Существует широкий спектр диагностических бланковых и компьютеризированных тестов, опросников, высокотехнологичных методов (видеоокулография, виртуальная реальность, электроэнцефалография).

### Тесты и опросники

В клинических рекомендациях 2021 года Всемирной федерации нейрореабилитации были выделены основные нейропсихологические тесты для выявления синдрома неглекта [42].

К наиболее используемым тестам относятся бланковые и компьютеризированные тесты на поиск и вычёркивание объектов (cancellation tests) — цифр, линий, колокольчиков (тест Альберта, Bells test, Star cancellation, Apple test) и т.д., которые применяются во множестве исследований [36, 37, 53, 57, 61, 65]. Для них разработаны критерии, по которым результаты выполнения теста свидетельствуют о наличии неглекта: так, в Bells test порог составляет 6 пропущенных колокольчиков с левой или правой стороны страницы. Важным преимуществом этой группы тестов является их оценка в количественном виде, а также высокая конструктивная валидность [19]. Apple test позволяет разделять эго- и аллоцентрический типы неглекта [53].

Тест на деление горизонтальной (дополнительно вертикальной) линии пополам (Line bisection test) направлен на выявление смещения субъективной зрительной средней линии. Пациенты с неглектом совершают ошибку в ипсилатеральную пораженную сторону, т.е. смещают среднюю линию от середины вправо [65, 66]. В качестве порога принимают отклонение 11% от объективного центра линии. Тест обладает чуть меньшей надёжностью, чем тесты на вычёркивание, а его выполнению может мешать вынужденное использование неведущей руки [19].

Тесты на спонтанное рисование и копирование объектов (часов, дома, лица человека и т.д.) направлены на оценку зрительно-конструктивных и пространственных навыков, выявление репрезентативного неглекта [72]. Пациенты с неглектом пропускают левую сторону изображения и/или левые части объектов. Однако недостатком методики можно считать субъективную оценку выполнения теста специалистом, а также влияние других когнитивных нарушений [19]. В отечественной литературе разработаны алгоритмы применения бланковых методик в условиях стационара для выявления признаков синдрома неглекта [31, 72]. По результатам исследования В.И. Лебедева и М.А. Андреева [57], наиболее чувствительными диагностическими бланковыми тестами оказались «Навигация по карте», «Описание фотографии», «Копирование фигур».

К недостаткам ряда бланковых тестов можно отнести оценку внимания только в области периперсонального пространства пациента, а также отсутствие возможности для разграничения между сенсорным и моторным игнорированием (деление линии пополам, вычёркивание объектов, рисование и копирование объектов).

Вербальные тесты (проба на чтение текста, описание сюжетной картинки и фотографии) помогают выявить симптомы игнорирования у пациента, сохранность буквенного гнозиса. После чтения пациенту могут быть заданы вопросы на понимание текста. Как и в предыдущем тесте, оценка выполнения субъективна.

Поведенческий тест на невнимательность (Behavioral inattention test, BIT) [73] — это целая тестовая батарея для выявления зрительного игнорирования при выполнении базовых и функциональных задач, состоящая из 6 субтестов (в традиционной форме) или 9 субтестов (в расширенной форме). В традиционную форму включены следующие субтесты: тест Альберта, вычёркивание букв, вычёркивание звёздочек и букв, деление линии пополам, копирование фигур и форм, копирование рисунка. Порогом для выявления синдрома неглекта является сумма баллов менее 129 из максимальных 146. Методика достаточно оценивает сразу несколько навыков, страдающих при неглекте, и имеет численную оценку, однако не оценивает персональное пространство и занимает больше времени [19].

Шкала Catherine Bergego scale (CBS) направлена на определение симптомов зрительного и моторного игнорирования в повседневной жизни, а также анозогнозии. Состоит из 10 вопросов про рутинные действия пациента в повседневной жизни, с оценкой от 0 до 3 баллов по каждому пункту. Порог выявления неглекта начинается с 10 баллов (0 — полное отсутствие). В тесте оцениваются все три уровня пространства (пери-, экста- и персональное). В работе P. Azouvi [74] продемонстрировано, что данный функциональный тест является самым экологически валидным и чувствительным по сравнению со всеми остальными используемыми тестами. Однако к его недостаткам можно отнести отсутствие дифференциации подтипов игнорирования [19].

## Айтрекинг

Стандартные тесты на неглект (функциональные, нейропсихологические) дают мало информации о том, как именно пациент сканирует левую сторону пространства. Регистрация движений глаз человека с помощью современного метода окулографии (айтрекинг) позволяет оценить модель зрительного сканирования пациента и проанализировать время, затраченное на изучение левой и правой половины пространства, количество фиксации взгляда с каждой стороны, их длительность, распределение по зрительной сцене и другие параметры [75–77]. Получаемые данные позволяют в динамическом режиме извлекать информацию о процессах внимания и восприятия на миллисекундном уровне, представляя собой объективный количественный метод оценки. Поскольку при проведении обследования с помощью айтрекинга не требуется мануального ответа от пациента, то, таким образом, исключаются зрительно-моторная задержка и моторный компонент игнорирования.

Айтрекинг имеет потенциал для детекции эффектов «лёгкого» неглекта во время сканирования пространства,

который может быть не зафиксирован традиционными методиками [54, 76]. С другой стороны, пациенты, которые во время исследования не могут пройти калибровку (процедуру, необходимую для начала работы с устройством, во время которой взор пациента должен зафиксироваться на стимулах, расположенных во всех квадрантах изучаемого зрительного поля) с левосторонними стимулами, представляют собой группу «риска» и требуют дополнительного обследования. В ряде работ было показано, что пациенты с неглектом медленнее инициируют саккады влево, имеют меньше фиксации и меньше сканируют пространство в левой части зрительной сцены, [75, 78, 79], вместо одной большой саккады влево совершают ряд укороченных гипометричных саккад [80], а также имеют нарушенный процесс одновременного программирования саккад [81]. При этом при сканировании правой части пространства у пациентов с неглектом выявляются повторяющиеся «персеверационные» рефиксации [77], а сам процесс сканирования правого полупространства хаотичен, что отражает нарушения в пространственной памяти [75].

В 2020 г. в работе В.С. Kaufmann и соавт. [76] была продемонстрирована не только возможность использования метода айтрекинга для определения пациентов с неглектом среди лиц, перенёсших инсульт и находящихся в подостром состоянии, но и его бóльшая чувствительность в сравнении с традиционными бланковыми методами (любым из методов или их сочетаниями). Исследователи показали, что у пациентов с неглектом при рассмотрении зрительной сцены геометрический центр позиции взгляда смещается по горизонтали, в среднем на 4 угловых градуса вправо (у здоровых людей и пациентов без неглекта этот центр приходится ровно на середину изображения), и степень этого смещения зависит от тяжести неглекта. В 2019 г. в работе J.N. Upshaw с соавт. [54] было показано преимущество метода айтрекинга над бланковой и компьютеризированной формой Apple test при определении типов неглекта (эго- и аллоцентрического).

Нашим авторским коллективом в пилотном исследовании было продемонстрировано использование метода айтрекинга в определении неглекта у постинсультных больных [82]. Была разработана окуломоторная поисковая парадигма, ряд критериев которой численно со статистической достоверностью показал нарушения обработки зрительной информации у таких пациентов по сравнению с возрастной нормой и позволил выявить симптомы неглекта у большей части больных по сравнению с Apple test.

В последнее время появляются также исследования, свидетельствующие о возможности применения метода айтрекинга при обследовании пациентов с неглектом и пациентов с гемианопсией [80, 83]. В работе J. Fellrath и R. Ptak [80] показаны различные паттерны фиксации у пациентов с гемианопсией и неглектом при рассмотрении зрительной сцены: у пациентов с неглектом фиксации в левом полуполе зрения располагались аномально в зависимости от неоднородности свойств изображения,

пик плотности всех фиксации был смещён вправо, а амплитуда саккад билатерально укорочена, в то время как у пациентов с гемианопсией наблюдались паттерны, характерные для здоровых респондентов. Это отражает представления о том, что пространственный градиент внимания именно у пациентов с неглектом смещён вправо, а также сжат в латеральном направлении.

К недостаткам методики относят отсутствие оценки персонального пространства, ограничение пациентов по остроте зрения (подходят только пациенты, не носящие очки) и недостаточное число исследований для однозначного определения валидности метода.

## Виртуальная реальность и электроэнцефалография

Относительно новым методом диагностики неглекта является виртуальная реальность. Виртуальная реальность создаёт для пациента интерактивную среду для пространственного сканирования, в то время как информация о его движении головы, паттерне рассматривания и ориентировании регистрируется и анализируется [84]. В 2021 г. в работе V.I. Hougaard с соавт. [85] была продемонстрирована возможность интеграции метода айтрекинга в шлем виртуальной реальности и определения критериев количественной оценки движений головы, глаз и фиксации взгляда для выявления симптомов неглекта. К недостаткам метода можно отнести опять-таки изучение только периперсонального пространства, индивидуальную реакцию и зрительно-пространственное восприятие каждого пациента виртуальной среды [19], вестибулярные эффекты, а также малое число работ для подтверждения валидности и надёжности метода.

В 2022 г. Y. Zhang с соавт. [86] продемонстрировали электроэнцефалографические корреляты зрительно-пространственного неглекта: у пациентов с неглектом наблюдалось повышение мощности медленных дельта и тета-ритмов вместе со снижением мощности быстрых альфа- и бета-ритмов, повышенное соотношение мощности дельта к альфе ( $\delta/\alpha$  ratio), а также асимметричное распределение альфа-ритма по сравнению с другими постинсультными больными. К недостаткам метода можно отнести его очевидную высокую трудоёмкость проведения и анализа по сравнению с другими, новизну методики и небольшое количество исследований.

Несмотря на всё разнообразие вышеперечисленных тестов и методик (а возможно, и благодаря им), трудно определить, какой тест обладает большей специфичностью, учитывая, что не существует золотого стандарта для скрининга пространственного игнорирования или методов диагностики [74, 87]. Исследователи-клиницисты настоятельно рекомендуют проводить диагностику более чем одним тестом [47]. Кроме того, в работе 2022 г. C. Stein с соавт. [88] было показано, что различные нейропсихологические тесты, направленные на выявление разных аспектов синдрома неглекта, связаны с определёнными зонами гипоперфузии сосудов в разных областях

коры, что может являться ценным клиническим признаком в острой фазе инсульта. Однако в работе L. Evald с соавт. [5] сообщается, что в Дании в 90% случаев клиницисты выявляли неглект, используя субъективный метод клинического наблюдения, и только в половине случаев — бланковые методики, следовательно, распространённость методов количественной оценки, а тем более использование нескольких методов оценки всё ещё остаётся недостаточно высоким.

В дополнение, многим инструментам оценки может не хватать чувствительности для выявления лёгкого или умеренного игнорирования [89], в результате чего пациенты остаются не до конца диагностированными. Важно также соблюдать использование разных методик диагностики и коррекции пациентов, поскольку на повторном тестировании пациент может продемонстрировать хорошие результаты только из-за уже выученной в процессе коррекции компенсаторной стратегии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гомонимная гемианопсия и неглект представляют собой частые зрительно-пространственные постинсультные расстройства, однако вопрос дифференциального диагноза и последующей реабилитации остро стоит перед сотрудниками медицинского учреждения, которые далеко не всегда информированы о методах их диагностики и коррекции. Как видно из настоящего обзора, существует целый ряд диагностических методов, особенно разнообразный в случае выявления признаков неглекта, который широко освещён в отечественной и зарубежной литературе. Применение данных методов поможет специалистам клинической практики в постановке соответствующего диагноза, который подразумевает под собой последующие коррекционные процедуры.

Методы коррекции гомонимной гемианопсии и неглекта будут подробно изложены во второй части литературного обзора.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных — кандидатов наук в научном направлении «биологические науки» МК-3204.2022.1.4.

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

**Вклад авторов.** М.А. Шурупова, А.Д. Айзенштейн — поисково-аналитическая работа, написание, обсуждение и редактирование текста статьи; Г.Е. Иванова — обсуждение и редактирование текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

## ADDITIONAL INFORMATION

**Funding source.** The work was supported by the grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists — candidates of sciences in the biological sciences, GrantNr: MK-3204.2022.1.4.

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

**Author contribution.** M.A. Shurupova, A.D. Aizenstein — search and analytical work, writing, discussion and editing the text of the article, G.E. Ivanova — discussion and editing the text of the article. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Rowe F., Brand D., Jackson C.A., et al. Visual impairment following stroke: do stroke patients require vision assessment? // *Age Ageing*. 2009. Vol. 38. P. 188–93. doi: 10.1093/ageing/afn230
- Osawa A., Maeshima S. Unilateral spatial neglect due to stroke. In: Dehkharghani S., editor. *Stroke* [Internet]. Brisbane (AU): Exon Publications, 2021. Chapter 7. doi: 10.36255/exonpublications.stroke.spatialneglect.2021
- Русских О.А., Перевощиков П.В., Бронников В.А. Синдром игнорирования (неглекта) у постинсультных пациентов и возможности нейропсихологической реабилитации // *Материалы VII Сибирского психологического форума «Комплексные исследования человека: психология»*; Томск, 28–29 ноября 2017 г. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2017. С. 127–130.
- Bolognini N., Vallar G. Hemianopia, spatial neglect, and their multisensory rehabilitation. In: Sathian K., Ramachandran V.S., editors. *Multisensory perception*. Cambridge, MA, USA: Academic Press, 2020. P. 423–447. doi: 10.1016/B978-0-12-812492-5.00019-X
- Evald L., Wilms I., Nordfang M. Assessment of spatial neglect in clinical practice: a nationwide survey // *Neuropsychol Rehabil*. 2021. Vol. 31, N 9. P. 1374–1389. doi: 10.1080/09602011.2020.1778490
- Pula J.H., Yuen C.A. Eyes and stroke: the visual aspects of cerebrovascular disease // *Stroke Vasc Neurol*. 2017. Vol. 2, N 4. P. 210–220. doi: 10.1136/svn-2017-000079
- Rowe F.J., Wright D., Brand D., et al. A prospective profile of visual field loss following stroke: prevalence, type, rehabilitation, and outcome // *Biomed Res Int*. 2013. Vol. 2013. P. 719096. doi: 10.1155/2013/719096
- Glisson C.C. Visual loss due to optic chiasm and retrochiasm visual pathway lesions // *Continuum*. 2014. Vol. 20. P. 907–921. doi: 10.1212/01.CON.0000453312.37143.d2
- Heilman K.M., Valenstein E. Mechanisms underlying hemispatial neglect // *Ann Neurol*. 1979. Vol. 5, N 2. P. 166–170. doi: 10.1002/ana.410050210
- Доброхотова Т.А. *Нейропсихиатрия*. Изд. 2-е, испр. Москва: Бином, 2016. 304 с.
- Hedna V.S., Bodhit A.N., Ansari S., et al. Hemispheric differences in ischemic stroke: is left-hemisphere stroke more common? // *J Clin Neurol*. 2013. Vol. 9, N 2. P. 97–102. doi: 10.3988/jcn.2013.9.2.97
- Buxbaum L.J., Ferraro M.K., Veramonti T., et al. Hemispatial neglect: subtypes, neuroanatomy, and disability // *Neurology*. 2004. Vol. 62, N 5. P. 749–756. doi: 10.1212/01.wnl.0000113730.73031.f4
- Chen P., Hreha K., Kong Y., Barrett A.M. Impact of spatial neglect on stroke rehabilitation: evidence from the setting of an inpatient rehabilitation facility // *Arch Phys Med Rehabil*. 2015. Vol. 96, N 8. P. 1458–1466. doi: 10.1016/j.apmr.2015.03.019
- Kortte K., Hillis A.E. Recent advances in the understanding of neglect and anosognosia following right hemisphere stroke // *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2009. Vol. 9, N 6. P. 459–465. doi: 10.1007/s11910-009-0068-8
- Григорьева В.Н., Ковязина М.С., Тхостов А.Ш. Когнитивная реабилитация больных с инсультом и черепно-мозговой травмой. 2-е изд. Нижний Новгород: Изд-во Нижегород. гос. мед. акад., 2013. 324 с.
- Semrau J., Wang J., Herter T., et al. Relationship between visuospatial neglect and kinesthetic deficits after stroke // *Neurorehabil Neural Repair*. 2015. Vol. 29. P. 318–328. doi: 10.1177/1545968314545173
- Spreij L.A., Ten Brink A.F., Visser-Meily J.M., Nijboer T.C. Simulated driving: the added value of dynamic testing in the assessment of visuo-spatial neglect after stroke // *J Neuropsychol*. 2020. Vol. 14, N 1. P. 28–45. doi: 10.1111/jnp.12172
- Bellas D.N., Novelly R.A., Eskenazi B., Wasserstein J. Unilateral displacement in the olfactory sense: a manifestation of the unilateral neglect syndrome // *Cortex*. 1988. Vol. 24, N 2. P. 267–275. doi: 10.1016/s0010-9452(88)80035-2
- Ting D.S., Pollock A., Dutton G.N., et al. Visual neglect following stroke: current concepts and future focus // *Surv Ophthalmol*. 2011. Vol. 56, N 2. P. 114–134. doi: 10.1016/j.survophthal.2010.08.001
- Bisiach E., Geminiani G., Berti A., Rusconi M.L. Perceptual and premotor factors of unilateral neglect // *Neurology*. 1990. Vol. 40. P. 1278. doi: 10.1212/WNL.40.8.1278
- Rode G., Pagliari C., Huchon L., et al. Semiology of neglect: an update // *Ann Phys Rehabil Med*. 2017. Vol. 60, N 3. P. 177–185. doi: 10.1016/j.rehab.2016.03.003
- Barrett A.M., Goedert K.M., Carter A.R., Chaudhari A. Spatial neglect treatment: the brain's spatial-motor Aiming systems // *Neuropsychol Rehabil*. 2022. Vol. 32, N 5. P. 662–688. doi: 10.1080/09602011.2020.1862678
- Rode G., Cotton F., Revol P., et al. Representation and disconnection in imaginal neglect // *Neuropsychologia*. 2010. Vol. 48. P. 2903–2911. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.05.032
- Spaccavento S., Cellamare F., Falcone R., et al. Effect of subtypes of neglect on functional outcome in stroke patients // *Ann Phys Rehabil Med*. 2017. Vol. 60, N 6. P. 376–381. doi: 10.1016/j.rehab.2017.07.245
- Ten Brink A.F., Biesbroek J.M., Oort Q., et al. Peripersonal and extrapersonal visuospatial neglect in different frames of reference: a brain lesion-symptom mapping study // *Behav Brain Res*. 2019. Vol. 1, N 356. P. 504–515. doi: 10.1016/j.bbr.2018.06.010
- Karnath H.O., Rorden C. The anatomy of spatial neglect // *Neuropsychologia*. 2012. Vol. 50, N 6. P. 1010–1017. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.06.027

27. Montedoro V., Alsamour M., Dehem S., et al. Robot diagnosis test for egocentric and allocentric hemineglect // *Arch Clin Neuropsychol*. 2019. Vol. 34, N 4. P. 481–494. doi: 10.1093/arclin/acy062
28. Григорьева В.Н., Сорокина Т.А. Анозогнозия у больных острым полушарным ишемическим инсультом // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2016. Т. 8, № 2. С. 31–35. doi: 10.14412/2074-2711-2016-2-31-35
29. Никитаева Е. В. Опыт организации психологического сопровождения пациентов с синдромом неглекта в остром периоде ишемического инсульта // *Бюллетень медицинских Интернет-конференций*. 2020. Т. 10, №4. С. 130–132.
30. Bartolomeo P. *Attention disorders after right brain damage: living in halved worlds*. Springer-Verlag London, 2014.
31. Никитаева Е.В. *Нейропсихологическая реабилитация пациентов с синдромом неглекта (синдромом одностороннего зрительно-пространственного игнорирования): методическое пособие*. Казань: Бук, 2021. 50 с.
32. Posner M.I., Rothbart M.K., Ghassemzadeh H. Restoring attention networks // *Yale J Biol Med*. 2019. Vol. 92, N 1. P. 139–143.
33. Corbetta M., Shulman G.L. Spatial neglect and attention networks // *Annu Rev Neurosci*. 2011. Vol. 34. P. 569–599. doi: 10.1146/annurev-neuro-061010-113731
34. Purves D., Augustine G.J., Fitzpatrick D., et al., editors. *Neuroscience*. 3rd edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates, 2004. 835 p.
35. Sperber C., Clausen J., Benke T., Kamath H.O. The anatomy of spatial neglect after posterior cerebral artery stroke // *Brain Commun*. 2020. Vol. 2, N 2. P. fcaa163. doi: 10.1093/braincomms/fcaa163
36. Chechlacz M., Rotshtein P., Bickerton W.L., et al. Separating neural correlates of allocentric and egocentric neglect: distinct cortical sites and common white matter disconnections // *Cogn Neuropsychol*. 2010. Vol. 27, N 3. P. 277–303. doi: 10.1080/02643294.2010.519699
37. Rousseaux M., Allart E., Bernati T., Saj A. Anatomical and psychometric relationships of behavioral neglect in daily living // *Neuropsychologia*. 2015. Vol. 70. P. 64–70. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.02.011
38. Zhang W.N., Pan Y.H., Wang X.Y., Zhao Y. A prospective study of the incidence and correlated factors of post-stroke depression in China // *PLoS One*. 2013. Vol. 8, N 11. P. e78981. doi: 10.1371/journal.pone.0078981
39. Zihl J. *Rehabilitation of visual disorders after brain injury*. 2nd ed. (Neuropsychological rehabilitation: a modular handbook). University of Glasgow, UK, 2011. 288 p.
40. Nijboer T.C., Kollen B.J., Kwakkel G. Time course of visuospatial neglect early after stroke: a longitudinal cohort study // *Cortex*. 2013. Vol. 49, N 8. P. 2021–2027. doi: 10.1016/j.cortex.2012.11.006
41. Ringman J.M., Saver J.L., Woolson R.F., et al. Frequency, risk factors, anatomy, and course of unilateral neglect in an acute stroke cohort // *Neurology*. 2004. Vol. 63, N 3. P. 468–474. doi: 10.1212/01.wnl.0000133011.10689.ce
42. Kerkhoff G., Rode G., Clarke S. Treating neurovisual deficits and spatial neglect. In: Platz T., editor. *Clinical pathways in stroke rehabilitation*. Springer, Cham, 2021. P. 191–217. doi: 10.1007/978-3-030-58505-1
43. Saj A., Honoré J., Braem B., et al. Time since stroke influences the impact of hemianopia and spatial neglect on visual-spatial tasks // *Neuropsychology*. 2012. Vol. 26, N 1. P. 37–44. doi: 10.1037/a0025733
44. Pouget M.C., Lévy-Bencheton D., Prost M., et al. Acquired visual field defects rehabilitation: critical review and perspectives // *Ann Phys Rehabil Med*. 2012. Vol. 55, N 1. P. 53–74. (In English, French). doi: 10.1016/j.rehab.2011.05.006
45. World Health Organization (WHO). *International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)*. Geneva, Switzerland: WHO, 2001.
46. Chen C.S., Lee A.W., Clarke G., et al. Vision-related quality of life in patients with complete homonymous hemianopia post stroke // *Top Stroke Rehabil*. 2009. Vol. 16. P. 445–453. doi: 10.1310/tsr1606-445
47. Bosma M.S., Nijboer T.C., Caljouw M.A., Achterberg W.P. Impact of visuospatial neglect post-stroke on daily activities, participation and informal caregiver burden: A systematic review // *Ann Phys Rehabil Med*. 2020. Vol. 63, N 4. P. 344–358. doi: 10.1016/j.rehab.2019.05.006
48. Dehn L.B., Piefke M., Toepper M., et al. Cognitive training in an everyday-like virtual reality enhances visual-spatial memory capacities in stroke survivors with visual field defects // *Top Stroke Rehabil*. 2020. Vol. 27, N 6. P. 442–452. doi: 10.1080/10749357.2020.1716531
49. Sand K.M., Wilhelmsen G., Naess H., et al. Vision problems in ischaemic stroke patients: effects on life quality and disability // *Eur J Neurol*. 2016. Vol. 23. P. 1–7. doi: 10.1111/ene.2016.23.issue-S1
50. Chen P., Fyffe D.C., Hreha K. Informal caregivers' burden and stress in caring for stroke survivors with spatial neglect: an exploratory mixed-method study // *Top Stroke Rehabil*. 2017. Vol. 24. P. 24–33. doi: 10.1080/10749357.2016.1186373
51. Ameriso S.F. Return to work in young adults with stroke: another catastrophe in a catastrophic disease // *Neurology*. 2018. Vol. 91, N 20. P. 905–906. doi: 10.1212/WNL.0000000000006495
52. Appelros P., Karlsson G.M., Seiger A., Nydevik I. Prognosis for patients with neglect and anosognosia with special reference to cognitive impairment // *J Rehabil Med*. 2003. Vol. 35, N 6. P. 254–258. doi: 10.1080/16501970310012455
53. Bickerton W.L., Samson D., Williamson J., Humphreys G.W. Separating forms of neglect using the Apples Test: validation and functional prediction in chronic and acute stroke // *Neuropsychology*. 2011. Vol. 25, N 5. P. 567–580. doi: 10.1037/a0023501
54. Upshaw J.N., Leitner D.W., Rutherford B.J., et al. Allocentric versus egocentric neglect in stroke patients: a pilot study investigating the assessment of neglect subtypes and their impacts on functional outcome using eye tracking // *J Int Neuropsychol Soc*. 2019. Vol. 25, N 5. P. 479–489. doi: 10.1017/S1355617719000110
55. Müller-Oehring E.M., Kasten E., Poppel D.A., et al. Neglect and hemianopia superimposed // *J Clin Exp Neuropsychol*. 2003. Vol. 25, N 8. P. 1154–1168. doi: 10.1076/jcen.25.8.1154.16727
56. Nyffeler T., Paladini R.E., Hopfner S., et al. Contralesional trunk rotation dissociates real vs. pseudo-visual field defects due to visual neglect in stroke patients // *Front Neurol*. 2017. Vol. 8. P. 411. doi: 10.3389/fneur.2017.00411
57. Лебедев В.И., Андреева М.А. Синдром игнорирования в клинике инфаркта мозга в правом каротидном бассейне и особенности его диагностики // *Материалы дистанционной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Инновации в медицине и фармации»*; Минск, 10 октября – 17 ноября 2016 г. Минск: Белорусский государственный медицинский университет, 2016. С. 221–226.
58. Schaadt A.K., Kerkhoff G. Vision and visual processing deficits. In: Husain M., Schott J., editors. *Oxford textbook of cognitive neurology & dementia*. Oxford: Oxford University Press, 2010. P. 147–160.

59. Làdavas E., Tosatto L., Bertini C. Behavioural and functional changes in neglect after multisensory stimulation // *Neuropsychol Rehabil.* 2022. Vol. 32, N 5. P. 662–689. doi: 10.1080/09602011.2020.1786411
60. Хасанов И.А., Богданов Э.И. Ишемический инсульт в бассейне задних мозговых артерий: проблемы диагностики, лечения // *Практическая медицина.* 2013. Т. 1, № 1-2. С. 130–134.
61. Ковальчук В.В., Хайбуллин Т.Н., Галкин А.С., и др. Особенности коррекции синдрома неглекта при осуществлении двигательной реабилитации пациентов с полушарным инсультом // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2019. Т. 119, № 3. С. 29–38. doi: 10.17116/jnevro201911903129
62. Kerkhoff G., Schindler I. Hemineglect versus hemianopsie. Hinweise zur differentialdiagnose [Hemi-neglect versus hemianopia. Differential diagnosis] // *Fortschr Neurol Psychiatr.* 1997. Vol. 65, N 6. P. 278–289. (In German). doi: 10.1055/s-2007-996332
63. Geeraerts S., Lafosse C., Vandebussche E., Verfaillie K. A psychophysical study of visual extinction: ipsilesional distractor interference with contralesional orientation thresholds in visual hemineglect patients // *Neuropsychologia.* 2005. Vol. 43, N 4. P. 530–541. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2004.07.01
64. Bartolomeo P. Motor neglect // *Cortex.* 2021. Vol. 136. P. 159. doi: 10.1016/j.cortex.2020.12.009
65. Facchin A., Vallar G., Daini R. The Brentano Illusion Test (BRIT): an implicit task of perceptual processing for the assessment of visual field defects in neglect patients // *Neuropsychol Rehabil.* 2021. Vol. 31, N 1. P. 39–56. doi: 10.1080/09602011.2019.1655067
66. Kerkhoff G., Schenk T. Line bisection in homonymous visual field defects — recent findings and future directions // *Cortex.* 2011. Vol. 47, N 1. P. 53–58. doi: 10.1016/j.cortex.2010.06.014
67. Kavcic V., Triplett R.L., Das A., et al. Role of inter-hemispheric transfer in generating visual evoked potentials in V1-damaged brain hemispheres // *Neuropsychologia.* 2015. Vol. 68. P. 82–93. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.01.003
68. Szalados R., Leff A.P., Doogan C.E. The clinical effectiveness of Eye-Search therapy for patients with hemianopia, neglect or hemianopia and neglect // *Neuropsychol Rehabil.* 2021. Vol. 31, N 6. P. 971–982. doi: 10.1080/09602011.2020.1751662
69. Hasegawa C., Hirono N., Yamadori A. Discrepancy in unilateral spatial neglect between daily living and neuropsychological test situations: a single case study // *Neurocase.* 2011. Vol. 17, N 6. P. 518–526. doi: 10.1080/13554794.2010.547506
70. Deouell L.Y., Sacher Y., Soroker N. Assessment of spatial attention after brain damage with a dynamic reaction time test // *J Int Neuropsychol Soc.* 2005. Vol. 11, N 6. P. 697–707. doi: 10.1017/S1355617705050824
71. Appelros P., Nydevik I., Karlsson G.M., et al. Recovery from unilateral neglect after right-hemisphere stroke // *Disabil Rehabil.* 2004. Vol. 26, N 8. P. 471–477. doi: 10.1080/09638280410001663058
72. Буслович Е.В., Кулеш А.А., Семашкова Т.Д. Изучение психометрического статуса методики диагностики симптома игнорирования // *Социальные и гуманитарные науки: теория и практика.* 2018. Т. 1, № 2. С. 764–774.
73. Wilson B., Cockburn J., Halligan P. Development of a behavioral test of visuospatial neglect // *Arch Phys Med Rehabil.* 1987. Vol. 68, N 2. P. 98–102.
74. Azouvi P. The ecological assessment of unilateral neglect // *Ann Phys Rehabil Med.* 2017. Vol. 60, N 3. P. 186–190. doi: 10.1016/j.rehab.2015.12.005
75. Kortman B., Nicholls K. Assessing for unilateral spatial neglect using eye-tracking glasses: a feasibility study // *Occup Ther Health Care.* 2016. Vol. 30, N 4. P. 344–355. doi: 10.1080/07380577.2016.1208858
76. Kaufmann B.C., Cazzoli D., Pflugshaupt T., et al. Eyetracking during free visual exploration detects neglect more reliably than paper-pencil tests // *Cortex.* 2020. Vol. 129. P. 223–235. doi: 10.1016/j.cortex.2020.04.021
77. Paladini R.E., Wyss P., Kaufmann B.C., et al. Re-fixation and perseveration patterns in neglect patients during free visual exploration // *Eur J Neurosci.* 2019. Vol. 49, N 10. P. 1244–1253. doi: 10.1111/ejn.14309
78. Behrmann M., Watt S., Black S.E., Barton J.J. Impaired visual search in patients with unilateral neglect: an oculographic analysis // *Neuropsychologia.* 1997. Vol. 35, N 11. P. 1445–1458. doi: 10.1016/s0028-3932(97)00058-4
79. Walle K.M., Nordvik J.E., Becker F., et al. Unilateral neglect post stroke: eye movement frequencies indicate directional hypokinesia while fixation distributions suggest compensational mechanism // *Brain Behav.* 2019. Vol. 9, N 1. P. e01170. doi: 10.1002/brb3.1170
80. Fellrath J., Ptak R. The role of visual saliency for the allocation of attention: evidence from spatial neglect and hemianopia // *Neuropsychologia.* 2015. Vol. 73. P. 70–81. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.05.003
81. Ptak R., Schnider A., Müri R. Bilateral impairment of concurrent saccade programming in hemispatial neglect // *Neuropsychologia.* 2010. Vol. 48, N 4. P. 880–886. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.11.005
82. Shurupova M., Lizunkova K., Aizenshtein A., et al. Using eye-tracking techniques for oculomotor signs of neglect // *J Eye Movement Res.* 2022. Vol. 15, N 5. P. 143. doi: 10.16910/jemr.15.5.2
83. Chokron S., Peyrin C., Perez C. Ipsilesional deficit of selective attention in left homonymous hemianopia and left unilateral spatial neglect // *Neuropsychologia.* 2019. Vol. 128. P. 305–314. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.013
84. Sidenmark L., Gellersen H. Eye, head and torso coordination during gaze shifts in virtual reality // *ACM Trans Comput Hum Interact.* 2019. Vol. 27. P. 1–40. doi: 10.1145/3361218
85. Hougaard B.I., Knoche H., Jensen J., Evald L. Spatial neglect midline diagnostics from virtual reality and eye tracking in a free-viewing environment // *Front Psychol.* 2021. Vol. 12. P. 742445. doi: 10.3389/fpsyg.2021.742445
86. Zhang Y., Ye L., Cao L., Song W. Resting-state electroencephalography changes in poststroke patients with visuospatial neglect // *Front Neurosci.* 2022. Vol. 16. P. 974712. doi: 10.3389/fnins.2022.974712
87. Ricci R., Salatino A., Garbarini F., et al. Effects of attentional and cognitive variables on unilateral spatial neglect // *Neuropsychologia.* 2016. Vol. 92. P. 158–166. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2016.05.004
88. Stein C., Bunker L., Chu B., et al. Various tests of left neglect are associated with distinct territories of hypoperfusion in acute stroke // *Brain Commun.* 2022. Vol. 4, N 2. P. fcac064. doi: 10.1093/braincomms/fcac064
89. Bonato M., Priftis K., Umiltà C., Zorzi M. Computer-based attention-demanding testing unveils severe neglect in apparently intact patients // *Behav Neurol.* 2013. Vol. 26, N 3. P. 179–81. doi: 10.3233/BEN-2012-129005

## REFERENCES

1. Rowe F, Brand D, Jackson CA, et al. Visual impairment following stroke: do stroke patients require vision assessment? *Age Ageing*. 2009;38:188–93. doi: 10.1093/ageing/afn230
2. Osawa A, Maeshima S. Unilateral spatial neglect due to stroke. In: Dehkharghani S, editor. *Stroke* [Internet]. Brisbane (AU): Exon Publications; 2021. Chapter 7. doi: 10.36255/exonpublications.stroke.spatialneglect.2021
3. Russkih OA, Perevoshnikov PV, Bronnikov VA. The syndrome of neglect (agnosia) in post-stroke patients and possibilities of neuropsychological rehabilitation. In: Proceedings of the VII Siberian Psychological Forum “Complex Human Research: Psychology”; Tomsk, 28–29 November 2017. Tomsk: Izdatel'skii Dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta; 2017. P. 127–130. (In Russ).
4. Bolognini N, Vallar G. Hemianopia, spatial neglect, and their multisensory rehabilitation. In: Sathian K, Ramachandran VS, editors. *Multisensory Perception*. Cambridge, MA, USA: Academic Press; 2020. P. 423–447. doi: 10.1016/B978-0-12-812492-5.00019-X
5. Evald L, Wilms I, Nordfang M. Assessment of spatial neglect in clinical practice: a nationwide survey. *Neuropsychol Rehab*. 2021;31(9):1374–1389. doi: 10.1080/09602011.2020.1778490
6. Pula JH, Yuen CA. Eyes and stroke: the visual aspects of cerebrovascular disease. *Stroke Vasc Neurol*. 2017;2(4):210–220. doi: 10.1136/svn-2017-000079
7. Rowe FJ, Wright D, Brand D, et al. A prospective profile of visual field loss following stroke: prevalence, type, rehabilitation, and outcome. *Biomed Res Int*. 2013;2013:719096. doi: 10.1155/2013/719096
8. Glisson CC. Visual loss due to optic chiasm and retrochiasm visual pathway lesions. *Continuum*. 2014;20:907–921. doi: 10.1212/01.CON.0000453312.37143.d2
9. Heilman KM, Valenstein E. Mechanisms underlying hemispatial neglect. *Ann Neurol*. 1979;5(2):166–170. doi: 10.1002/ana.410050210
10. Dobrohotova TA. *Neuropsychiatry*. 2nd revised and updated. Moscow: Binom; 2016. 304 p. (In Russ).
11. Hedna VS, Bodhit AN, Ansari S, et al. Hemispheric differences in ischemic stroke: is left-hemisphere stroke more common? *J Clin Neurol*. 2013;9(2):97–102. doi: 10.3988/jcn.2013.9.2.97
12. Buxbaum LJ, Ferraro MK, Veramonti T, et al. Hemispatial neglect: Subtypes, neuroanatomy, and disability. *Neurology*. 2004;62(5):749–756. doi: 10.1212/01.wnl.0000113730.73031.f4
13. Chen P, Hreha K, Kong Y, Barrett AM. Impact of spatial neglect on stroke rehabilitation: evidence from the setting of an inpatient rehabilitation facility. *Arch Phys Med Rehabil*. 2015;96(8):1458–1466. doi: 10.1016/j.apmr.2015.03.019
14. Kortte K, Hillis AE. Recent advances in the understanding of neglect and anosognosia following right hemisphere stroke. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2009;9(6):459–465. doi: 10.1007/s11910-009-0068-8
15. Grigoreva VN, Kovyazina MS, Thostov ASH. Cognitive rehabilitation of patients with stroke and traumatic brain injury. 2nd ed. Nizhnii Novgorod: Izdatel'stvo Nizhegorodskoi gosudarstvennoi meditsinskoi akademii; 2013. 324 p. (In Russ).
16. Semrau J, Wang J, Herter T, et al. Relationship between visuospatial neglect and kinesthetic deficits after stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2015;29:318–328. doi: 10.1177/1545968314545173
17. Spreij LA, Ten Brink AF, Visser-Meily JM, Nijboer TC. Simulated driving: the added value of dynamic testing in the assessment of visuo-spatial neglect after stroke. *J Neuropsychol*. 2020;14(1):28–45. doi: 10.1111/jnp.12172
18. Bellas DN, Novelty RA, Eskenazi B, Wasserstein J. Unilateral displacement in the olfactory sense: a manifestation of the unilateral neglect syndrome. *Cortex*. 1988;24(2):267–275. doi: 10.1016/s0010-9452(88)80035-2
19. Ting DS, Pollock A, Dutton GN, et al. Visual neglect following stroke: current concepts and future focus. *Surv Ophthalmol*. 2011;56(2):114–134. doi: 10.1016/j.survophthal.2010.08.001
20. Bisiach E, Geminiani G, Berti A, Rusconi ML. Perceptual and premotor factors of unilateral neglect. *Neurology*. 1990;40:1278. doi: 10.1212/WNL.40.8.1278
21. Rode G, Pagliari C, Huchon L, et al. Semiology of neglect: an update. *Ann Phys Rehabil Med*. 2017;60(3):177–185. doi: 10.1016/j.rehab.2016.03.003
22. Barrett AM, Goedert KM, Carter AR, Chaudhari A. Spatial neglect treatment: the brain's spatial-motor aiming systems. *Neuropsychol Rehabil*. 2022;32(5):662–688. doi: 10.1080/09602011.2020.1862678
23. Rode G, Cotton F, Revol P, et al. Representation and disconnection in imaginal neglect. *Neuropsychologia*. 2010;48:2903–2911. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.05.032
24. Spaccavento S, Cellamare F, Falcone R, et al. Effect of subtypes of neglect on functional outcome in stroke patients. *Ann Phys Rehabil Med*. 2017;60(6):376–381. doi: 10.1016/j.rehab.2017.07.245
25. Ten Brink AF, Biesbroek JM, Oort Q, et al. Peripersonal and extrapersonal visuospatial neglect in different frames of reference: a brain lesion-symptom mapping study. *Behav Brain Res*. 2019;1(356):504–515. doi: 10.1016/j.bbr.2018.06.010
26. Karnath HO, Rorden C. The anatomy of spatial neglect. *Neuropsychologia*. 2012;50(6):1010–1017. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.06.027
27. Montedoro V, Alsamour M, Dehem S, et al. Robot diagnosis test for egocentric and allocentric hemineglect. *Arch Clin Neuropsychol*. 2019;34(4):481–494. doi: 10.1093/arclin/acy062
28. Grigorieva VN, Sorokina TA. Anosognosia in patients with acute hemispheric ischemic stroke. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2016;8(2):31–35. (In Russ). doi: 10.14412/2074-2711-2016-2-31-35
29. Damulin IV, Ekusheva EV. Neuroplasticity processes after stroke. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2014;(3):69–74. (In Russ). doi: 10.14412/2074-2711-2014-3-69-74
30. Bartolomeo P. *Attention disorders after right brain damage: living in halved worlds*. Springer-Verlag London; 2014.
31. Nikitaeva EV. Neuropsychological rehabilitation of patients with neglecta syndrome (syndrome of unilateral visual-spatial ignoring): methodical manual. Kazan: Buk; 2021. 50 p. (In Russ).
32. Posner MI, Rothbart MK, Ghassemzadeh H. Restoring attention networks. *Yale J Biol Med*. 2019;92(1):139–143.
33. Corbetta M, Shulman GL. Spatial neglect and attention networks. *Annu Rev Neurosci*. 2011;34:569–599. doi: 10.1146/annurev-neuro-061010-113731
34. Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, et al., editors. *Neuroscience*. 3rd edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates; 2004. 835 p.
35. Sperber C, Clausen J, Benke T, Karnath HO. The anatomy of spatial neglect after posterior cerebral artery stroke. *Brain Commun*. 2020;2(2):fcaa163. doi: 10.1093/braincomms/fcaa163

36. Chechlacz M, Rotshtein P, Bickerton WL, et al. Separating neural correlates of allocentric and egocentric neglect: distinct cortical sites and common white matter disconnections. *Cogn Neuropsychol*. 2010;27(3):277–303. doi: 10.1080/02643294.2010.519699
37. Rousseaux M, Allart E, Bernati T, Saj A. Anatomical and psychometric relationships of behavioral neglect in daily living. *Neuropsychologia*. 2015;70:64–70. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.02.011
38. Zhang WN, Pan YH, Wang XY, Zhao Y. A prospective study of the incidence and correlated factors of post-stroke depression in China. *PLoS One*. 2013;8(11):e78981. doi: 10.1371/journal.pone.0078981
39. Zihl J. Rehabilitation of visual disorders after brain injury. 2nd ed. (Neuropsychological rehabilitation: a modular handbook). University of Glasgow, UK; 2011. 288 p.
40. Nijboer TC, Kollen BJ, Kwakkel G. Time course of visuospatial neglect early after stroke: a longitudinal cohort study. *Cortex*. 2013;49(8):2021–2027. doi: 10.1016/j.cortex.2012.11.006
41. Ringman JM, Saver JL, Woolson RF, et al. Frequency, risk factors, anatomy, and course of unilateral neglect in an acute stroke cohort. *Neurology*. 2004;63(3):468–474. doi: 10.1212/01.wnl.0000133011.10689.ce
42. Kerkhoff G, Rode G, Clarke S. Treating neurovisual deficits and spatial neglect. In: Platz T, editor. Clinical pathways in stroke rehabilitation. Springer, Cham; 2021. P. 191–217. doi: 10.1007/978-3-030-58505-1
43. Saj A, Honoré J, Braem B, et al. Time since stroke influences the impact of hemianopia and spatial neglect on visual-spatial tasks. *Neuropsychology*. 2012;26(1):37–44. doi: 10.1037/a0025733
44. Pouget MC, Lévy-Bencheton D, Prost M, et al. Acquired visual field defects rehabilitation: critical review and perspectives. *Ann Phys Rehabil Med*. 2012;55(1):53–74. (In English, French). doi: 10.1016/j.rehab.2011.05.006
45. World Health Organization (WHO). International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF). Geneva, Switzerland: WHO; 2001.
46. Chen CS, Lee AW, Clarke G, et al. Vision-related quality of life in patients with complete homonymous hemianopia post stroke. *Top Stroke Rehabil*. 2009;16:445–453. doi: 10.1310/tsr1606-445
47. Bosma MS, Nijboer TC, Caljouw MA, Achterberg WP. Impact of visuospatial neglect post-stroke on daily activities, participation and informal caregiver burden: a systematic review. *Ann Phys Rehabil Med*. 2020;63(4):344–358. doi: 10.1016/j.rehab.2019.05.006
48. Dehn LB, Piefke M, Toepfer M, et al. Cognitive training in an everyday-like virtual reality enhances visual-spatial memory capacities in stroke survivors with visual field defects. *Top Stroke Rehabil*. 2020;27(6):442–452. doi: 10.1080/10749357.2020.1716531
49. Sand KM, Wilhelmsen G, Naess H, et al. Vision problems in ischaemic stroke patients: effects on life quality and disability. *Eur J Neurol*. 2016;23:1–7. doi: 10.1111/ene.2016.23.issue-S1
50. Chen P, Fyffe DC, Hreha K. Informal caregivers' burden and stress in caring for stroke survivors with spatial neglect: an exploratory mixed-method study. *Top Stroke Rehabil*. 2017;24:24–33. doi: 10.1080/10749357.2016.1186373
51. Ameriso SF. Return to work in young adults with stroke: another catastrophe in a catastrophic disease. *Neurology*. 2018;91(20):905–906. doi: 10.1212/WNL.0000000000006495
52. Appelros P, Karlsson GM, Seiger A, Nydevik I. Prognosis for patients with neglect and anosognosia with special reference to cognitive impairment. *J Rehabil Med*. 2003;35(6):254–258. doi: 10.1080/16501970310012455
53. Bickerton WL, Samson D, Williamson J, Humphreys GW. Separating forms of neglect using the Apples Test: validation and functional prediction in chronic and acute stroke. *Neuropsychology*. 2011;25(5):567–580. doi: 10.1037/a0023501
54. Upshaw JN, Leitner DW, Rutherford BJ, et al. Allocentric versus egocentric neglect in stroke patients: a pilot study investigating the assessment of neglect subtypes and their impacts on functional outcome using eye tracking. *J Int Neuropsychol Soc*. 2019;25(5):479–489. doi: 10.1017/S1355617719000110
55. Müller-Oehring EM, Kasten E, Poggel DA, et al. Neglect and hemianopia superimposed. *J Clin Exp Neuropsychol*. 2003;25(8):1154–1168. doi: 10.1076/j.cen.25.8.1154.16727
56. Nyffeler T, Paladini RE, Hopfner S, et al. Contralesional trunk rotation dissociates real vs. pseudo-visual field defects due to visual neglect in stroke patients. *Front Neurol*. 2017;8:411. doi: 10.3389/fneur.2017.00411
57. Lebedev VI, Andreeva MA. Ignoring syndrome in the clinic of a brain infarction in the right carotid basin and features of its diagnosis. In: Proceedings of the distance scientific and practical conference of students and young scientists “Innovations in medicine and pharmacy”; Minsk, October 10 – November 17, 2016. Minsk: Belarusian State Medical University; 2016. P. 221–226. (In Russ).
58. Schaadt AK, Kerkhoff G. Vision and visual processing deficits. In: Husain M, Schott J, editors. Oxford textbook of cognitive neurology & dementia. Oxford: Oxford University Press; 2010. P. 147–160.
59. Ládavas E, Tosatto L, Bertini C. Behavioural and functional changes in neglect after multisensory stimulation. *Neuropsychol Rehabil*. 2022;32(5):662–689. doi: 10.1080/09602011.2020.1786411
60. Hasanov IA, Bogdanov JI. Ischemic stroke in a system of posterior cerebral arteries: problems of diagnosis and treatment. *Medical Practice*. 2013;1(1-2):130–134. (In Russ).
61. Koval'chuk VV, Haybullin TN, Galkin AS, et al. Treatment of a neglect syndrome in movement rehabilitation of stroke patients. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2019;119(3):29–38. (In Russ). doi: 10.17116/jnevro201911903129
62. Kerkhoff G, Schindler I. Heminéglekt versus hemianopsie. Hinweise zur differentialdiagnose [Hemi-neglect versus hemianopia. Differential diagnosis]. *Fortschr Neurol Psychiatr*. 1997;65(6):278–289. (In German). doi: 10.1055/s-2007-996332
63. Geeraerts S, Lafosse C, Vandenbussche E, Verfaillie K. A psychophysical study of visual extinction: ipsilesional distractor interference with contralesional orientation thresholds in visual hemineglect patients. *Neuropsychologia*. 2005;43(4):530–541. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2004.07.01
64. Bartolomeo P. Motor neglect. *Cortex*. 2021;136:159. doi: 10.1016/j.cortex.2020.12.009
65. Facchin A, Vallar G, Daini R. The Brentano Illusion Test (BRIT): an implicit task of perceptual processing for the assessment of visual field defects in neglect patients. *Neuropsychol Rehabil*. 2021;31(1):39–56. doi: 10.1080/09602011.2019.1655067
66. Kerkhoff G, Schenk T. Line bisection in homonymous visual field defects — recent findings and future directions. *Cortex*. 2011;47(1):53–58. doi: 10.1016/j.cortex.2010.06.014
67. Kavcic V, Triplett RL, Das A, et al. Role of inter-hemispheric transfer in generating visual evoked potentials in V1-damaged brain hemispheres. *Neuropsychologia*. 2015;68:82–93. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.01.003

68. Szalados R, Leff AP, Doogan CE. The clinical effectiveness of eye-search therapy for patients with hemianopia, neglect or hemianopia and neglect. *Neuropsychol Rehabil.* 2021;31(6):971–982. doi: 10.1080/09602011.2020.1751662
69. Hasegawa C, Hirono N, Yamadori A. Discrepancy in unilateral spatial neglect between daily living and neuropsychological test situations: a single case study. *Neurocase.* 2011;17(6):518–526. doi: 10.1080/13554794.2010.547506
70. Deouell LY, Sacher Y, Soroker N. Assessment of spatial attention after brain damage with a dynamic reaction time test. *J Int Neuropsychol Soc.* 2005;11(6):697–707. doi: 10.1017/S1355617705050824
71. Appelros P, Nydevik I, Karlsson GM, et al. Recovery from unilateral neglect after right-hemisphere stroke. *Disabil Rehabil.* 2004;26(8):471–477. doi: 10.1080/09638280410001663058
72. Buslovich EV, Kulesh AA, Semashkova TD. Studying of method's psychometric status of diagnostics unilateral spatial neglect. *Social and humanitarian sciences: theory and practice.* 2018; 1(2):764–774. (In Russ).
73. Wilson B, Cockburn J, Halligan P. Development of a behavioral test of visuospatial neglect. *Arch Phys Med Rehabil.* 1987; 68(2):98–102.
74. Azouvi P. The ecological assessment of unilateral neglect. *Ann Phys Rehabil Med.* 2017;60(3):186–190. doi: 10.1016/j.rehab.2015.12.005
75. Kortman B, Nicholls K. Assessing for unilateral spatial neglect using eye-tracking glasses: a feasibility study. *Occup Ther Health Care.* 2016;30(4):344–355. doi: 10.1080/07380577.2016.1208858
76. Kaufmann BC, Cazzoli D, Pflugshaupt T, et al. Eyetracking during free visual exploration detects neglect more reliably than paper-pencil tests. *Cortex.* 2020;129:223–235. doi: 10.1016/j.cortex.2020.04.021
77. Paladini RE, Wyss P, Kaufmann BC, et al. Re-fixation and perseveration patterns in neglect patients during free visual exploration. *Eur J Neurosci.* 2019;49(10):1244–1253. doi: 10.1111/ejn.14309
78. Behrmann M, Watt S, Black SE, Barton JJ. Impaired visual search in patients with unilateral neglect: an oculographic analysis. *Neuropsychologia.* 1997;35(11):1445–1458. doi: 10.1016/s0028-3932(97)00058-4
79. Walle KM, Nordvik JE, Becker F, et al. Unilateral neglect post stroke: eye movement frequencies indicate directional hypokinesia while fixation distributions suggest compensational mechanism. *Brain Behav.* 2019;9(1):e01170. doi: 10.1002/brb3.1170
80. Fellrath J, Ptak R. The role of visual saliency for the allocation of attention: evidence from spatial neglect and hemianopia. *Neuropsychologia.* 2015;73:70–81. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.05.003
81. Ptak R, Schnider A, Müri R. Bilateral impairment of concurrent saccade programming in hemispatial neglect. *Neuropsychologia.* 2010;48(4):880–886. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.11.005
82. Shurupova M, Lizunkova K, Aizenshtein A, et al. Using eye-tracking techniques for oculomotor signs of neglect. *J Eye Movement Res.* 2022;15(5):143. doi: 10.16910/jemr.15.5.2
83. Chokron S, Peyrin C, Perez C. Ipsilesional deficit of selective attention in left homonymous hemianopia and left unilateral spatial neglect. *Neuropsychologia.* 2019;128:305–314. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.013
84. Sidenmark L, Gellersen H. Eye, head and torso coordination during gaze shifts in virtual reality. *ACM Trans Comput Hum Interact.* 2019;27:1–40. doi: 10.1145/3361218
85. Hougaard BI, Knoche H, Jensen J, Ewald L. Spatial neglect midline diagnostics from virtual reality and eye tracking in a free-viewing environment. *Front Psychol.* 2021;12:742445. doi: 10.3389/fpsyg.2021.742445
86. Zhang Y, Ye L, Cao L, Song W. Resting-state electroencephalography changes in poststroke patients with visuospatial neglect. *Front Neurosci.* 2022;16:974712. doi: 10.3389/fnins.2022.974712
87. Ricci R, Salatino A, Garbarini F, et al. Effects of attentional and cognitive variables on unilateral spatial neglect. *Neuropsychologia.* 2016;92:158–166. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2016.05.004
88. Stein C, Bunker L, Chu B, et al. Various tests of left neglect are associated with distinct territories of hypoperfusion in acute stroke. *Brain Commun.* 2022;4(2):fcac064. doi: 10.1093/braincomms/fcac064
89. Bonato M, Priftis K, Umiltà C, Zorzi M. Computer-based attention-demanding testing unveils severe neglect in apparently intact patients. *Behav Neurol.* 2013;26(3):179–181. doi: 10.3233/BEN-2012-129005

## ОБ АВТОРАХ

\* **Шурупова Марина Алексеевна**, к.б.н.;  
адрес: Россия, 117342, Москва,  
ул. Островитянова, д. 1, стр. 10;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2214-3187>;  
eLibrary SPIN: 7030-9954; e-mail: shurupova@fccps.ru

**Айзенштейн Алина Дмитриевна**;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7442-0903>;  
eLibrary SPIN: 6638-1549; e-mail: aizenshtein@fccps.ru

**Иванова Галина Евгеньевна**, д.м.н., профессор;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3180-5525>;  
eLibrary SPIN: 4049-4581; e-mail: reabilivanova@mail.ru

## AUTHORS' INFO

\* **Marina A. Shurupova**, Cand. Sci. (Biol.);  
address: 117342, Moscow,  
Ostrovityanova street, 1, build. 10, Russia;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2214-3187>;  
eLibrary SPIN: 7030-9954; e-mail: shurupova@fccps.ru

**Alina D. Aizenshtein**;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7442-0903>;  
eLibrary SPIN: 6638-1549; e-mail: aizenshtein@fccps.ru

**Galina E. Ivanova**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3180-5525>;  
eLibrary SPIN: 4049-4581; e-mail: reabilivanova@mail.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab111899>

# Биомаркеры инсульта: вопросы диагностики и медицинской реабилитации

Г.В. Пономарев<sup>1</sup>, А.В. Полякова<sup>2</sup>, М.В. Прохорова<sup>2</sup>, И.А. Вознюк<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup> Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт скорой помощи имени И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>3</sup> Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, Калининград, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

Инсульт — одна из ведущих причин смерти и инвалидности в мире. Профилактика инсульта, ранняя диагностика и лечение, а также адекватная реабилитация являются ключевыми направлениями для снижения показателей смертности и инвалидизации.

В современной клинической практике многие биохимические маркеры (биомаркеры), определяемые в крови, моче или цереброспинальной жидкости, активно используются для принятия терапевтических решений. Потенциальная польза биомаркеров инсульта при условии их совместного применения со стандартными методами исследования может быть в оптимизации дифференциальной диагностики типа инсульта, прогнозировании развития осложнений и персонализации реабилитационных мероприятий.

К настоящему времени в литературе описано множество потенциальных биомаркеров инсульта и комбинированных панелей, в том числе применяемых для оценки реабилитационных нагрузок. Среди них преобладают пептидные молекулы, связанные с повреждением нейронов и их аксонов, нейроглии, эндотелия сосудов головного мозга. Меньшее внимание уделяется белкам крови, липидам и другим метаболитам. Появляется всё больше убедительных данных о циркулирующих нуклеиновых кислотах как маркерах наступления и прогрессирования инсульта.

Несмотря на очевидную клиническую и экономическую перспективность биомаркеров инсульта, ни один из них до сих пор не применяется в рутинной клинической практике. Это может быть связано как с получаемыми субоптимальными показателями чувствительности и специфичности, так и сложностью организации и проведения трансляционных исследований. Актуальность биомаркеров инсульта в качестве методов контроля реабилитационных нагрузок также подчёркивает необходимость проведения дополнительных исследований.

**Ключевые слова:** ишемический инсульт; диагностика; реабилитация; биомаркеры; кровь.

## Как цитировать

Пономарев Г.В., Полякова А.В., Прохорова М.В., Вознюк И.А. Биомаркеры инсульта: вопросы диагностики и медицинской реабилитации // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2022. Т. 4, № 4. С. 259–270. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab111899>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab111899>

# Stroke biomarkers: Issues of diagnosis and medical rehabilitation

Grigory V. Ponomarev<sup>1</sup>, Alexandra V. Polyakova<sup>2</sup>, Mariia V. Prokhorova<sup>2</sup>, Igor A. Voznjouk<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup> I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Saint Petersburg institute of emergency care n.a. I.I. Dzhanelidze, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>3</sup> Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation

## ABSTRACT

Stroke is the main death and invalidization factor throughout the world. Stroke prevention, early diagnostics and treatment, as well as proper rehabilitation, are the key research directions to reduce death and invalidization numbers.

Current clinical practice widely uses many biochemical markers (biomarkers) found in blood, urine or cerebrospinal fluid to make therapeutic decisions. Used along with standard examination methods, the potential benefit of stroke biomarkers could be seen in stroke type differential diagnostics, complication development forecasting and rehabilitation events personification.

Many potential stroke biomarkers and combined panels, including those used for rehabilitation intensity estimation, are described in science literature. Among them prevail peptide molecules connected with the damage of neurons and their axons, neuroglia, brain vessels endothelium. Less attention is given to blood proteins, lipids and other metabolites. There appears more and more reliable data on circulating nucleic acids as stroke manifestation and progress markers.

Despite obvious clinical and economical biomarkers prospects, no studied stroke markers are used in everyday clinical practice. That could be caused by obtained suboptimal sensitivity and specificity indicators and difficulties with translational studies organization and conducting. Relevance of stroke biomarkers as a way to control rehabilitation intensity also highlights the necessity to additional researches.

**Keywords:** ischemic stroke; diagnostics; rehabilitation; biomarkers; blood.

## To cite this article

Ponomarev GV, Polyakova AV, Prokhorova MV, Voznjouk IA. Stroke biomarkers: Issues of diagnosis and medical rehabilitation. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2022;4(4):259–270. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab111899>

Received: 14.10.2022

Accepted: 31.10.2022

Published: 20.11.2022

## Список сокращений

ВМК — внутримозговое кровоизлияние

MPT — магнитно-резонансная томография

РНК — рибонуклеиновые кислоты

ми-РНК — микроРНК

AUC (area under the curve; pharmacokinetics) — площадь под кривой (фармакокинетика)

BNP (B-type natriuretic peptide) — натрийуретический пептид типа B

GFAP (glial fibrillary acidic protein) — глиальный фибриллярный кислый белок

MMP-9 (matrix metalloproteinase 9) — матриксная металлопротеиназа 9

NDKA (nucleoside-diphosphate kinase A) — нуклеозид дифосфаткиназа A

NfL (neurofilament light chain) — лёгкая цепь нейрофиламента

NMDA (N-methyl-D-aspartate) — тетрамерный рецептор N-метил-D-аспартата

PARK7 (Parkinson disease protein 7) — белок дегликаза DJ-1, известный также как протеин 7 болезни Паркинсона

UCH-L1 (ubiquitin carboxy-terminal hydrolase L1) — убиквитин карбокси-концевая гидролаза L1

## ВВЕДЕНИЕ

Инсульт остаётся второй по частоте причиной смерти и одной из ведущих причин инвалидности в мире. Предполагаемые глобальные затраты, связанные с инсультом, составляют более 721 млрд долларов США (0,66% мирового валового внутреннего продукта). С 1990 по 2019 г. частота случаев инсульта возросла на 70%, смертность от него — на 43%. При этом наибольшие медико-социальные и экономические последствия инсульта испытывают страны с низким и ниже среднего уровнем дохода. Профилактика, ранняя диагностика, лечение, а также адекватная реабилитация являются ключевыми направлениями для снижения бремени инсульта [1].

Диагноз инсульта основывается на клинической картине и данных нейровизуализационных методов исследования, таких как компьютерная томография, магнитно-резонансная томография (МРТ). Основная цель этих исследований — дифференцировать ишемический инсульт, составляющий более 80% всех инсультов, от внутримозгового кровоизлияния (ВМК), а также ряда инсультоподобных состояний, дебют и клиническая картина которых схожи с инсультом [2]. Тем не менее оба нейровизуализационных подхода имеют ограничения: компьютерная томография обладает высокой чувствительностью в отношении выявления ВМК, но низкой чувствительностью к острой ишемии, в особенности в первые часы от начала заболевания; МРТ имеет большую чувствительность к ишемическому инсульту, однако отличается меньшей доступностью и наличием определённых противопоказаний к исследованию. При этом любая задержка на этапе диагностики способствует снижению эффективности проводимых реперфузионных методов лечения [3, 4].

Разработка и внедрение в диагностический процесс лабораторных биомаркеров может иметь значительный клинический потенциал при их совместном применении со

стандартными методами обследования. В широком смысле под биомаркерами понимают не только биомолекулы, определяемые в ходе лабораторных методов исследования различных биологических жидкостей (слюна, кровь, моча, цереброспинальная жидкость), но также и особые паттерны функциональных и визуализирующих обследований. К молекулярным биомаркерам, о которых пойдёт речь в этом обзоре, относят различные метаболиты: белки тканей и крови, углеводы, липиды и рибонуклеиновые кислоты (РНК) [5].

В системе оказания помощи при инсульте биомаркеры могут быть применены для решения следующих важных клинических задач:

- 1) дифференциальная диагностика типов инсульта, а также инсультоподобных состояний;
- 2) прогнозирование развития ранних и поздних церебральных осложнений, например геморрагической трансформации ишемического инсульта;
- 3) разработка индивидуального плана медицинской реабилитации и выявление предикторов плохой переносимости нагрузки [6].

К настоящему времени в литературе описано множество потенциальных биомаркеров инсульта и комбинированных панелей, в том числе применяемых для оценки реабилитационных нагрузок. Однако ни один из изученных маркеров до сих пор не применяется в рутинной клинической практике [5–8].

В соответствии с клиническими потребностями были сформулированы основные обязательные характеристики биомаркеров инсульта, среди которых высокие показатели чувствительности и специфичности; способность дифференцировать ишемический инсульт от ВМК и инсультоподобных состояний; возможность прогнозировать течение инсульта, способствуя терапевтическому мониторингу [7].

Перспективным выглядит также использование биомаркеров инсульта в медицинской реабилитации для оценки

реактивности в ответ на проводимое восстановительное лечение, а также для реабилитационной стратификации пациентов в зависимости от риска осложнений [8].

### Критерии поиска и включения литературных источников

Для поиска литературных источников использовали электронные базы данных PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>) и Scopus (<https://www.scopus.com/home.uri?zone=header&origin=>). Для предметного поиска применяли медицинские предметные рубрики (Medical Subject Headings, MeSH). Использовали следующие термины MeSH: инсульт, инфаркт головного мозга, диагностика, биомаркеры, кровь. Дата выхода публикаций была ограничена двадцатью годами (2002–2022), в основном процитированы источники, опубликованные в течение последних 7 лет.

Поиск литературных источников проводился в августе 2022 года. Всего процитировано 53 зарубежных источника, общее количество источников — 55. В обзор включались статьи, основанные только на клинических исследованиях с участием пациентов. Включение статей с результатами экспериментальных исследований на моделях инсульта у животных не проводилось.

В данном обзоре рассматривались различные по молекулярной природе биомаркеры в соответствии с их ключевыми свойствами:

- 1) способность отличать ишемический инсульт от инсультоподобных и других патологических состояний;
- 2) исключать наличие ВМК;
- 3) определять риски развития геморрагической трансформации инфаркта мозга;
- 4) прогнозировать дальнейшее течение заболевания в остром и раннем восстановительном периодах, что может быть использовано в планировании индивидуальных реабилитационных нагрузок.

В статье рассматриваются также перспективные панели биомаркеров, разработанные и исследованные в целях оптимизации показателей диагностической чувствительности и специфичности. Потенциальное использование панелей биомаркеров продиктовано клинической необходимостью более точного определения инсульта, дифференцирования его типа и оценки прогноза, при этом такие диагностические инструменты должны оставаться технически простыми и экономически доступными [9].

Всё больше исследований посвящается транскрипционным изменениям, вызванным повреждением клеток мозга. Эти процессы, происходящие в момент или сразу после инсульта, также могут служить его достоверным молекулярным показателем. Их можно наблюдать на уровне кодирующих матричных РНК (мРНК) либо на уровне некодирующих РНК. Среди циркулирующих нуклеиновых кислот микроРНК (ми-РНК) обладают высокой стабильностью в плазме, что делает их наиболее пригодными в качестве биомаркеров инсульта [8, 10–12].

## БИОМАРКЕРЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПАНЕЛИ БИОМАРКЕРОВ ИНСУЛЬТА

### Маркеры ишемического инсульта

Белок *S100β*, экспрессируемый астроцитами, принадлежит к группе кальцийсвязывающих белков S100. Считается, что повышение его концентрации напрямую коррелирует с нарушением проницаемости гематоэнцефалического барьера и общим количеством астроглиальной ткани, вовлечённой в ишемический процесс [13].

Проведённые исследования показали, что уровень *S100β* в сыворотке крови значительно повышается в течение первых 24 ч после инфаркта мозга и достигает пиков к 48–96 ч от дебюта заболевания [13, 14].

В проведённом систематическом анализе многих биомаркеров инсульта была достоверно показана способность *S100β* отличать ишемический инсульт от здорового контроля, инсультоподобных состояний и ВМК [8]. Однако широкому применению *S100β* в диагностике ишемического инсульта препятствуют его замедленное высвобождение в кровь и недостаточная диагностическая чувствительность и специфичность, поскольку его повышение встречается и при других состояниях, включая травматические поражения головного мозга [9, 15]. Подобные диагностические показатели (высокая специфичность и низкая чувствительность) описаны для нейронспецифической енолазы (neuron specific enolase, NSE) [7, 9].

*NR2-nenmid* — фрагмент тетрамерного рецептора N-метил-D-аспартата (NMDA), обнаруженный преимущественно в нейронах центральной нервной системы, хотя экспрессия NR1- и NR2-субъединиц была также выявлена в олигодендроцитах, нейроэпителиальных клетках, эндотелии сосудов мозга, а также в интрамуральных вегетативных узлах кишечника [16].

В проведённых исследованиях с участием пациентов с ишемическим инсультом, транзиторной ишемической атакой, множественными повторными инсультами в анамнезе, а также здоровых добровольцев были выявлены высокие уровни NR2-пептида и антител к NR2-пептиду в образцах плазмы и сыворотки крови пациентов с установленным ишемическим поражением мозга в течение 72 ч от дебюта заболевания. Оптимальное предельное значение NR2-пептида для острого инфаркта мозга было 1,0 мкг/л с чувствительностью 92% и специфичностью 96%, при которых было достигнуто положительное прогностическое значение 93% [17, 18].

В проведённом метаанализе различных биомаркеров инсульта NR2A/B был единственным мономаркером, который имел высокую отрицательную и положительную прогностическую ценность в популяции с подозрением на ишемический инсульт [19]. Показана возможность антител к NR2-пептиду дифференцировать ишемический инсульт и ВМК [20], хотя проведённые системные анализы такую возможность отвергают [8].

Следует учитывать, что антитела к NR2-пептиду также могут быть повышены при хронических воспалительных и аутоиммунных заболеваниях, что ограничивает их специфичность и, следовательно, роль в дифференциальном диагнозе [7].

Белковая дегликаза DJ-1, известная также как белок PARK7, экспрессируется в глиальных клетках и привычно ассоциируется с развитием нейродегенеративных заболеваний [21].

*Нуклеозид дифосфаткиназа А* (nucleoside-diphosphate kinase, NDKA) экспрессируется в нейронах и задействована в развитии ишемического каскада. Плазменные уровни NDKA и PARK7 были исследованы на обширной группе пациентов с клинической картиной инсульта. Было выявлено, что чувствительность PARK7 составляет 54–91%, специфичность — 80–97%. У NDKA данные показатели составили 70–90% и 90–97% соответственно [21]. В другом исследовании с меньшим количеством участников PARK7 также имел оптимальные диагностические показатели при ишемическом инсульте (AUC 0,89). У NDKA при этом не было обнаружено убедительной дискриминационной ценности (AUC 0,46) [22]. Повышение концентрации PARK7 не позволяло точно определить ишемический или геморрагический тип инсульта, что ограничивает его дифференциально-диагностические возможности [21].

Было показано, что повышение уровня этих белков связано также с другими острыми церебральными расстройствами, что существенно ограничивает их ценность для диагностики инсульта [23].

*Натрийуретический пептид тина В* (B-type natriuretic peptide, BNP) — пептидный гормон, продуцируемый кардиомиоцитами, являющийся, тем не менее, одним из наиболее изученных биомаркеров инсульта. В проведенном исследовании с участием 89 пациентов с ишемическим инсультом повышенные концентрации BNP при ишемии мозга отличались от показателей здоровых добровольцев, пациентов с ВМК и другими повреждениями головного мозга (AUC 0,66) [24]. В другом исследовании с участием 100 пациентов было обнаружено, что уровень BNP в плазме увеличивается в 7,9 раз при ишемическом инсульте по сравнению с контролем ( $p=0,001$ ). Предполагается, что концентрации BNP могут коррелировать с тяжестью инсульта и дифференцировать кардиоэмболический подтип ишемического инсульта [25].

Повышение уровня BNP связано также с ишемией миокарда, циррозом печени и другими соматическими патологиями, ограничивая его применение в неврологии [26]. При этом выводы, сделанные в систематическом обзоре Т. Monbailliu и соавт. [8], указывают на то, что только два биомаркера — S100β и BNP — могут убедительно отличать пациентов с ишемическим инсультом от здоровых добровольцев, инсультоподобных состояний и ВМК и, следовательно, могут быть рекомендованы в качестве диагностических биомаркеров ишемического инсульта.

*Изофермент гликогенфосфорилазы ВВ* (glycogen phosphorylase isoenzyme ВВ, GPBB) близок по кардиогенному происхождению к BNP, однако эта изоформа фермента определяется также и в нервной ткани [27]. В недавно проведенных исследованиях отмечено его 10-кратное увеличение в плазме пациентов с ишемическим инсультом в течение первых 4,5 ч от момента начала заболевания по сравнению со здоровым контролем, при этом чувствительность и специфичность маркера составили 93 и 90% соответственно [27]. Несмотря на имеющийся потенциал GPBB для определения инсульта, он идентифицируется в первую очередь как ранний маркер острого коронарного синдрома [28].

Среди разработанных панелей, способных определять ишемическое поражение мозга, стоит отметить следующие комбинации:

- S100β / фактора роста нервов типа В / фактора фон Виллебранда / матричной металлопротеиназы 9 (matrix metalloproteinase 9, MMP-9) / моноцитарного хемотаксического протеина-1, показавшую в исследовании с участием 223 пациентов с острым ишемическим инсультом и 214 здоровых добровольцев чувствительность на уровне 92% и специфичность 93% (AUC 0,99) [29];
- зотаксина / рецептора эпидермального фактора роста (epidermal growth factor receptor, EGFR) / S100A12 / тканевого ингибитора металлопротеиназы-4 (metalloproteinase inhibitor 4, TIMP-4) и пролактинина с чувствительностью 90% и специфичностью 84% (AUC 0,92) [30];
- S100β / MMP-9 / D-димера / BNP, отличавшую ишемический инсульт от инсультоподобных состояний (AUC 0,69) [30].

Среди циркулирующих нуклеиновых кислот в качестве биомаркеров ишемического инсульта наиболее часто упоминаются ми-РНК-106b, ми-РНК-335, ми-РНК-15a, ми-РНК-16, ми-РНК-17-5p, ми-РНК-126, let-7b, ми-РНК-363 и ми-РНК-487b [10, 11]. Было обнаружено, что уровни ми-РНК-15a, ми-РНК-16 и ми-РНК-17-5p значимо выше при ишемическом инсульте по сравнению со здоровым контролем (AUC 0,70; 0,82 и 0,78 соответственно) [31]. При длительности ишемического инсульта менее 6 ч чувствительность ми-РНК-16 снижается до 69,7%, специфичность составляет 87,0% (AUC 0,77) [32].

### Маркеры геморрагического инсульта

*Глиальный фибриллярный кислый белок* (glial fibrillary acidic protein, GFAP), представляющий собой компонент цитоскелета астроцитов и обнаруживаемый исключительно в центральной нервной системе, является наиболее изученным маркером геморрагического инсульта [33]. Первоначально повышенные концентрации данного маркера были обнаружены в сыворотке крови больных ишемическим инсультом с пиком концентраций на 2–4-й день от дебюта заболевания [34]. Дальнейшие исследования позволили

выдвинуть гипотезу о его большей специфичности в отношении геморрагического инсульта, так как стремительно формирующееся ВМК приводит к более быстрому выходу GFAP из астроцитов [9]. Было доказано более быстрое увеличение уровня GFAP в плазме пациентов с ВМК, госпитализированных в течение 6 ч от дебюта заболевания, по сравнению с больными ишемическим инсультом [35].

Позднее установлено, что наиболее точный временной диапазон для дифференцирования ВМК от ишемического инсульта с помощью GFAP составляет 2–6 ч с момента клинического дебюта заболевания [36]. Диагностическая чувствительность GFAP в этом временном отрезке достигает 91%, специфичность — 97%, отрицательная прогностическая значимость — 98,4% [37, 38].

Однако, учитывая, что другой астроглиальный белок S100 $\beta$ , ассоциированный преимущественно с ишемическим поражением, также попадает в кровоток при ВМК, вопрос о наиболее достоверном временном окне для дифференциации ВМК и ишемического инсульта остаётся открытым [15]. Несмотря на определённые успехи в идентификации GFAP как биомаркера инсульта, в упомянутом ранее систематическом обзоре T. Monbailliu и соавт. [8] отрицалась также способность GFAP отличать ишемическое поражение мозга от геморрагического. Применение GFAP как биомаркера инсульта может быть также ограничено его экспрессией при других поражениях мозга, например при черепно-мозговой травме или глиобластоме [39, 40]. Тем не менее GFAP является многообещающим маркером инсульта, ценность которого будет повышаться при условии его включения в мультимаркерные панели [9]. Одной из таких панелей можно считать комбинацию GFAP с убиквитин карбокси-концевой гидролазой L1 (ubiquitin carboxy-terminal hydrolase L1, UCH-L1). Панель GFAP/UCH-L1 была апробирована на образцах крови пациентов с инсультом, полученных в течение 4–6 ч от дебюта заболевания. Концентрации обоих маркеров были выше у пациентов с ВМК по сравнению с ишемическим инсультом (AUC 0,87) [41].

Для дифференцирования геморрагического и ишемического типов инсульта были исследованы ми-РНК-124-3р и ми-РНК-16: отмечено, что самый высокий уровень ми-РНК-124-3р в плазме пациентов с ВМК приходится на первые 6 ч после появления симптомов заболевания с последующим его снижением. Напротив, наиболее высокие концентрации ми-РНК-16 наблюдались у пациентов с ишемическим инсультом, поступивших в более поздние сроки от дебюта заболевания (6–24 ч), по сравнению с пациентами с ВМК. Таким образом, ми-РНК-123-3р и ми-РНК-16 могут быть потенциальными дифференциальными маркерами ишемического инсульта и ВМК в течение острого периода заболевания [42].

### Маркеры геморрагической трансформации

MMP-9, связанный с нарушением проницаемости эндотелия сосудов и гибелью нейронов, является наиболее широко изученным биомаркером риска геморрагической

трансформации инфаркта мозга. Подчёркнута также особая роль MMP-9 в процессах сосудистого ремоделирования в последующих восстановительных периодах [43, 44]. Показано, что концентрация MMP-9 в плазме, превышающая 140–180 нг/мл в первые сутки ишемии мозга, ассоциирована с развитием геморрагической трансформации независимо от причины ишемии (отрицательное прогностическое значение 97%). При этом корреляции между уровнем MMP-9 и объёмом геморрагической трансформации не обнаружено [43, 44].

Широкое применение тромболитической терапии придаёт большую актуальность изучению MMP-9. Показано, что тромболитическая терапия при повышенных плазменных концентрациях MMP-9 способствует дополнительному повреждению базальной мембраны сосудов мозга и выходу крови. Исследование MMP-9 до и через 24 ч после проведения тромболитической терапии у 327 пациентов с ишемическим инсультом показало прямую корреляцию между уровнем биомаркера и развитием ВМК [45]. Аналогичные результаты получены при проведении механической тромбэкстракции [46]. Таким образом, исследование MMP-9 может быть актуально при планировании реперфузионных методов лечения [45, 46].

В недавно опубликованном метаанализе подтверждена высокая чувствительность MMP-9 (84,9%) в прогнозировании риска геморрагической трансформации перед проведением тромболитической терапии. Общая частота ложноположительных результатов при этом составила 18% [47].

Проведённый систематический анализ также подтвердил способность данного маркера различать ишемическое поражение мозга от инсультоподобных состояний, однако разницы между группами ишемического инсульта, ВМК и здоровыми добровольцами не обнаружено [8].

Улучшение диагностических и прогностических характеристик MMP-9 было получено при его совместном применении с другими сосудистыми маркерами. Так, например, биопанель MMP-9 / клеточный фибронектин (с-Fn) способна прогнозировать риск геморрагической трансформации с чувствительностью 87% и специфичностью 90% [5].

### Прогностические маркеры

Маркер *лёгкой цепи нейрофиламента* (neurofilament light chain, NfL) связан с нейроаксональным поражением в центральной и периферической нервной системе [48]. Уровни NfL увеличиваются в первую неделю после ишемического инсульта, коррелируя с объёмом инфаркта мозга по данным МРТ, и обладают лучшей прогностической способностью в остром и раннем восстановительном периодах. Кроме того, высокие уровни NfL ассоциируются с повторными ишемическими поражениями головного мозга в течение 6 мес и значимыми функциональными ограничениями ( $\geq 3$  баллов по модифицированной шкале Рэнкина (modified Rankin Scale, mRS) [48, 49]. Прогностическая

способность NfL может быть улучшена за счёт комбинации с другими количественными показателями, такими как шкала оценки тяжести неврологической симптоматики в остром периоде ишемического инсульта для планирования тромболитической терапии (National Institutes of Health Stroke Scale, NIHSS), гипергликемия и изменения белого вещества на MPT [50].

В качестве маркеров неблагоприятного функционального восстановления в течение 3 мес после ишемического инсульта изучены также показатели воспаления (ферритин, интерлейкин-6, фактор некроза опухоли, С-реактивный белок), сердечные (NT-proBNP и MR-proANP) и гемостатические (фибриноген и D-димер) маркеры, тау-белок, Р-селектин и гомоцистеин. Высокие концентрации данных показателей были ассоциированы со значением mRS >3 [43, 51, 52].

Возможность прогнозирования функционального восстановления была также предположена при изучении циркулирующих нуклеиновых кислот у пациентов с ишемическим инсультом. Обнаружено, что низкий уровень mi-RНК-210 в крови предполагает неблагоприятный функциональный исход после ишемического инсульта (mRS>2). Прогностическая способность данного маркера оценивается как умеренная (чувствительность 83,7%, специфичность 50,7%, AUC 0,65) [53].

Повышенная экспрессия экзосомальной mi-RНК-134, обнаруженная у пациентов с ишемическим инсультом в течение 24 ч от дебюта заболевания, по сравнению с контрольной группой положительно коррелирует со шкалой NIHSS и объёмом инфаркта по данным MPT головного мозга. При этом отмечена положительная корреляционная связь между уровнем mi-RНК-134 и повышенной экспрессией С-реактивного белка и интерлейкина-6, что подтверждает их прогностический потенциал [54].

Указанные биомаркеры могут быть потенциально применимы для расчёта индивидуальных физических нагрузок при планировании восстановительного лечения после инсульта, однако исследований на эту тему нами не обнаружено.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время диагноз инсульта основывается на клиническом обследовании и методах нейровизуализации, однако для перехода на качественно новый уровень диагностики крайне важно оценивать не только функциональные и морфологические нарушения, но и фиксировать различные биохимические и молекулярные изменения в веществе головного мозга, возникающие в первые часы заболевания, во время и после реперфузионной терапии, а также при проведении восстановительного лечения.

Биомаркеры крови являются перспективным направлением для оптимизации текущего диагностического сценария при инсульте, что подтверждается растущим количеством исследований и публикаций на эту тему.

Тем не менее существует ряд значимых ограничений, препятствующих скорому внедрению биомаркеров инсульта в клиническую практику. Так, среди основных ограничений клинического применения биомаркеров в диагностике ишемического инсульта J. Kamtchum-Tatuene и G.C. Jickling [5] выделяют:

- 1) различный объём, продолжительность и локализацию церебральной гипоперфузии, влияющие на экспрессию разных маркеров (нейрональных, нейроглиальных, сосудистых) и функциональный прогноз;
- 2) разнообразие патогенетических подтипов ишемического инсульта с характерным биохимическим профилем;
- 3) несоответствие концентрации биомаркера в крови объёму и тяжести инфаркта мозга в связи с наличием гематоэнцефалического барьера: отмечается, что даже при нарушенной проницаемости барьера возникшая гипоперфузия может препятствовать проникновению биомаркеров в кровь;
- 4) наличие сопутствующей церебральной сосудистой и несосудистой патологии, способствующей формированию аналитической кросс-реактивности;
- 5) нерепрезентативность выборок в проведённых ранее исследованиях [5].

Кроме того, маркеры церебральной ишемии могут иметь недостаточную диагностическую специфичность, повышаясь в случае ряда состояний, клинически имитирующих инсульт.

Таким образом, можно сформулировать характеристики «идеального» биомаркера инсульта, включающие высокие показатели диагностической чувствительности и специфичности, способность дифференцировать геморрагический и ишемический инсульт, способность к раннему и стабильному высвобождению сразу после инсульта, прогностическую способность, быструю измеримость с возможностью переноса технологии в экспресс-формат [9].

В целом, опираясь на ранее проведённые исследования, можно заключить, что любая дифференциальная информация об объёме, локализации, времени и типе инсульта является трудно доказуемой только на основании концентрации биомаркеров крови. Именно поэтому основной ролью биомаркеров инсульта на данный момент следует считать дополнение существующих стандартных методов диагностики. Авторы большинства приведённых в настоящем обзоре исследований, метаанализов и систематических обзоров сходятся во мнении, что единичные биомаркеры не имеют достаточных для клинического применения уровней чувствительности и специфичности, поэтому всё большую актуальность приобретает разработка мультимаркерных панелей.

Следует также отметить важность корректного проведения трансляционных и клинических исследований. Чтобы добиться успешного перевода в клиническое русло, крайне важно учитывать аспекты дизайна и контроля

качества в исследованиях на животных. Необходимо изучение и сравнение экспрессии маркеров на нескольких моделях инсульта, наличие чётко обоснованного дизайна и применение адекватных статистических методов. При этом многие биомаркеры, показавшие большой потенциал на животных моделях (сигнальные пептиды, хемокины, дельта катенин, UCH-L1 и др.), ещё не были подробно изучены у пациентов с инсультом [6].

Отдельной линией в настоящем обзоре обозначена возможность изучения биомаркеров инсульта при проведении нейрореабилитационных мероприятий, в первую очередь для выявления пациентов с высоким восстановительным потенциалом. Отмечено, что прогностическая значимость многих маркеров и их комбинаций до настоящего времени не исследовалась. Более предметные исследования в данном направлении могут быть актуальными для будущего планирования персонализированных реабилитационных программ. Возможными ограничениями в проведении подобных исследований могут стать выборка пациентов и длительность последующего наблюдения [55].

Сравнительно новым направлением является изучение циркулирующих нуклеиновых кислот как биомаркеров инсульта. Быстрая экспрессия в кровь, высокая стабильность и относительная простота измерения создают оптимальные условия для последующего углублённого изучения ми-РНК в качестве биомаркеров инсульта.

Так или иначе, любой изучаемый биомаркер инсульта должен давать ответы на приоритетные клинические вопросы: был ли у пациента инсульт; является ли инсульт ишемическим или геморрагическим; велик ли риск геморрагической трансформации инфаркта мозга; имеет ли пациент достаточный реабилитационный потенциал для проведения персонализированного восстановительного лечения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день ни один из биомаркеров инсульта и их панелей, несмотря на очевидную перспективность,

не вошёл в рутинную клиническую практику. Очевидно, требуются дальнейшие исследования, прежде чем биомаркеры смогут дополнить стандартные методы диагностики и персонализировать существующие подходы в лечении и реабилитации.

Стоит полагать, что определяющими условиями клинического применения биомаркеров инсульта в будущем станут оптимальные диагностические и аналитические характеристики, а также возможность переноса технологии измерения в экспресс-формат (point of care, POC).

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда. Соглашение № 22-25-20179.

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

**Вклад авторов.** Г.В. Пономарев — поисково-аналитическая работа, написание и редактирование текста статьи; А.В. Полякова — написание текста статьи; М.В. Прохорова, И.А. Вознюк — написание и редактирование текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

## ADDITIONAL INFORMATION

**Funding source.** The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation. Agreement No. 22-25-20179.

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

**Authors' contribution.** G.V. Ponomarev — search and analytical work, writing and editing the text of the article; A.V. Polyakova — writing the text of the article; M.V. Prokhorova, I.A. Voznyuk — writing and editing the text of the article. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Feigin V.L., Brainin M., Norrving B., et al. World Stroke Organization (WSO): Global Stroke Fact Sheet 2022 // *Int J Stroke*. 2022. Vol. 17, N 1. P. 18–29. doi: 10.1177/17474930211065917
2. Herpich F., Rincon F. Management of acute ischemic stroke // *Crit Care Med*. 2020. Vol. 48, N 11. P. 1654–1663. doi: 10.1097/CCM.0000000000004597
3. Вознюк И.А., Савелло В.Е., Шумакова Т.А. Неотложная клиническая нейрорадиология. Инсульт. Санкт-Петербург: Фолиант, 2016. 122 с.
4. Пирадов М.А., Максимова М.Ю., Танащян М.М. Инсульт: пошаговая инструкция. Руководство для врачей. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 288 с.
5. Kamtchum-Tatuene J., Jickling G.C. Blood biomarkers for stroke diagnosis and management // *Neuromolecular Med*. 2019. Vol. 21, N 4. P. 344–368. doi: 10.1007/s12017-019-08530-0
6. Dias A., Silva L., Moura J., et al. Fluid biomarkers in stroke: From animal models to clinical care // *Acta Neurol Scand*. 2022. Vol. 146, N 4. P. 332–347. doi: 10.1111/ane.13668
7. Dagonnier M., Donnan G.A., Davis S.M., et al. Acute stroke biomarkers: are we there yet? // *Front Neurol*. 2021. N 12. P. 619721. doi: 10.3389/fneur.2021.619721
8. Monbailiu T., Goossens J., Hachimi-Idrissi S. Blood protein biomarkers as diagnostic tool for ischemic stroke: a systematic review // *Biomark Med*. 2017. Vol. 11, N 6. P. 503–512. doi: 10.2217/bmm-2016-0232

9. Saenger A.K., Christenson R.H. Stroke biomarkers: progress and challenges for diagnosis, prognosis, differentiation, and treatment // *Clin Chem*. 2010. Vol. 56, N 1. P. 21–33. doi: 10.1373/clinchem.2009.133801
10. Wang W., Li D.B., Li R.Y., et al. Diagnosis of hyperacute and acute ischaemic stroke: the potential utility of exosomal microRNA-21-5p and MicroRNA-30a-5p // *Cerebrovasc Dis*. 2018. Vol. 45, N 5-6. P. 204–212. doi: 10.1159/000488365
11. Dewdney B., Trollope A., Moxon J., et al. Circulating MicroRNAs as biomarkers for acute ischemic stroke: a systematic review // *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2018. Vol. 27, N 3. P. 522–530. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.09.058
12. Bejleri J., Jirström E., Donovan P., et al. Diagnostic and prognostic circulating MicroRNA in acute stroke: a systematic and bioinformatic analysis of current evidence // *J Stroke*. 2021. Vol. 23, N 2. P. 162–182. doi: 10.5853/jos.2020.05085
13. Foerch C., du Mesnil de Rochemont R., Singer O., et al. S100B as a surrogate marker for successful clot lysis in hyperacute middle cerebral artery occlusion // *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2003. Vol. 74, N 3. P. 322–325. doi: 10.1136/jnnp.74.3.322
14. Foerch C., Singer O.C., Neumann-Haefelin T., et al. Evaluation of serum S100B as a surrogate marker for long-term outcome and infarct volume in acute middle cerebral artery infarction // *Arch Neurol*. 2005. Vol. 62, N 7. P. 1130–1134. doi: 10.1001/archneur.62.7.1130
15. Wiese S., Karus M., Faissner A. Astrocytes as a source for extracellular matrix molecules and cytokines // *Front Pharmacol*. 2012. N 3. P. 120. doi: 10.3389/fphar.2012.00120
16. Furukawa H., Singh S.K., Mancusso R., Gouaux E. Subunit arrangement and function in NMDA receptors // *Nature*. 2005. Vol. 438, N 7065. P. 185–192. doi: 10.1038/nature04089
17. Dambinova S.A., Bettermann K., Glynn T., et al. Diagnostic potential of the NMDA receptor peptide assay for acute ischemic stroke // *PLoS One*. 2012. Vol. 7, N 7. P. e42362. doi: 10.1371/journal.pone.0042362
18. Weissman J.D., Khunteev G.A., Heath R., Dambinova S.A. NR2 antibodies: risk assessment of transient ischemic attack (TIA) / stroke in patients with history of isolated and multiple cerebrovascular events // *J Neurol Sci*. 2011. Vol. 300, N 1-2. P. 97–102. doi: 10.1016/j.jns.2010.09.023
19. Dolmans L.S., Rutten F.H., Koenen N.C., et al. Candidate biomarkers for the diagnosis of transient ischemic attack: a systematic review // *Cerebrovasc Dis*. 2019. Vol. 47, N 5-6. P. 207–216. doi: 10.1159/000502449
20. Stanca D.M., Mărginean I.C., Sorițău O., et al. GFAP and antibodies against NMDA receptor subunit NR2 as biomarkers for acute cerebrovascular diseases // *J Cell Mol Med*. 2015. Vol. 19, N 9. P. 2253–2261. doi: 10.1111/jcmm.12614
21. Allard L., Burkhard P.R., Lescuyer P., et al. PARK7 and nucleoside diphosphate kinase A as plasma markers for the early diagnosis of stroke // *Clin Chem*. 2005. Vol. 51, N 11. P. 2043–2051. doi: 10.1373/clinchem.2005.053942
22. Tulantched D.S., Min Z., Feng W.X. Comparison of plasma PARK7 and NDKA diagnostic value in acute stroke // *Future Sci OA*. 2019. Vol. 5, N 5. P. FSO375. doi: 10.2144/fsoa-2018-0080
23. Mingina T., Zhao M. Role of PARK7 and NDKA in stroke management: a review of PARK7 and NDKA as stroke biomarkers // *Biomark Med*. 2018. Vol. 12, N 5. P. 419–425. doi: 10.2217/bmm-2018-0013
24. Menon B., Ramalingam K., Conjeevaram J., Munisusmitha K. Role of brain natriuretic peptide as a novel prognostic biomarker in acute ischemic stroke // *Ann Indian Acad Neurol*. 2016. Vol. 19, N 4. P. 462–466. doi: 10.4103/0972-2327.194422
25. Maruyama K., Shiga T., Iijima M., et al. Brain natriuretic peptide in acute ischemic stroke // *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2014. Vol. 23, N 5. P. 967–972. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2013.08.003
26. Panagopoulou V., Deftereos S., Kossyvakis C., et al. NTproBNP: an important biomarker in cardiac diseases // *Curr Top Med Chem*. 2013. Vol. 13, N 2. P. 82–94. doi: 10.2174/1568026611313020002
27. Park K.Y., Ay I., Avery R., et al. New biomarker for acute ischaemic stroke: plasma glycogen phosphorylase isoenzyme BB // *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2018. Vol. 89, N 4. P. 404–409. doi: 10.1136/jnnp-2017-316084
28. Lim W.Y., Thevarajah T.M., Goh B.T., Khor S.M. Paper microfluidic device for early diagnosis and prognosis of acute myocardial infarction via quantitative multiplex cardiac biomarker detection // *Biosens Bioelectron*. 2019. N 128. P. 176–185. doi: 10.1016/j.bios.2018.12.049
29. Reynolds M.A., Kirchick H.J., Dahlen J.R., et al. Early biomarkers of stroke // *Clin Chem*. 2003. Vol. 49, N 10. P. 1733–1739. doi: 10.1373/49.10.1733
30. Laskowitz D.T., Kasner S.E., Saver J., et al.; BRAIN Study Group. Clinical usefulness of a biomarker-based diagnostic test for acute stroke: the Biomarker Rapid Assessment in Ischemic Injury (BRAIN) study // *Stroke*. 2009. Vol. 40, N 1. P. 77–85. doi: 10.1161/STROKEAHA.108.516377
31. Wu J., Du K., Lu X. Elevated expressions of serum miR-15a, miR-16, and miR-17-5p are associated with acute ischemic stroke // *Int J Clin Exp Med*. 2015. Vol. 8, N 11. P. 21071–21079.
32. Tian C., Li Z., Yang Z., et al. Plasma microRNA-16 is a biomarker for diagnosis, stratification, and prognosis of hyperacute cerebral infarction // *PLoS One*. 2016. Vol. 11, N 11. P. e0166688. doi: 10.1371/journal.pone.0166688
33. Pujol-Calderón F., Zetterberg H., Portelius E., et al. Prediction of outcome after endovascular embolectomy in anterior circulation stroke using biomarkers // *Transl Stroke Res*. 2022. Vol. 13, N 1. P. 65–76. doi: 10.1007/s12975-021-00905-5
34. Foerch C., Singer O., Neumann-Haefelin T., et al. Utility of serum GFAP in monitoring acute MCA territorial infarction // *Cerebrovasc Dis*. 2003. Vol. 16, Suppl. 4. P. 45.
35. Foerch C., Curdt I., Yan B., et al. Serum glial fibrillary acidic protein as a biomarker for intracerebral haemorrhage in patients with acute stroke // *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2006. Vol. 77, N 2. P. 181–184. doi: 10.1136/jnnp.2005.074823
36. Dvorak F., Haberer I., Sitzer M., Foerch C. Characterisation of the diagnostic window of serum glial fibrillary acidic protein for the differentiation of intracerebral haemorrhage and ischaemic stroke // *Cerebrovasc Dis*. 2009. Vol. 27, N 1. P. 37–41. doi: 10.1159/000172632
37. Katsanos A.H., Makris K., Stefani D., et al. Plasma glial fibrillary acidic protein in the differential diagnosis of intracerebral hemorrhage // *Stroke*. 2017. Vol. 48, N 9. P. 2586–2588. doi: 10.1161/STROKEAHA.117.018409
38. Mattila O.S., Ashton N.J., Blennow K., et al. Ultra-Early differential diagnosis of acute cerebral ischemia and hemorrhagic stroke by measuring the prehospital release rate of GFAP // *Clin Chem*. 2021. Vol. 67, N 10. P. 1361–1372. doi: 10.1093/clinchem/hvab128

- 39.** Pelinka L.E., Kroepfl A., Schmidhammer R., et al. Glial fibrillary acidic protein in serum after traumatic brain injury and multiple trauma // *J Trauma*. 2004. Vol. 57, N 5. P. 1006–1012. doi: 10.1097/01.ta.0000108998.48026.c3
- 40.** Jung C.S., Foerch C., Schänzer A., et al. Serum GFAP is a diagnostic marker for glioblastoma multiforme // *Brain*. 2007. Vol. 130, Pt 12. P. 3336–3341. doi: 10.1093/brain/awm263
- 41.** Luger S., Jæger H.S., Dixon J., et al. Diagnostic accuracy of glial fibrillary acidic protein and ubiquitin carboxy-terminal hydrolase-L1 serum concentrations for differentiating acute intracerebral hemorrhage from ischemic stroke // *Neurocrit Care*. 2020. Vol. 33, N 1. P. 39–48. doi: 10.1007/s12028-020-00931-5
- 42.** Leung L.Y., Chan C.P., Leung Y.K., et al. Comparison of miR-124-3p and miR-16 for early diagnosis of hemorrhagic and ischemic stroke // *Clin Chim Acta*. 2014. N 433. P. 139–144. doi: 10.1016/j.cca.2014.03.007
- 43.** Castellanos M., Leira R., Serena J., et al. Plasma metalloproteinase-9 concentration predicts hemorrhagic transformation in acute ischemic stroke // *Stroke*. 2003. Vol. 34, N 1. P. 40–46.
- 44.** Yuan R., Tan S., Wang D., et al. Predictive value of plasma matrix metalloproteinase-9 concentrations for spontaneous haemorrhagic transformation in patients with acute ischaemic stroke: a cohort study in Chinese patients // *J Clin Neurosci*. 2018. N 58. P. 108–112. doi: 10.1016/j.jocn.2018.09.014
- 45.** Inzitari D., Giusti B., Nencini P., et al. MMP9 variation after thrombolysis is associated with hemorrhagic transformation of lesion and death // *Stroke*. 2013. Vol. 44, N 10. P. 2901–2903. doi: 10.1161/STROKEAHA.113.002274
- 46.** Mechtouff L., Bochaton T., Paccalet A., et al. Matrix metalloproteinase-9 relationship with infarct growth and hemorrhagic transformation in the era of thrombectomy // *Front Neurol*. 2020. N 11. P. 473. doi: 10.3389/fneur.2020.00473
- 47.** Krishnamoorthy S., Singh G., Jose K.J., et al. Biomarkers in the prediction of hemorrhagic transformation in acute stroke: a systematic review and meta-analysis // *Cerebrovasc Dis*. 2022. Vol. 51, N 2. P. 235–247. doi: 10.1159/000518570
- 48.** Tiedt S., Duerig M., Barro C., et al. Serum neurofilament light: a biomarker of neuroaxonal injury after ischemic stroke // *Neurology*. 2018. Vol. 91, N 14. P. e1338–e1347. doi: 10.1212/WNL.0000000000006282
- 49.** Purroy F., Farré-Rodríguez J., Mauri-Capdevila G., et al. Basal IL-6 and S100b levels are associated with infarct volume // *Acta Neurol Scand*. 2021. Vol. 144, N 5. P. 517–523. doi: 10.1111/ane.13487
- 50.** Uphaus T., Bittner S., Gröschel S., et al. NfL (Neurofilament Light Chain) levels as a predictive marker for long-term outcome after ischemic stroke // *Stroke*. 2019. Vol. 50, N 11. P. 3077–3084. doi: 10.1161/STROKEAHA.119.026410
- 51.** Jiang J., Tan C., Zhou W., et al. Plasma C-reactive protein level and outcome of acute ischemic stroke patients treated by intravenous thrombolysis: a systematic review and meta-analysis // *Eur Neurol*. 2021. Vol. 84, N 3. P. 145–150. doi: 10.1159/000514099
- 52.** Oh B.M. A path to precision medicine: incorporating blood-based biomarkers in stroke rehabilitation // *Ann Rehabil Med*. 2021. Vol. 45, N 5. P. 341–344. doi: 10.5535/arm.21171
- 53.** Zeng L., Liu J., Wang Y., et al. MicroRNA-210 as a novel blood biomarker in acute cerebral ischemia // *Front Biosci (Elite Ed)*. 2011. Vol. 3, N 4. P. 1265–1272. doi: 10.2741/e330
- 54.** Zhou J., Chen L., Chen B., et al. Increased serum exosomal miR-134 expression in the acute ischemic stroke patients // *BMC Neurol*. 2018. Vol. 18, N 1. P. 198. doi: 10.1186/s12883-018-1196-z
- 55.** Picelli A., Filippetti M., Del Piccolo L., et al. Rehabilitation and biomarkers of stroke recovery: study protocol for a randomized controlled trial // *Front Neurol*. 2021. Vol. 11. P. 618200. doi: 10.3389/fneur.2020.618200

## REFERENCES

- 1.** Feigin VL, Brainin M, Norrving B, et al. World Stroke Organization (WSO): Global Stroke Fact Sheet 2022. *Int J Stroke*. 2022;17(1):18–29. doi: 10.1177/17474930211065917
- 2.** Herpich F, Rincon F. Management of acute ischemic stroke. *Crit Care Med*. 2020;48(11):1654–1663. doi: 10.1097/CCM.0000000000004597
- 3.** Voznyuk IA, Savello VE, Shumakova TA. Emergency clinical neuroradiology. *Stroke*. Sankt-Peterburg: Foliant; 2016.122 p. (In Russ).
- 4.** Piradov MA, Maksimova MY, Tanashyan MM. Stroke: step-by-step instructions. A guide for doctors. 2nd ed. Moscow: GEOTAR-Media; 288 p. (In Russ).
- 5.** Kamtchum-Tatuene J, Jickling GC. Blood biomarkers for stroke diagnosis and management. *Neuromolecular Med*. 2019;21(4):344–368. doi: 10.1007/s12017-019-08530-0
- 6.** Dias A, Silva L, Moura J, et al. Fluid biomarkers in stroke: From animal models to clinical care. *Acta Neurol Scand*. 2022;146(4):332–347. doi: 10.1111/ane.13668
- 7.** Dagonnier M, Donnan GA, Davis SM, et al. Acute stroke biomarkers: are we there yet? *Front Neurol*. 2021;12:619721. doi: 10.3389/fneur.2021.619721
- 8.** Monbailliu T, Goossens J, Hachimi-Idrissi S. Blood protein biomarkers as diagnostic tool for ischemic stroke: a systematic review. *Biomark Med*. 2017;11(6):503–512. doi: 10.2217/bmm-2016-0232
- 9.** Saenger AK, Christenson RH. Stroke biomarkers: progress and challenges for diagnosis, prognosis, differentiation, and treatment. *Clin Chem*. 2010;56(1):21–33. doi: 10.1373/clinchem.2009.133801
- 10.** Wang W, Li DB, Li RY, et al. Diagnosis of hyperacute and acute ischaemic stroke: the potential utility of exosomal MicroRNA-21-5p and MicroRNA-30a-5p. *Cerebrovasc Dis*. 2018;45(5-6):204–212. doi: 10.1159/000488365
- 11.** Dewdney B, Trollope A, Moxon J, et al. Circulating MicroRNAs as biomarkers for acute ischemic stroke: a systematic review. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2018;27(3):522–530. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.09.058
- 12.** Bejleri J, Jirström E, Donovan P, et al. Diagnostic and prognostic circulating MicroRNA in acute stroke: a systematic and bioinformatic analysis of current evidence. *J Stroke*. 2021;23(2):162–182. doi: 10.5853/jos.2020.05085
- 13.** Foerch C, du Mesnil de Rochemont R, Singer O, et al. S100B as a surrogate marker for successful clot lysis in hyperacute middle cerebral artery occlusion. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2003;74(3):322–325. doi: 10.1136/jnnp.74.3.322
- 14.** Foerch C, Singer OC, Neumann-Haefelin T, et al. Evaluation of serum S100B as a surrogate marker for long-term outcome and infarct volume in acute middle cerebral artery infarction. *Arch Neurol*. 2005;62(7):1130–1134. doi: 10.1001/archneur.62.7.1130

15. Wiese S, Karus M, Faissner A. Astrocytes as a source for extracellular matrix molecules and cytokines. *Front Pharmacol*. 2012;(3):120. doi: 10.3389/fphar.2012.00120
16. Furukawa H, Singh SK, Mancusso R, Gouaux E. Subunit arrangement and function in NMDA receptors. *Nature*. 2005; 438(7065):185–192. doi: 10.1038/nature04089
17. Dambinova SA, Bettermann K, Glynn T, et al. Diagnostic potential of the NMDA receptor peptide assay for acute ischemic stroke. *PLoS One*. 2012;7(7):e42362. doi: 10.1371/journal.pone.0042362
18. Weissman JD, Khunteev GA, Heath R, Dambinova SA. NR2 antibodies: risk assessment of transient ischemic attack (TIA)/stroke in patients with history of isolated and multiple cerebrovascular events. *J Neurol Sci*. 2011;300(1-2):97–102. doi: 10.1016/j.jns.2010.09.023
19. Dolmans LS, Rutten FH, Koenen NC, et al. Candidate biomarkers for the diagnosis of transient ischemic attack: a systematic review. *Cerebrovasc Dis*. 2019;47(5-6):207–216. doi: 10.1159/000502449
20. Stanca DM, Mărginean IC, Sorițău O, et al. GFAP and antibodies against NMDA receptor subunit NR2 as biomarkers for acute cerebrovascular diseases. *J Cell Mol Med*. 2015;19(9):2253–2261. doi: 10.1111/jcmm.12614
21. Allard L, Burkhard PR, Lescuyer P, et al. PARK7 and nucleoside diphosphate kinase A as plasma markers for the early diagnosis of stroke. *Clin Chem*. 2005;51(11):2043–2051. doi: 10.1373/clinchem.2005.053942
22. Tulantched DS, Min Z, Feng WX. Comparison of plasma PARK7 and NDKA diagnostic value in acute stroke. *Future Sci OA*. 2019;5(5):FS0375. doi: 10.2144/fsoa-2018-0080
23. Mingina T, Zhao M. Role of PARK7 and NDKA in stroke management: a review of PARK7 and NDKA as stroke biomarkers. *Biomark Med*. 2018;12(5):419–425. doi: 10.2217/bmm-2018-0013
24. Menon B, Ramalingam K, Conjeevaram J, Munisumitha K. Role of brain natriuretic peptide as a novel prognostic biomarker in acute ischemic stroke. *Ann Indian Acad Neurol*. 2016;19(4):462–466. doi: 10.4103/0972-2327.194422
25. Maruyama K, Shiga T, Iijima M, et al. Brain natriuretic peptide in acute ischemic stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2014;23(5): 967–972. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2013.08.003
26. Panagopoulou V, Deftereos S, Kossyvakis C, et al. NTproBNP: an important biomarker in cardiac diseases. *Curr Top Med Chem*. 2013;13(2):82–94. doi: 10.2174/1568026611313020002
27. Park KY, Ay I, Avery R, et al. New biomarker for acute ischaemic stroke: plasma glycogen phosphorylase isoenzyme BB. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2018;89(4):404–409. doi: 10.1136/jnnp-2017-316084
28. Lim WY, Thevarajah TM, Goh BT, Khor SM. Paper microfluidic device for early diagnosis and prognosis of acute myocardial infarction via quantitative multiplex cardiac biomarker detection. *Biosens Bioelectron*. 2019;(128):176–185. doi: 10.1016/j.bios.2018.12.049
29. Reynolds MA, Kirchick HJ, Dahlen JR, et al. Early biomarkers of stroke. *Clin Chem*. 2003;49(10):1733–1739. doi: 10.1373/49.10.1733
30. Laskowitz DT, Kasner SE, Saver J, et al.; BRAIN Study Group. Clinical usefulness of a biomarker-based diagnostic test for acute stroke: the Biomarker Rapid Assessment in Ischemic Injury (BRAIN) study. *Stroke*. 2009;40(1):77–85. doi: 10.1161/STROKEAHA.108.516377
31. Wu J, Du K, Lu X. Elevated expressions of serum miR-15a, miR-16, and miR-17-5p are associated with acute ischemic stroke. *Int J Clin Exp Med*. 2015;8(11):21071–21079.
32. Tian C, Li Z, Yang Z, et al. Plasma microRNA-16 is a biomarker for diagnosis, stratification, and prognosis of hyperacute cerebral infarction. *PLoS One*. 2016;11(11):e0166688. doi: 10.1371/journal.pone.0166688
33. Pujol-Calderón F, Zetterberg H, Portelius E, et al. Prediction of outcome after endovascular embolectomy in anterior circulation stroke using biomarkers. *Transl Stroke Res*. 2022;13(1):65–76. doi: 10.1007/s12975-021-00905-5
34. Foerch C, Singer O, Neumann-Haefelin T, et al. Utility of serum GFAP in monitoring acute MCA territorial infarction. *Cerebrovasc Dis*. 2003;16(Suppl. 4):45.
35. Foerch C, Curdt I, Yan B, et al. Serum glial fibrillary acidic protein as a biomarker for intracerebral haemorrhage in patients with acute stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2006;77(2):181–184. doi: 10.1136/jnnp.2005.074823
36. Dvorak F, Haberer I, Sitzer M, Foerch C. Characterisation of the diagnostic window of serum glial fibrillary acidic protein for the differentiation of intracerebral haemorrhage and ischaemic stroke. *Cerebrovasc Dis*. 2009;27(1):37–41. doi: 10.1159/000172632
37. Katsanos AH, Makris K, Stefani D, et al. Plasma glial fibrillary acidic protein in the differential diagnosis of intracerebral hemorrhage. *Stroke*. 2017;48(9):2586–2588. doi: 10.1161/STROKEAHA.117.018409
38. Mattila OS, Ashton NJ, Blennow K, et al. Ultra-Early differential diagnosis of acute cerebral ischemia and hemorrhagic stroke by measuring the prehospital release rate of GFAP. *Clin Chem*. 2021;67(10):1361–1372. doi: 10.1093/clinchem/hvab128
39. Pelinka LE, Kroepfl A, Schmidhammer R, et al. Glial fibrillary acidic protein in serum after traumatic brain injury and multiple trauma. *J Trauma*. 2004;57(5):1006–1012. doi: 10.1097/01.ta.0000108998.48026.c3
40. Jung CS, Foerch C, Schänzer A, et al. Serum GFAP is a diagnostic marker for glioblastoma multiforme. *Brain*. 2007;130(Pt 12): 3336–3341. doi: 10.1093/brain/awm263
41. Luger S, Jæger HS, Dixon J, et al. Diagnostic accuracy of glial fibrillary acidic protein and ubiquitin carboxy-terminal hydrolase-11 serum concentrations for differentiating acute intracerebral hemorrhage from ischemic stroke. *Neurocrit Care*. 2020;33(1):39–48. doi: 10.1007/s12028-020-00931-5
42. Leung LY, Chan CP, Leung YK, et al. Comparison of miR-124-3p and miR-16 for early diagnosis of hemorrhagic and ischemic stroke. *Clin Chim Acta*. 2014;(433):139–144. doi: 10.1016/j.cca.2014.03.007
43. Castellanos M, Leira R, Serena J, et al. Plasma metalloproteinase-9 concentration predicts hemorrhagic transformation in acute ischemic stroke. *Stroke*. 2003;34(1):40–46.
44. Yuan R, Tan S, Wang D, et al. Predictive value of plasma matrix metalloproteinase-9 concentrations for spontaneous haemorrhagic transformation in patients with acute ischaemic stroke: a cohort study in Chinese patients. *J Clin Neurosci*. 2018;58:108–112. doi: 10.1016/j.jocn.2018.09.014
45. Inzitari D, Giusti B, Nencini P, et al. MMP9 variation after thrombolysis is associated with hemorrhagic transformation of lesion and death. *Stroke*. 2013;44(10):2901–2903. doi: 10.1161/STROKEAHA.113.002274
46. Mechtouff L, Bochaton T, Paccalet A, et al. Matrix metalloproteinase-9 relationship with infarct growth and hemorrhagic transformation in the era of thrombectomy. *Front Neurol*. 2020;(11):473. doi: 10.3389/fneur.2020.00473

- 47.** Krishnamoorthy S, Singh G, Jose KJ, et al. Biomarkers in the prediction of hemorrhagic transformation in acute stroke: a systematic review and meta-analysis. *Cerebrovasc Dis.* 2022;51(2):235–247. doi: 10.1159/000518570
- 48.** Tiedt S, Duerig M, Barro C, et al. Serum neurofilament light: a biomarker of neuroaxonal injury after ischemic stroke. *Neurology.* 2018;91(14):e1338–e1347. doi: 10.1212/WNL.0000000000006282
- 49.** Purroy F, Farré-Rodriguez J, Mauri-Capdevila G, et al. Basal IL-6 and S100b levels are associated with infarct volume. *Acta Neurol Scand.* 2021;144(5):517–523. doi: 10.1111/ane.13487
- 50.** Uphaus T, Bittner S, Gröschel S, et al. NFL (Neurofilament Light Chain) levels as a predictive marker for long-term outcome after ischemic stroke. *Stroke.* 2019;50(11):3077–3084. doi: 10.1161/STROKEAHA.119.026410
- 51.** Jiang J, Tan C, Zhou W, et al. Plasma C-reactive protein level and outcome of acute ischemic stroke patients treated by intravenous thrombolysis: a systematic review and meta-analysis. *Eur Neurol.* 2021;84(3):145–150. doi: 10.1159/000514099
- 52.** Oh BM. A path to precision medicine: incorporating blood-based biomarkers in stroke rehabilitation. *Ann Rehabil Med.* 2021;45(5):341–344. doi: 10.5535/arm.21171
- 53.** Zeng L, Liu J, Wang Y, et al. MicroRNA-210 as a novel blood biomarker in acute cerebral ischemia. *Front Biosci (Elite Ed).* 2011;3(4):1265–1272. doi: 10.2741/e330
- 54.** Zhou J, Chen L, Chen B, et al. Increased serum exosomal miR-134 expression in the acute ischemic stroke patients. *BMC Neurol.* 2018;18(1):198. doi: 10.1186/s12883-018-1196-z
- 55.** Picelli A, Filippetti M, Del Piccolo L, et al. Rehabilitation and biomarkers of stroke recovery: study protocol for a randomized controlled trial. *Front Neurol.* 2021;11:618200. doi: 10.3389/fneur.2020.618200

## ОБ АВТОРАХ

\* **Пономарев Григорий Вячеславович**, к.м.н.;  
адрес: Россия, 197022, Санкт-Петербург,  
ул. Льва Толстого, д. 6-8;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6219-8855>;  
eLibrary SPIN: 1143-4227; e-mail: [grigoryponomarev@yandex.ru](mailto:grigoryponomarev@yandex.ru)

**Полякова Александра Викторовна**, к.м.н.;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6426-3091>;  
eLibrary SPIN: 7714-6154; e-mail: [polyakova.alexandra@bk.ru](mailto:polyakova.alexandra@bk.ru)

**Прохорова Мария Викторовна**, м.н.с.;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3412-0038>;  
eLibrary SPIN: 9565-1368; e-mail: [airty@mail.ru](mailto:airty@mail.ru)

**Вознюк Игорь Алексеевич**, д.м.н., профессор;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0340-4110>;  
eLibrary SPIN: 3340-2897; e-mail: [voznjouk@yandex.ru](mailto:voznjouk@yandex.ru)

## AUTHORS' INFO

\* **Grigory V. Ponomarev**, MD, Cand. Sci. (Med.);  
address: 6-8 Leo Tolstoy street, 197022,  
St. Petersburg, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6219-8855>;  
eLibrary SPIN: 1143-4227; e-mail: [grigoryponomarev@yandex.ru](mailto:grigoryponomarev@yandex.ru)

**Alexandra V. Polyakova**, MD, Cand. Sci. (Med.);  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6426-3091>;  
eLibrary SPIN: 7714-6154; e-mail: [polyakova.alexandra@bk.ru](mailto:polyakova.alexandra@bk.ru)

**Mariia V. Prokhorova**, Junior Research Associate;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3412-0038>;  
eLibrary SPIN: 9565-1368; e-mail: [airty@mail.ru](mailto:airty@mail.ru)

**Igor A. Voznjouk**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0340-4110>;  
eLibrary SPIN: 3340-2897; e-mail: [voznjouk@yandex.ru](mailto:voznjouk@yandex.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab110384>

# Проблемы и перспективы информационных технологий в здравоохранении России: современные реалии

И.В. Борисов<sup>1</sup>, В.А. Бондарь<sup>2</sup>, Д.А. Кудинов<sup>3</sup>, Ю.Ю. Некрасова<sup>1</sup>, М.М. Канарский<sup>1</sup>,  
П. Прадхан<sup>1, 4</sup>, В.С. Сорокина<sup>1</sup>, И.В. Редкин<sup>1</sup>, А.В. Гречко<sup>1</sup>, М.В. Петрова<sup>1, 4</sup>

<sup>1</sup> Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Лыткино, Московская область, Российская Федерация

<sup>2</sup> Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> Диджитал Девелоп Ру, Кудрово, Ленинградская область, Российская Федерация

<sup>4</sup> Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

Информационно-коммуникационные технологии проникают во все направления повседневной жизни современного общества, обучаясь, помогая и заменяя труд человека. Без информационных технологий уже невозможно представить и область медицинской науки: в настоящее время и в недалёкой перспективе они позволят усовершенствовать непрерывность наблюдения за состоянием здоровья, возьмут на себя прогнозирование рисков осложнений, корректировку лекарственной терапии в течение жизни и многие другие процессы.

Статья посвящена проблемам и перспективам информационных технологий в здравоохранении России. Представлена общая модель информационных технологий, освещены проблемы и пути решения ограничений со стороны западных кампаний.

Ввиду цифровизации системы здравоохранения в нашей стране существует необходимость обеспечения непрерывности и независимости от внешнего воздействия информационно-технологических систем в полном их цикле: от клиентских терминалов и систем связи до серверов хранения и обработки данных.

Важнейший фактор, который позволяет с уверенностью говорить о развитии специализированных информационно-технологических решений в системе здравоохранения Российской Федерации — эффективная государственная политика в обеспечении цифровизации экономики: национальные проекты, государственные программы, изменение законодательства, дорожные карты достижения ключевых показателей.

**Ключевые слова:** здравоохранение; искусственный интеллект; технологии; дистанционные технологии; медицина; помощь; реабилитация; инвалидность; ограничение жизнедеятельности; медико-социальная экспертиза.

## Как цитировать

Борисов И.В., Бондарь В.А., Кудинов Д.А., Некрасова Ю.Ю., Канарский М.М., Прадхан П., Сорокина В.С., Редкин И.В., Гречко А.В., Петрова М.В. Проблемы и перспективы информационных технологий в здравоохранении России: современные реалии // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2022. Т. 4, № 4. С. 271–282. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab110384>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab110384>

## Problems and prospects of it in healthcare in Russia: modern realities

Ilya V. Borisov<sup>1</sup>, Valeriya A. Bondar<sup>2</sup>, Dmitriy A. Kudinov<sup>3</sup>, Iuliia Yu. Nekrasova<sup>1</sup>, Mikhail M. Kanarskii<sup>1</sup>, Pranil Pradhan<sup>1, 4</sup>, Viktoriya S. Sorokina<sup>1</sup>, Ivan V. Redkin<sup>1</sup>, Andrey V. Grechko<sup>1</sup>, Marina V. Petrova<sup>1, 4</sup>

<sup>1</sup> Federal Scientific and Clinical Center of Reanimatology and Rehabilitation, Lytkino, Moscow region, Russian Federation

<sup>2</sup> National Medical Research Center for Children's Health, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Digital Developer LLC, Kudrovo, Leningrad Region, Russian Federation

<sup>4</sup> Peoples Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

Information and communication technologies penetrate into all areas of everyday life of modern society, learning, helping and replacing human labor. Without information technologies, it is already impossible to imagine the field of medical science: at present and in the near future, they will improve the continuity of health monitoring, take over the prediction of the risks of complications, the adjustment of drug therapy during life and many other processes.

The article is devoted to the problems and prospects of information technologies in healthcare in Russia. The general model of information technologies, problems and ways of solving the restrictions from Western campaigns are highlighted. In view of the digitalization of the healthcare system in our country, the article talks about the need to ensure the continuity and independence from external influence of information technology systems in its full cycle: from client terminals, communication systems, to data storage and processing servers.

The most important factor that allows us to speak with confidence about the development of specialized information technologies solutions in the healthcare system of the Russian Federation is an effective state policy in ensuring the digitalization of the economy: national projects, government programs, changes in legislation, roadmaps for achieving key indicators.

**Keywords:** healthcare; artificial intelligence; technologies; remote technologies; medicine; assistance; rehabilitation; disability; sociomedical assessment.

### To cite this article

Borisov IV, Bondar VA, Kudinov DA, Nekrasova IuYu, Kanarskii MM, Pradhan P, Sorokina VS, Redkin IV, Grechko AV, Petrova MV. Problems and prospects of it in healthcare in Russia: modern realities. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2022;4(4):271–282. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab110384>

Received: 26.08.2022

Accepted: 30.10.2022

Published: 18.11.2022

**Список сокращений**

ЕМИАС — Единая медицинская информационно-аналитическая система

ИИ — искусственный интеллект

ИТ — информационные технологии

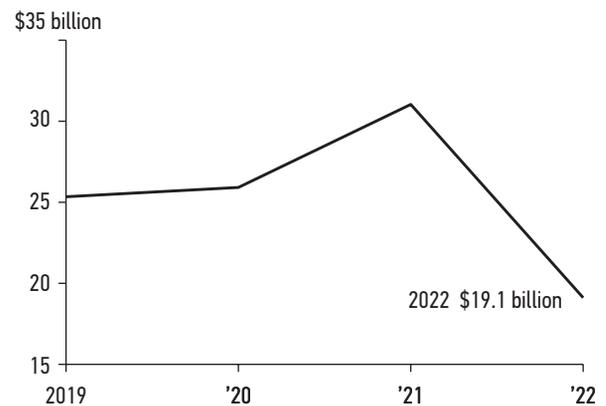
**ВВЕДЕНИЕ**

Информационные технологии (ИТ) во всём мире проникают во все направления повседневной деятельности людей, обучаясь, помогая и заменяя человеческий труд. В настоящее время существует большое количество компаний, эффективность и вектор дальнейшего развития которых формируются в результате глубокого анализа ежедневных процессов, микро- и макроизменений, происходящих в мире. До развития и адаптации ИТ в рабочий процесс аналитические отделы предприятий, состоящие из групп специалистов высокой квалификации, формировали отчёты, затрачивая на это существенный объём времени и сил. В настоящее время ИТ с применением алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) сокращает значительное количество времени на данный процесс, обеспечивая высокую результативность с более эффективным соотношением критерия результат–затраченное время.

ИТ вошли и в область медицинской науки, оказывая существенную помощь медицинским работникам в решении актуальных практических задач: так, например, в период пандемии с помощью ИТ-технологий был расшифрован колоссальный массив рентгеновских снимков лёгких; проведён массовый скрининг температуры тела в общественных местах с идентификацией личности; разработаны новые формы лекарственных средств и др. В настоящее время и в недалёкой перспективе ИТ позволят усовершенствовать непрерывность наблюдения за состоянием здоровья, возьмут на себя прогнозирование рисков осложнений, корректировку лекарственной терапии в течение жизни человека и многие другие процессы.

Насыщение отрасли здравоохранения передовыми решениями, построенными на базе ИТ, связано с рядом комплексных обстоятельств: современная геополитическая ситуация, обусловленная внешними ограничениями Российской Федерации, привела к необходимости применения и развития ИТ силами собственного производства. Сложности реализации этих целей объясняются тем, что за всё время развития технологического процесса львиная доля комплектующих и готовых программных решений поставлялась из других стран, что экономически было значительно выгоднее развития собственных производств с длительной окупаемостью. Это привело к деградации инфраструктуры производства российских ИТ, которые базируются на электронных компонентах собственных разработок. Однако события последних лет могут стать пусковым механизмом к созданию частных и государственных производственных компаний, которые в перспективе обеспечат независимость от внешнего воздействия и восполнят дисбаланс технологической базы страны.

Russia IT Spending, 2019–2022



Note: The years 2021 and 2022 are forecast estimates.  
Source: International Data Corp.

**Рис. 1.** Прогноз ИТ-сектора рынка Российской Федерации в 2022 году ([https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок\\_России#](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок_России#)).

**Fig. 1.** Forecast of the IT sector of the Russian Federation market in 2022 ([https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок\\_России#](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок_России#)).

После введения в I квартале 2022 года экономических санкций в отношении Российской Федерации крупнейшие западные ИТ-гиганты, такие как Microsoft, Oracle, Cisco, IBM, Adobe, SAP, Intel, AMD и др., приняли решение ограничить или прекратить деятельность в нашей стране. В совокупности эти компании создали брешь во всём ИТ-секторе экономики нашей страны. По прогнозам консалтинговой компании IDC (International Data Corporation, США), объём ИТ-рынка в 2022 году сократится на 12,1 млрд долларов, что соответствует 39% относительно показателей 2021 года, и составит 19,1 млрд долларов (рис. 1)<sup>1</sup>.

**РОССИЙСКИЕ ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ: ТЕКУЩАЯ РЕАЛЬНОСТЬ**

В Российской Федерации уже разработаны программные продукты, которые по своему функционалу аналогичны западным. К таким можно отнести «МойОфис», предоставляющий возможности пакета программ Microsoft 365, а «1С» включает в себя ряд функций, которые заложены в программное обеспечение компании SAP. Введённые экономические

<sup>1</sup> ИТ-рынок России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок\\_России#](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок_России#). Дата обращения: 31.08.2022.

санкции привели отечественные компании к необходимости перехода на программное обеспечение российского производства с целью продолжения своей деятельности, однако для ряда организаций данный переход затруднителен вследствие высокой интеграции их производства в программное обеспечение определённых зарубежных разработчиков.

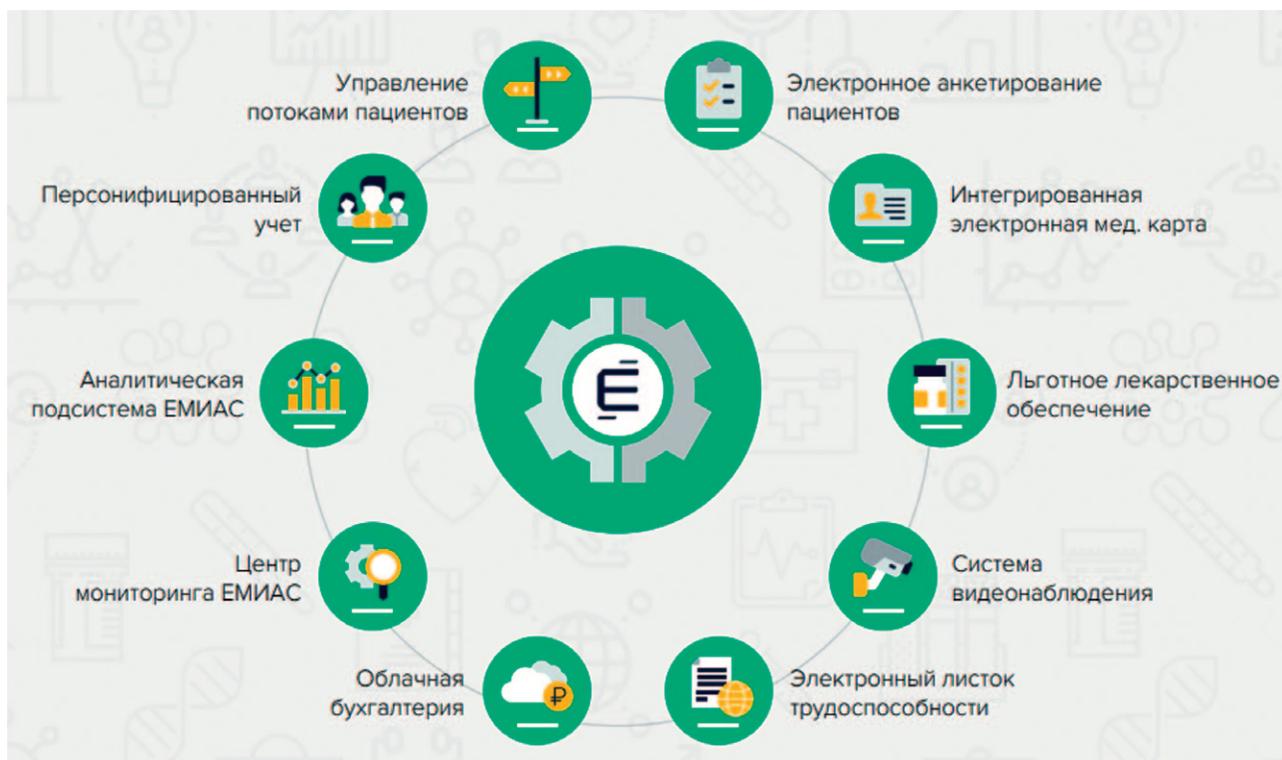
Сигналы о необходимости перехода и начала разработки отечественного программного обеспечения поступали ещё в 2014 году, когда санкции западных компаний демонстрировали возможности односторонней отмены лицензий на купленное программное обеспечение и прекращения услуг облачных технологий для российских компаний. Текущая реальность свидетельствует о наступлении того момента, когда независимость от внешнего воздействия могут ощутить малый и крупный бизнес нашей страны.

В 2014 году начался переход с операционной системы MS Windows: предприятия перешли на российские операционные системы, разработанные на базе свободно распространяемого ядра Linux: Astra Linux, Alt Linux, РЕД ОС, Эльбрус и др., что коснулось как частных, так и государственных организаций (школ, медицинских организаций, военных с наивысшей секретностью). Цифровизация системы здравоохранения в нашей стране также требует обеспечения непрерывности и независимости от внешнего воздействия информационно-технологических систем в полном их цикле: от клиентских терминалов и систем связи до серверов хранения и обработки данных.

Одной из показательных медицинских систем, построенной на базе открытого программного обеспечения,

является Единая медицинская информационно-аналитическая система (ЕМИАС), разработанная Департаментом информационных технологий города Москвы. Впервые ЕМИАС была представлена в марте 2013 года, а к 2022 году уже полностью интегрирована в систему здравоохранения города Москвы, включая поликлиническую сеть, родильные дома, перинатальные центры и другие медицинские организации (рис. 2). За технологическую основу ЕМИАС взяты система Alt Linux и офисный пакет LibreOffice. Серверная операционная система базируется на SLES. Фактически полная программная независимость делает систему ЕМИАС надёжной, активно развивающейся системой. По мощности к числу подобных систем можно отнести Портал государственных услуг Российской Федерации (gosuslugi.ru) и Портал госуслуг Москвы (pgu.mos.ru). С другой стороны, отсутствие в России электронных компонентов (процессоров, модулей памяти), равных по своей производительности импортным, в сложившейся ситуации отказа в поставках продукции компаний Intel и AMD ставит под угрозу отдалённую перспективу безотказности работы узлов серверов и клиентских модулей, не говоря про возможности улучшения производительности с постоянным возрастанием нагрузки на систему. Это приводит к необходимости разработки высокопроизводительных аппаратных комплексов для внедрения в государственные системы.

В настоящее время АО «МЦСТ» (Московский центр SPARC-технологий) занимается производством микропроцессоров, микроконтроллеров, проектированием отказоустойчивых компьютеров на базе микропроцессоров



**Рис. 2.** Возможности Единой медицинской информационно-аналитической системы.

**Fig. 2.** Capabilities of the Unified Medical Information and Analytical System.

собственной разработки и других систем и модулей. К настоящему времени производимые процессоры «Эльбрус» имеют ряд ограничений по производительности и не могут конкурировать с продуктами компаний Intel и AMD. В проекте АО «МЦСТ» — разработать к 2025 году 7-е поколение архитектуры «Эльбрус» — «Эльбрус-32С» (высокопроизводительный 32-ядерный микропроцессор), однако существенной выглядит проблема производства микроконтроллеров на заводе TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) в Тайване, который, наряду с многими ИТ-компаниями, присоединился к санкциям и больше не поставляет свою продукцию в нашу страну<sup>2</sup>. С аналогичной проблемой столкнулась отечественная компания зеленоградского Научно-производственного центра «Электронные вычислительно-информационные системы» (АО НПЦ «Элвис»), производство микросхем для которой завязано с тем же тайваньским предприятием<sup>3</sup>.

Практика расположения производственных мощностей в других странах не нова. Американская компания Intel производит свои электронные компоненты в других странах. В частности, в 2010 году заработал первый завод в Китае, на строительство которого ушло более 3 лет и 2,5 млрд долларов. До настоящего времени 80% микросхем производится в Азии (в основном это тайваньская TSMC и южнокорейская Samsung). Понимая возможные геополитические изменения в мире, в планах компании в конце 2022 года приступить к строительству нового крупного комплекса в штате Огайо (США) при государственной поддержке. Правительство США нацелено на локализацию производства и принимает дополнительные меры, чтобы компании строили дополнительные фабрики в стране<sup>4, 5</sup>.

Единственным в России заводом по производству микросхем является предприятие «Микрон». В настоящее время это самый современный завод с техпроцессом 65 нм, что, по мировым меркам, соответствует уровню 20-летней давности. Таким образом, ни АО «МЦСТ», ни АО «Микрон» не смогут реализовывать свои технологии ввиду их работы с топологией 16 нм с перспективой скорого перехода на 10 нм. Другой российский завод по производству электронных компонентов с топологией 600 нм — АО «Ангстрем» — ориентирован на военно-промышленный комплекс.

## ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Необходимость в развитии собственных технологических мощностей должна стать одной из стратегических целей современного этапа информационной эволюции Российской Федерации. Широта и потенциал использования информационных технологий вынуждает использовать современную высокопроизводительную основу для использования в различных нишах повседневной деятельности. С этой целью российский завод «Микрон» собирается удвоить объёмы выпускаемой продукции, и к 2025 году суммарный выпуск кремниевых пластин для микросхем с топологией 180–90 нм должен увеличиться с нынешних 3000 в месяц до 6000<sup>6</sup>. Ускоренное развитие технологического процесса полного цикла окажет существенное влияние на перспективы развития ключевых систем государства, включая одну из самых важных — здравоохранение.

Важнейший фактор, который позволяет с уверенностью говорить о развитии специализированных ИТ-решений в системе здравоохранения Российской Федерации, — эффективная государственная политика в обеспечении цифровизации экономики: национальные проекты, государственные программы, изменение законодательства, дорожные карты достижения ключевых показателей. Одним из решений является программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [1], принятая в целях реализации стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы. Программой предусматриваются три тесно взаимодействующих друг с другом уровня: рынки и отрасли экономики, платформы и технологии, среда. Основными сквозными цифровыми технологиями, которые входят в рамки программы, являются большие данные, нейротехнологии и ИИ, системы распределённого реестра, квантовые технологии, новые производственные технологии, промышленный интернет, компоненты робототехники и сенсорики, технологии беспроводной связи, технологии виртуальной и дополненной реальности. Все эти технологии являются необходимыми элементами, на основе которых создаются в том числе отраслевые решения, востребованные в практическом здравоохранении: автоматизация, инструменты принятия решений на основе данных, роботизированные средства реабилитации, интернет-медицинских вещей, телемедицина и др.

В соответствии с положениями Программы «Цифровая экономика Российской Федерации», реализация отдельных направлений по отраслям экономики (при этом сфера здравоохранения указывается как приоритетная), включая контрольно-надзорную деятельность, осуществляется на основе специальных разделов, а также путём разработки дорожных карт с датой реализации (достижение

<sup>2</sup> Все, что известно о процессорах «Эльбрус». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://club.dns-shop.ru/digest/54388-vse-chto-izvestno-o-protessorah-elbrus/>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>3</sup> Российские процессоры сделают на Тайване. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2021/03/03/860132-rossiiskie-protessori>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>4</sup> Intel построит в Огайо два новых завода за \$20 млрд с местом под расширение. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/news/t/647423/>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>5</sup> Intel открыла первый завод в Китае. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.cnews.ru/news/top/intel\\_otkryla\\_pervyj\\_zavod\\_v\\_kitae](https://www.cnews.ru/news/top/intel_otkryla_pervyj_zavod_v_kitae). Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>6</sup> Российский «чипмейкер № 1» удваивает производство. Российской микроэлектронике дадут новую жизнь. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.cnews.ru/news/top/2022-04-22\\_rossijskij\\_chipmejker\\_1](https://www.cnews.ru/news/top/2022-04-22_rossijskij_chipmejker_1). Дата обращения: 31.08.2022.

заданных параметров) к 31 декабря 2024 года. В настоящее время, согласно дорожным картам, достигнуто значительное количество целей, необходимых для реализации задач в развитии новых информационных технологий в сфере здравоохранения, таких как запуск необходимых инфраструктурных решений, обеспечение медицинских организаций широкополосным доступом в сеть Интернет, запуск и стимулирование образовательных и научно-исследовательских программ, институтов, стартапов и других мероприятий в системе здравоохранения, а также в смежных отраслях. Особенно следует отметить мероприятия, направленные на совершенствование законодательства и инфраструктуры в системе телемедицинских технологий, а также разработку и запуск в работу Единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения. Все эти, равно как и многие другие решения, связанные единой нормативной и целеполагающей базой, сформировали основу для развития информационных технологий в практическом здравоохранении Российской Федерации: увеличение численности профильных специалистов с необходимым уровнем цифровых компетенций, доступность цифровых инструментов для медицинских организаций, увеличение численности специалистов по направлению «организация здравоохранения», обладающих необходимыми управленческими и кросс-культурными компетенциями, и др.

Увеличение объёма практических задач в системе здравоохранения, решаемых за счёт или с применением информационных технологий, само по себе становится стимулирующим основанием и базой для формирования новых решений, что позволяет говорить, в том числе, по состоянию на 2022 год, о формировании синергетического эффекта.

Тем не менее ряд задач в соответствии с дорожными картами программы «Цифровая экономика Российской Федерации», по состоянию на 2022 год, ещё только предстоит достигнуть. В частности, на 2023 год запланировано достижение показателей в области межведомственного электронного документооборота, а также в 2023 году планируется создание так называемой инфраструктуры «Цифровой профиль». От этих и других задач в первую очередь зависят сроки полноценного внедрения в практическое здравоохранение Российской Федерации многих цифровых инструментов, предусматривающих передачу и использование персональных данных пациентов, а также иные виды документооборота, используемого в лечении пациентов и обеспечении деятельности медицинских организаций. Немаловажно, что с момента появления необходимых цифровых решений, снабжённых правовыми основами, организациям и специалистам, работающим с такими решениями, равно как ведущим их разработку и адаптацию, потребуется время на проведение всех необходимых мероприятий.

При рассмотрении путей развития ИТ в здравоохранении Российской Федерации следует отметить, что одним из перспективных направлений является интеграция государственной системы ведения электронных медицинских

карт в медицинские организации всех регионов страны. Включение элементов ИИ в систему сбора и обработки больших данных поможет в прогнозировании эпидемиологических процессов, улучшении тактики лечения и прогнозирования потребностей в медицинской помощи в различных городах и сёлах, в том числе удалённых. Это также в перспективе позволит обеспечить непрерывность этапов оказания медицинской помощи, включая амбулаторный этап реабилитации.

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА СТРАЖЕ СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

### Направленность информационных технологий

Современное развитие системы здравоохранения во всём мире неотъемлемо связано с информационными технологиями, в частности ИИ. Согласно прогнозу McKinsey & Company (Международная консалтинговая компания, специализирующаяся на решении задач, связанных со стратегическим управлением), к 2030 году с помощью ИИ будет автоматизировано 15% рабочего времени специалистов в сфере здравоохранения. Наибольшая доля технологий будет применена для сбора и обработки данных, выполнения физических действий и работы с оборудованием в предсказуемых условиях<sup>7, 8</sup>.

Значительная роль и потенциальная польза технологий в здравоохранении подтверждается также недавним приобретением ИТ-гигантом Microsoft компании Nuance Communication за 19,7 млрд долларов США. Приобретённая компания разработала программное обеспечение по переводу речи в текст, что нашло своё применение в системе здравоохранения<sup>9</sup>. По прогнозам Research and Markets (аналитическое агентство по исследованию рынка), объём мирового рынка ИИ в здравоохранении достигнет 51,3 млрд долларов США. Для сравнения, в 2016 году он составлял 1,1 млрд долларов США. Существенную роль во внедрении ИИ в сферу здравоохранения играет частный сектор: инвестиции венчурного капитала в проекты, связанные со здравоохранением, достигают 8,5 млрд долларов США<sup>10</sup>.

<sup>7</sup> Transforming healthcare with AI: The impact on the workforce and organizations. [Internet]. Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/transforming-healthcare-with-ai>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>8</sup> Making healthcare more affordable through scalable automation. [Internet]. Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/making-healthcare-more-affordable-through-scalable-automation>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>9</sup> Microsoft goes all in on healthcare with \$19.7B Nuance acquisition. [Internet]. Режим доступа: <https://techcrunch.com/2021/04/12/microsoft-goes-all-in-on-healthcare-with-19-7b-nuance-acquisition/>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>10</sup> Transforming healthcare with AI: The impact on the workforce and organizations. [Internet]. Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/transforming-healthcare-with-ai>. Дата обращения: 31.08.2022.

В медицинском сообществе может возникнуть опасение в вопросе замены человеческого труда на машинный с развитием технологий, однако практически все технологии направлены на упрощение труда медицинского персонала, улучшение качества оказываемой помощи, корректировку лекарственной терапии и другие аспекты медицинской деятельности. К числу применяемых технологий следует отнести умные кровати, которые непрерывно регистрируют показатели состояния здоровья пациента и информируют о них медицинским работникам; робототехнику в хирургической практике (Da Vinci); носимые устройства, отслеживающие у больных с хроническими заболеваниями уровень артериального давления, значения сахара в крови и т.д.; роботизированные тележки, которые доставляют еду, хирургическое оборудование и расходные материалы в медицинских центрах.

Успешным достижением в нейротехнологии является технология Neuralink, представленная в 2019 году Илоном Маском. Данная технология позволяет считывать информацию из структур головного мозга. В основе — шесть нитей толщиной четыре микрометра. На каждой нити закреплено несколько десятков электродов, которые вживляются в головной мозг специальным роботом. Их задача — мониторировать активность мозга и передавать данные с помощью чипа, расположенного за ухом. В перспективе предполагается беспроводная передача данных. В 2021 году данный чип был вживлён в мозг обезьяны, что позволило проанализировать активность работы головного мозга во время игры примата сначала при помощи джойстика, а затем уже при помощи силы мысли<sup>11, 12</sup>.

Глобально технология ИИ применима на различных уровнях:

- проектирования: прогнозирование заболеваний, выявление групп пациентов с высоким риском заболеваний, организация профилактических мер;
- производства: автоматизация и оптимизация процессов в больницах, автоматизация и повышение точности диагностики;
- продвижения: управление ценообразованием, снижение рисков для пациентов;
- обслуживания: адаптация терапии и состава лекарств для каждого отдельного пациента, использование виртуальных ассистентов для построения маршрута пациента в поликлинике или больнице.

В сентябре 2021 года стало известно о создании нового аппаратно-программного комплекса для ситуационного центра Минздрава России, который предназначен для того, чтобы в режиме реального времени получать информацию о различных ситуациях, показателях и отчётах (заболеваемость

населения, количество больных и т.п.), касающихся сферы здравоохранения. В рамках обновления планируется создать единую базу медицинских знаний с использованием ИИ. На данные нужды заложено 150 млн рублей<sup>13</sup>.

## Интеграция информационных технологий в персонализированную медицину

Применение технологий приводит в совокупности к развитию предиктивной, превентивной и персонализированной медицины. Согласно Концепции развития, принятой в 2018 году Приказом Министерства здравоохранения РФ [2], под персонализированной понимают медицину, в основе которой лежит анализ характеристик, которые можно объективно измерить и которые могут служить индикатором физиологических и патологических биологических процессов или фармакологических ответов на проводимое лечение, называемых биомаркерами, а также применение персонализированных методов и способов лечения заболеваний и коррекции состояний.

Ещё в древние времена было отмечено, что одно и то же лекарство помогает одному человеку и не помогает либо откровенно вредит другому человеку с тем же заболеванием. Открытия XXI века в области науки о жизни (Life sciences), такие как полная расшифровка генома человека в 2003 году и последовавший за этим проект «1000 геномов», позволили объяснить, почему так происходит: генетический код всех людей совпадает более чем на 99%, а оставшимся 1% обусловлены все наши индивидуальные различия и реакции организма.

Персонализированная медицина помогает обнаружить предрасположенность к заболеваниям, приостановить их развитие и приступить к лечению на ранних стадиях. Такой подход существенно снижает расходы на здравоохранение (лечение на поздних стадиях заболевания обходится значительно дороже), поэтому персонализированная медицина экономически выгодна. По данным Precedence Research (международная компания по исследованию рынка), рынок персонализированной медицины оценивался в 2019 году в 59 трлн долларов, а к 2027 году показатель, по прогнозам, вырастет до 141 трлн долларов, при этом совокупный среднегодовой темп роста к 2025 году составит 10,6%.

Одной из первых и самых развитых областей применения персонализированной медицины стала онкология. Например, известно, что определённые мутации в генах *BRCA1* или *BRCA2* повышают риск развития рака груди у женщин до 85% вместо обычных 13%. Зная о наличии такой мутации, можно сосредоточиться на превентивных мерах, т.е. чаще проводить мониторинг с целью обнаружения болезни на ранней стадии.

Однако в настоящее время персонализированную медицину используют для лечения не только редких

<sup>11</sup> Elon Musk's Neuralink could transition from implanting chips in monkeys to humans within the year. [Internet]. Режим доступа: <https://www.businessinsider.com/elon-musk-predicts-neuralink-chip-human-brain-trials-possible-2021-2021-2>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>12</sup> Продлить жизнь и победить смерть — на что способен искусственный интеллект. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/netologyru/blog/561692/>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>13</sup> Искусственный интеллект в медицине. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://zdrav.expert/index.php/Статья:Искусственный\\_интеллект\\_в\\_медицине](https://zdrav.expert/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_в_медицине). Дата обращения: 31.08.2022.

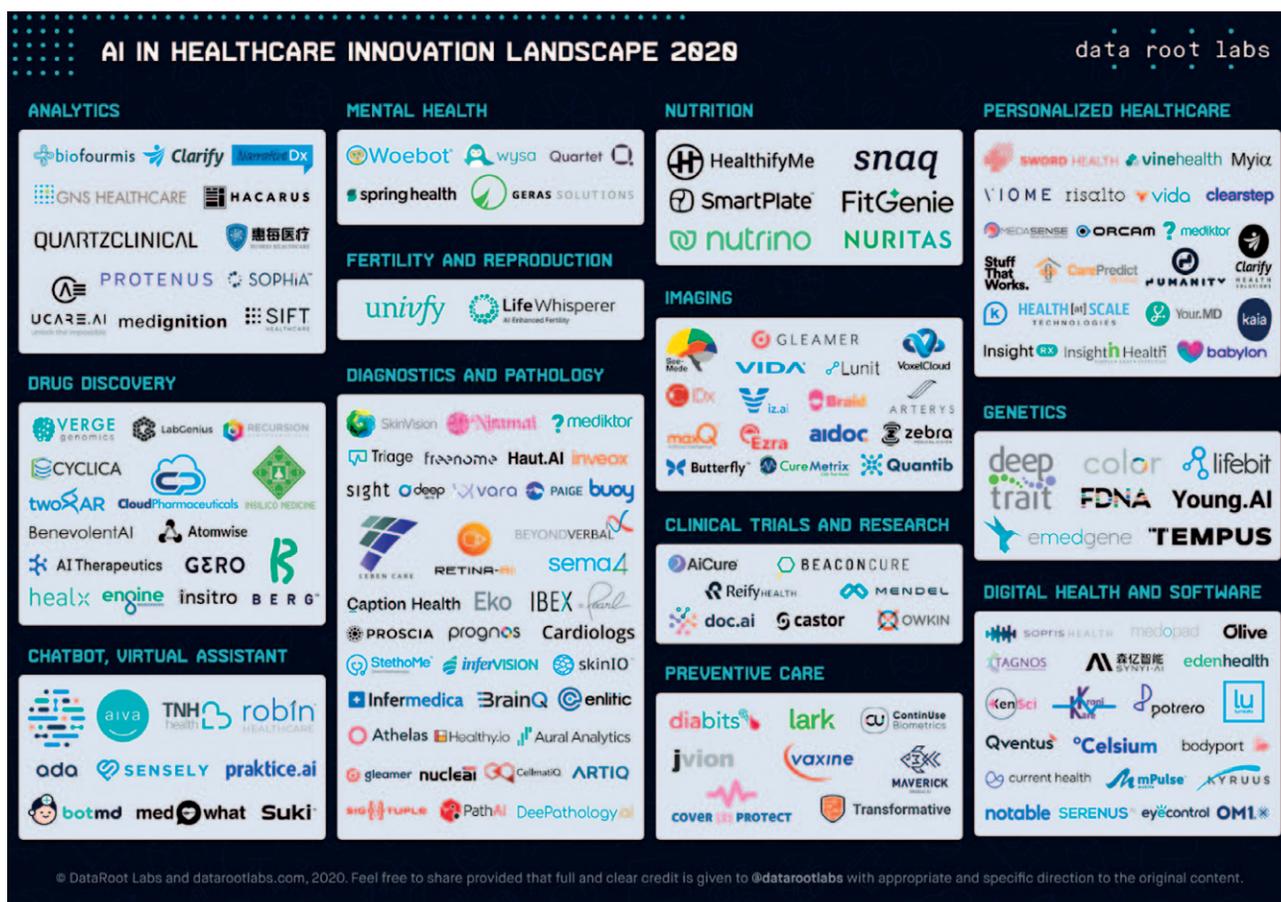


Рис. 3. Компании в области здравоохранения, использующие технологии искусственного интеллекта, по данным 2020 г.

Fig. 3. Healthcare companies using artificial intelligence technologies, according to data for 2020.

генетических заболеваний или рака, но и таких болезней, как эпилепсия или аллергия. Более того, с 2020 года персонализированная медицина наряду с генетической информацией учитывает и другие факторы: семейные, экономические, социальные, питание, образ жизни.

Персонализированная медицина находит применение в борьбе с новой коронавирусной инфекцией. Так, учёные из Оксфорда (Великобритания) с помощью статистических методов обнаружили 68 генов, с которыми может быть связано тяжёлое течение COVID-19, и отметили, что 17 из них могут быть успешно использованы для создания лекарств<sup>14</sup>.

Носимые медицинские устройства также являются частью персонализированной медицины, в том числе с использованием ИИ. Данным направлением занимается большое число ИТ-компаний во всём мире (рис. 3).

Такие ИТ-гиганты, как Amazon, Apple, Microsoft, инвестируют и покупают компании, работающие в сфере здравоохранения. Так, Amazon за 750 млн долларов купила PillPack для продажи лекарств онлайн. Alphabet инвестирует миллиарды долларов в Google Health с её десятками проектов, в том числе AI-роботами, для совершения

различных операций и повышения эффективности скрининга ретинопатии при сахарном диабете. Apple создала Health App и продвигает Apple Watch в первую очередь как монитор для здоровья, а недавно открыла собственную сеть медицинских клиник. Microsoft приобрела компанию Nuance (компания из США, занимающаяся разработкой технологии распознавания голоса и ИИ для здравоохранения и других сфер) за 19,7 млрд долларов<sup>15</sup>.

Понимая перспективность работы с большими медицинскими данными, компания Google несколько лет собирала персональные медицинские данные 50 млн американцев без их ведома. В рамках проекта Project Nightingale («Проект Соловей») она создавала глобальную базу с медицинскими картами пациентов, в которой содержалась информация об их исследованиях и анализах, диагнозах и заключениях врачей, а также записи о госпитализации и истории болезней<sup>16</sup>.

Amazon в партнёрстве с JPMorgan и Berkshire Hathaway запустила проект Haven, призванный дать их сотрудникам

<sup>14</sup> Волшебная таблетка: какие задачи решает персонализированная медицина. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rb.ru/opinion/personalizirovannaya-medicina/>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>15</sup> Microsoft за \$19,7 млрд купила разработчика ИИ для здравоохранения — nuance. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vademec.ru/news/2021/04/13/microsoft-za-19-7-mlrd-kupila-razrabotchika-ii-dlya-zdravookhraneniya-nuance/>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>16</sup> Google за год собрала персональные медицинские данные миллионов американцев без их ведома. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/news/t/475484/>. Дата обращения: 31.08.2022.

доступ к лучшей медицине. В сумме у компаний больше 1,6 млн рабочих. Эксперты предполагают, когда Amazon соберёт данные о болезнях и потребностях сотрудников, компания сможет лучше продавать свои услуги и понимать, как развивать новые медицинские направления. До этого, в 2017 году, Amazon основала лабораторию «1492», задачей которой среди прочих являются разработка платформы для сбора медицинских записей и данных пациентов, создание платформы телемедицины и разработка медицинских приложений для устройств Amazon. Так, например, уже сейчас можно «пожаловаться» своей домашней умной колонке на боли в спине, и она подскажет, с чем боли могут быть связаны и какие средства стоит приобрести для облегчения состояния. Лаборатория «1492» помогла в том числе создать Amazon Halo — браслет, помогающий следить за температурой тела, тоном голоса и качеством сна<sup>17</sup>.

В 2017 году компания «Сбер» (ранее «Сбербанк») приобрела 79,6% акций медицинского сервиса по поиску и записи к врачу DocDoc.ru. Сумма сделки не разглашается, однако предполагают, что она составила от 800 до 1,6 млрд рублей<sup>18</sup>. Дальнейший ребрендинг (стратегия) купленной компании запустил проект «СберЗдоровье», в котором возможно произвести запись на консультацию к врачу или диагностику, совершить вызов врача на дом, а также получить онлайн-консультации для пациентов и консультации ветеринаров. По данным «Сбер», сервис сотрудничает более чем с 4000 частных клиник, а число пользователей превышает 7,5 млн человек. Отдельным подразделением является компания «СберМедИИ» — экосистемный интегратор передовых решений с использованием ИИ-технологий для медицины. Платформа «СберМедИИ» объединяет более 50 разработок и решений «СберМедИИ» и других компаний экосистемы «Сбера» и партнёров, в числе которых умный помощник врача «ТОП-3», «КТ Лёгких», «КТ Инсульт» и др. Все сервисы объединены на платформе Медицинского цифрового диагностического центра (Medical Digital Diagnostic Center, MDDC), который выступает в качестве «одного окна» для партнёров. MDDC предназначен для лечебно-профилактических учреждений России и встраивается в медицинские информационные системы и рабочие станции врачей [3].

Российская компания «СимбирСофт» с 2001 года занимается разработкой и тестированием программного обеспечения, при этом сделала упор на ИТ-решения для медицинской сферы, включая телемедицину, CRM-системы для клиник (Customer Relationship Management, или Управление отношениями с клиентами), разработку мобильных приложений для клиентов и медицинского персонала. Результатом стали разработка сервиса для онлайн-консультаций пациента с врачом (более 5000 пользователей в сутки),

а также разработка системы автоматизации работы врачей (позволяет сократить время на заполнение рутинной документации на 24%), оптимизации логистики пациентов и формирования выписной документации<sup>19, 20</sup>.

Растёт количество отечественных ИТ-компаний, в том числе использующих в своей работе ИИ. К числу таких компаний можно отнести Botkin.AI — платформу для диагностики и анализа рисков развития заболеваний на основе математических моделей представления пациентов с использованием технологий ИИ. Сервис анализирует медицинские изображения: компьютерно-томографические снимки (определение злокачественных новообразований в лёгких на ранних стадиях), рентген (определение онкологических и неонкологических патологий), маммограммы и данные флюорографии.

Задачей продукта Webiomed российской компании «К-Скай» является прогнозирование рисков возникновения и развития заболеваний в регионе, городе, лечебно-профилактическом учреждении, а также у отдельно взятого человека, что способствует снижению заболеваемости и смертности, используется в качестве эффективного инновационного инструмента на основе ИИ по увеличению продаж и управлению рисками путём анализа электронных медицинских карт пациента.

Одной из значимых разработок в области медицины, не только программной, но технологической, является система «Нейрочат» (компания ООО «НейроЧат»). Устройство в виде шапочки считывает активность головного мозга, компьютер расшифровывает её и распознаёт команды пользователя. В результате парализованный человек может управлять бытовыми приборами и гаджетами, в том числе набирать текст и отправлять сообщения. Облегчающей жизнь новинкой обеспечены уже более 500 человек. Нейроинтерфейс может отдавать команду не ноутбуку или планшету, а живящему в мозг имплантату. Подобная связь может заменить собой разрушенные инсультом нейронные связи, и тогда пользователь вновь сможет управлять своими органами речи<sup>21</sup>.

Совместная с иностранными коллегами разработка Санкт-Петербургского государственного университета позволила создать технологию NeuroPrint, которая поможет быстро и дёшево снабжать людей с травмами и заболеваниями нервной системы индивидуальными имплантатами. Технология NeuroPrint опирается на использование 3D-принтера, при этом создание устройства от проекта до изготовления занимает всего сутки. Сначала устройство изготавливает основу будущего нейропротеза методом

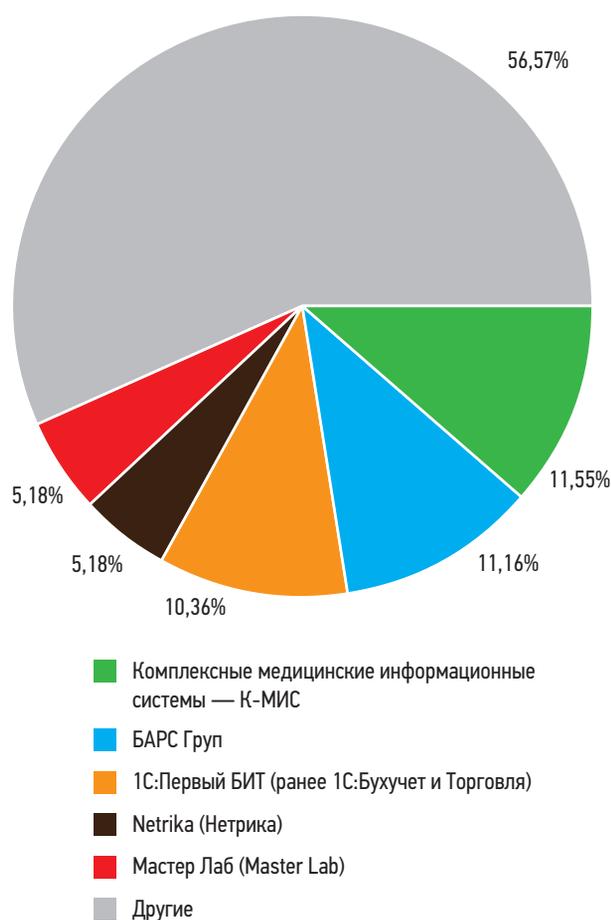
<sup>19</sup> Создаем ИТ-решения для медицинской сферы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://medtech.simbirsoft.com/>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>20</sup> Как ИТ-решения помогают докторам России и Европы: диагностика рака и другие задачи. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vc.ru/future/108106-kak-it-resheniya-pomogayut-doktoram-rossii-i-evropy-diagnostika-raka-i-drugie-zadachi>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>21</sup> В России парализованные после инсульта люди управляют компьютером силой мысли. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://smotrim.ru/article/2451906>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>17</sup> ИТ-гиганты нацелились на медицину. Что это значит для нас? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/568584/>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>18</sup> «Для меня сумма сделки со «Сбербанком» не выглядит как вау-достижение». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vc.ru/story/24117-docdoc-interview>. Дата обращения: 31.08.2022.



**Рис. 4.** Распределение компаний по количеству проектов медицинских информационных систем.

**Fig. 4.** Distribution of companies by the number of medical information systems projects.

экструзии, материалом для которой служит мягкий и биосовместимый силикон. Затем методом струйной печати на основу наносятся электроды, состоящие из хорошо проводящего ток гибкого и химически устойчивого металла, например, платины. Наконец, электроды обрабатываются холодной плазмой, что улучшает их свойства. Испытания изготовленных по новой технологии устройств на кошках, крысах и рыбах данио-рерио продемонстрировали отличные результаты. Новые имплантаты восстанавливали подвижность парализованных животных как минимум не хуже, чем их традиционные и весьма дорогие аналоги. Кроме того, учёные испытали на здоровых крысах имплантат, который считывает сигналы коры головного мозга (таким образом человек может управлять техникой силой мысли)<sup>22, 23</sup>.

<sup>22</sup> В России создана технология 3D-печати индивидуальных протезов для мозга. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://smotrim.ru/article/2461869>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>23</sup> Ученые разработали технологию печати на 3D-биопринтере персонализированных нейропротезов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://spbu.ru/news-events/novosti/uchenye-razrabotali-tehnologiyu-pechat-na-3d-bioprintere-personalizirovannyh>. Дата обращения: 31.08.2022.

Разработками медицинских информационных систем (МИС) в Российской Федерации занимается более 70 ИТ-компаний. МИС — система автоматизации документооборота для медицинских учреждений, в которой объединены система поддержки принятия врачебных решений, электронные медицинские карты пациентов, данные медицинских исследований в цифровой форме, данные мониторинга состояния пациента с медицинских приборов, средства общения между сотрудниками, финансовая и административная информация. К первой десятке по количеству проектов в 2021 году отнесены следующие компании: «Комплексные медицинские информационные системы — К-МИС», «БАРС Груп», «1С:Первый БИТ», «Нетрика», «Мастер Лаб», «СП.АРМ», «Корус Консалтинг», «СофтТраст», «ТехЛАБ» и «ХОСТ ГК»<sup>24</sup> (рис. 4).

Проекты МИС интегрируются в работу медицинских организаций с целью сокращения времени на заполнение медицинской документации и увеличения его для непосредственной работы с пациентами; упрощения ведения текущей и выписной документации; оптимизации взаимодействия между сотрудниками медицинской организации как внутри, а так между центрами.

Большинство ИТ-технологий применяется в высокотехнологичной медицинской помощи. Это одно из самых дорогостоящих направлений системы здравоохранения, которое непрерывно развивается и поддерживается государством нашей страны. В Программе государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи на 2022 год и на плановый период 2023 и 2024 годов предусмотрено финансовое обеспечение на оказание специализированной, в том числе высокотехнологичной медицинской помощи, а Федеральным фондом обязательного медицинского страхования на 2022 год, по сравнению с 2021 годом, на 30% увеличиваются затраты на оказание высокотехнологичной медицинской помощи вне базовой программы ОМС (ВМП-II) до 141,3 млрд рублей<sup>25</sup> [4].

В 2022 году обновлён перечень высокотехнологичной медицинской помощи. В него добавлено пять новых групп, которые содержат новые виды медицинской помощи по профилям «неврология», «онкология»; две новые группы онкологических видов медпомощи: «лечение острого лейкоза с использованием биотехнологических методов у детей» со средним тарифом 2,97 млн рублей и «тотальное облучение тела, тотальное лимфоидное облучение тела, тотальное облучение костного мозга у детей» стоимостью 584 тыс. рублей за один случай лечения. В профиле

<sup>24</sup> Медицинские информационные системы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/Медицинская\\_информационная\\_система?cache=no&ptype=system#ttop](https://www.tadviser.ru/index.php/Медицинская_информационная_система?cache=no&ptype=system#ttop). Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>25</sup> В 2022 году финансирование высокотехнологичной медпомощи вырастет на 31,6 млрд рублей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vademec.ru/news/2021/09/03/v-2022-godu-finansirovanie-vysokotekhnologichnoy-medpomoshchi-vyrastet-na-31-6-mlrd-rublej/>. Дата обращения: 31.08.2022.

«неврология» будет добавлена «установка интенсивной помпы для постоянной инфузии геля после предварительной назоеональной титрации» (431,7 тыс. рублей); в сердечно-сосудистой хирургии — новый метод «гибридные операции при многоуровневом поражении магистральных артерий и артерий нижних конечностей у больных сахарным диабетом» с ценником 655 тыс. рублей. Уже присутствующий в перечне вид помощи «протонная лучевая терапия» погрузили в новую группу и распространили на больных нейрохирургического профиля для лечения неоперабельной доброкачественной опухоли, расположенной в области основания черепа<sup>26, 27</sup>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в полной мере трудно оценить истинный вклад информационных технологий во все процессы, происходящие в мире. Исключение ниши ИТ значительно усложнит экономические, медицинские, военные, бытовые и другие процессы, возвращая уровень развития страны на десятки лет назад. Для того чтобы этого не допустить, необходимо развивать собственные технологические базы и производства полного цикла, разрабатывать и применять в повседневной деятельности программное обеспечение с аналогичным функционалом. Медицинское программное обеспечение следует интегрировать в единое информационное пространство, что позволит реализовать глобальные функции по обработке больших данных с получением значимых результатов для прогнозирования развития кадровых, фармацевтических, мощностных возможностей медицинских организаций.

На сегодняшний день в Российской Федерации существует большое количество ИТ-компаний, часть которых

делают упор на развитие в сфере медицинских технологий. Имеются также технические разработки, которые могут быть востребованы не только в нашей, но и в других странах мира. Сложившаяся ситуация дополнительно свидетельствует о необходимости государственной поддержки ИТ-сферы для возможности разработки уникальных и перспективных программных и технологичных продуктов.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

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

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

**Вклад авторов.** И.В. Борисов, В.А. Бондарь, Д.А. Кудинов — поисково-аналитическая работа, обработка и обсуждение результатов исследования, написание текста статьи; Ю.Ю. Некрасова, М.М. Канарский, П. Прадхан — обсуждение результатов исследования; В.С. Сорокина, И.В. Редкин — поисково-аналитическая работа; А.В. Гречко, М.В. Петрова — руководство и обсуждение результатов исследования. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

## ADDITIONAL INFORMATION

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

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

**Authors' contribution.** I.V. Borisov, V.A. Bondar, D.A. Kudinov — search and analytical work, processing and discussion of research results, writing a manuscript; Iu.Yu. Nekrasova, M.M. Kanarskii, P. Pradhan — discussion of research results; V.S. Sorokina, I.V. Redkin — search and analytical work; A.V. Grechko, M.V. Petrova — guidance and discussion of the results of the study. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

<sup>26</sup> В 2022 году появятся четыре новых вида ВМП вне базовой программы ОМС. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vademec.ru/news/2021/09/08/v-2022-godu-poyavyatsya-chetyre-novykh-vidov-vmv-vne-bazovoy-programmy-oms/>. Дата обращения: 31.08.2022.

<sup>27</sup> «Непонятная сущность»: зачем россиянам закон об отношениях с роботами. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vm.ru/technology/934832-neponyatnaya-sushnost-zachem-rossiyanam-zakon-ob-otnosheniyah-s-robotami>. Дата обращения: 31.08.2022.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 N 1632-р «Об утверждении программы “Цифровая экономика Российской Федерации”». Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_221756/f62ee45faefd8e2a11d6d88941a66824f848bc2/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221756/f62ee45faefd8e2a11d6d88941a66824f848bc2/). Дата обращения: 31.08.2022.
2. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 24 апреля 2018 г. N 186 «Об утверждении Концепции предиктивной, превентивной и персонализированной медицины». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71847662/>. Дата обращения: 31.08.2022.
3. Цифровое здравоохранение // Врач и информационные технологии. Специальный выпуск № 1. Труды XXI Международного конгресса «Информационные технологии в медицине», 15–16 октября 2020 г. Режим доступа: [https://www.idmz.ru/media/vit\\_ru\\_private\\_pdf/2020/s1/2020\\_s1\\_hi\\_res.pdf](https://www.idmz.ru/media/vit_ru_private_pdf/2020/s1/2020_s1_hi_res.pdf). Дата обращения: 31.08.2022.
4. Постановление Правительства РФ от 28 декабря 2021 г. N 2505 «О Программе государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи на 2022 год и на плановый период 2023 и 2024 годов». Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/de3NXmFdnBk5LLok0KHjVaKd7aw67UL.pdf>. Дата обращения: 31.08.2022.

## REFERENCES

1. Order of the Government of the Russian Federation dated 28.07.2017 N 1632-r «On approval of the program «Digital Economy of the Russian Federation». (In Russ). Available from: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_221756/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221756/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/). Accessed: 31.08.2022.
2. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 186 dated April 24, 2018 "On approval of the Concept of predictive, preventive and personalized medicine". (In Russ). Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71847662/>. Accessed: 31.08.2022.
3. Digital healthcare. In: Doctor and information technologies. Special Issue No 1. Proceedings of the XXI International Congress "Information Technologies in Medicine", October 15-16, 2020. (In Russ). Available from: [https://www.idmz.ru/media/vit\\_ru\\_private\\_pdf/2020/s1/2020\\_s1\\_hi\\_res.pdf](https://www.idmz.ru/media/vit_ru_private_pdf/2020/s1/2020_s1_hi_res.pdf). Accessed: 31.08.2022.
4. Decree of the Government of the Russian Federation No. 2505 of December 28, 2021 "On the Program of State Guarantees of Free Medical Care to Citizens for 2022 and for the Planned Period of 2023 and 2024". (In Russ). Available from: <http://static.government.ru/media/files/de3NXmFdnBk5LLok0KHjVaKd7aw67UL.pdf>. Accessed: 31.08.2022.

## ОБ АВТОРАХ

### \* Борисов Илья Владимирович;

адрес: Россия, 141534, Московская область, Солнечногорский район, д. Лыткино, д. 777, корп. 1;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5707-118X>;  
eLibrary SPIN: 7800-6446; e-mail: [realzel@gmail.com](mailto:realzel@gmail.com)

### Бондарь Валерия Александровна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3244-463X>;  
eLibrary SPIN: 6780-1309; e-mail: [bondva23@gmail.com](mailto:bondva23@gmail.com)

### Кудинов Дмитрий Алексеевич;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2341-7226>;  
eLibrary SPIN: 4949-7926; e-mail: [kudinov-da@ya.ru](mailto:kudinov-da@ya.ru)

### Некрасова Юлия Юрьевна, к.т.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4435-8501>;  
eLibrary SPIN: 8947-4230; e-mail: [nekrasova84@yandex.ru](mailto:nekrasova84@yandex.ru)

### Канарский Михаил Михайлович;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7635-1048>;  
eLibrary SPIN: 1776-1160; e-mail: [kanarmm@yandex.ru](mailto:kanarmm@yandex.ru)

### Прадхан Пранил;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3505-7504>;  
eLibrary SPIN: 8647-4329; e-mail: [pranilpr@yandex.ru](mailto:pranilpr@yandex.ru)

### Сорокина Виктория Сергеевна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1490-1331>;  
eLibrary SPIN: 3407-1625; e-mail: [vsorokina@fnkcr.ru](mailto:vsorokina@fnkcr.ru)

### Редкин Иван Валерьевич, к.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7008-2038>;  
eLibrary SPIN: 1854-9314; e-mail: [iredkin@fnkcr.ru](mailto:iredkin@fnkcr.ru)

### Гречко Андрей Вячеславович, д.м.н., профессор, чл.-корр. РАН;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3318-796X>;  
eLibrary SPIN: 4865-8723; e-mail: [avgrechko@fnkcr.ru](mailto:avgrechko@fnkcr.ru)

### Петрова Марина Владимировна, д.м.н., профессор;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4272-0957>;  
eLibrary SPIN: 9132-4190; e-mail: [mail@petrovamv.ru](mailto:mail@petrovamv.ru)

## AUTHORS' INFO

### \* Ilya V. Borisov;

address: 777, Build. 1, Lytkino,  
Moscow region, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5707-118X>;  
eLibrary SPIN: 7800-6446; e-mail: [realzel@gmail.com](mailto:realzel@gmail.com)

### Valeriya A. Bondar;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3244-463X>;  
eLibrary SPIN: 6780-1309; e-mail: [bondva23@gmail.com](mailto:bondva23@gmail.com)

### Dmitriy A. Kudinov;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2341-7226>;  
eLibrary SPIN: 4949-7926; e-mail: [kudinov-da@ya.ru](mailto:kudinov-da@ya.ru)

### Iuliia Yu. Nekrasova, Cand. Sci. (Tech);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4435-8501>;  
eLibrary SPIN: 8947-4230; e-mail: [nekrasova84@yandex.ru](mailto:nekrasova84@yandex.ru)

### Mikhail M. Kanarskii;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7635-1048>;  
eLibrary SPIN: 1776-1160; e-mail: [kanarmm@yandex.ru](mailto:kanarmm@yandex.ru)

### Pranil Pradhan;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3505-7504>;  
eLibrary SPIN: 8647-4329; e-mail: [pranilpr@yandex.ru](mailto:pranilpr@yandex.ru)

### Viktoriya S. Sorokina;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1490-1331>;  
eLibrary SPIN: 3407-1625; e-mail: [vsorokina@fnkcr.ru](mailto:vsorokina@fnkcr.ru)

### Ivan V. Redkin, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7008-2038>;  
eLibrary SPIN: 1854-9314; e-mail: [iredkin@fnkcr.ru](mailto:iredkin@fnkcr.ru)

### Andrey V. Grechko, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3318-796X>;  
eLibrary SPIN: 4865-8723; e-mail: [avgrechko@fnkcr.ru](mailto:avgrechko@fnkcr.ru)

### Marina V. Petrova, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4272-0957>;  
eLibrary SPIN: 9132-4190; e-mail: [mail@petrovamv.ru](mailto:mail@petrovamv.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab111062>

# Регресс хронического болевого синдрома, рефрактерного к фармакотерапии опиоидами, у пациента после имплантации нейростимулятора спинного мозга: клинический случай

А.В. Бурмистрова<sup>1</sup>, А.Н. Воробьев<sup>1</sup>, М.Д. Варюхина<sup>1</sup>, А.А. Ильина<sup>1, 2</sup>, М.Л. Радутная<sup>1</sup>,  
А.А. Яковлев<sup>1</sup>, А.В. Гречко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральний научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Хронический болевой синдром у пациентов с онкологическими заболеваниями зачастую сложно поддаётся медикаментозной терапии, является причиной серьёзного стресса для пациента и его родственников, а также значительно снижает качество жизни. Современные рекомендации по медикаментозному лечению хронического болевого синдрома не являются эффективными в 100% случаев, особенно это относится к хроническому болевому синдрому пациентов с онкологией. В связи с этим существует необходимость мультидисциплинарного персонализированного подхода к выбору тактики лечения хронической боли в пользу хирургических методов на более ранних этапах. Нейромодуляция широко применяется для лечения нейропатического хронического болевого синдрома у пациентов с различной патологией, однако в настоящее время у пациентов с онкологическими заболеваниями её использование не является рутинным.

**Описание клинического случая.** Группой авторов представлен клинический случай устойчивого к медикаментозной терапии хронического болевого синдрома, вызванного раком прямой кишки. Выполненная имплантация восьми-контактного электрода на уровне Th10–Th12 позвонков в задних отделах позвоночного канала позволила прекратить системное применение опиоидов у пациентки с хроническим болевым синдромом и добиться длительной ремиссии. Применение нейростимуляции спинного мозга в данном клиническом случае являлось перспективным видом лечения и позволило улучшить качество жизни пациентки без применения анальгетиков.

**Заключение.** Данный клинический случай наглядно показывает, что действующие рекомендации по лечению хронического болевого синдрома требуют пересмотра и расширения показаний к проведению нейростимуляции спинного мозга.

**Ключевые слова:** клинический случай; хроническая боль; злокачественные новообразования; стимуляция спинного мозга; опиоидные анальгетики.

## Как цитировать

Бурмистрова А.В., Воробьев А.Н., Варюхина М.Д., Ильина А.А., Радутная М.Л., Яковлев А.А., Гречко А.В. Регресс хронического болевого синдрома, рефрактерного к фармакотерапии опиоидами, у пациента после имплантации нейростимулятора спинного мозга: клинический случай // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2022. Т. 4, № 4. С. 283–291. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab111062>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab111062>

# Regression of chronic pain syndrome refractory to opioid pharmacotherapy in a patient after implantation of a spinal cord neurostimulator: case report

Aleksandra V. Burmistrova<sup>1</sup>, Alexey N. Vorobyev<sup>1</sup>, Maria D. Varyukhina<sup>1</sup>, Anna A. Ilyina<sup>1, 2</sup>, Margarita L. Radutnaya<sup>1</sup>, Alexey A. Yakovlev<sup>1</sup>, Andrey V. Grechko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Pain in cancer patients, often poorly treated, cause severe distress for patients and their caregivers, and significantly reduces quality of life. Modern guides for the medical treatment of chronic pain in cancer patients are not effective in all cases, especially when chronic neuropathic pain syndrome occurs. In this regard, there is a need for a multidisciplinary personalized approach to the tactics of chronic pain management in favor of surgical methods at earlier stages of this condition. Nowadays neuromodulation is widely used for the treatment of neuropathic chronic pain syndrome in patients with various pathologies, whereas it is not used routinely in cancer patients.

**CLINICAL CASE DESCRIPTION:** We introduce a case report of successfully applied neuromodulation in patient with severe chronic pain syndrome due to rectal cancer. Epidural spinal cord stimulation at Th10–Th12 levels allowed to stop the systemic use of opioids and achieve long-term remission. Spinal cord stimulation has shown itself to be very promising and significantly improved patient's quality of life.

**CONCLUSIONS:** Our case report evidently shows that current chronic pain management guides and treatment recommendations needs a revision and neuromodulation usage in category of cancer patients should be considered.

**Keywords:** case report; chronic pain; cancer tumor; spinal cord stimulation; neuromodulation; opioid analgesics.

## To cite this article

Burmistrova AV, Vorobyev AN, Varyukhina MD, Ilyina AA, Radutnaya ML, Yakovlev AA, Grechko AV. Regression of chronic pain syndrome refractory to opioid pharmacotherapy in a patient after implantation of a spinal cord neurostimulator: case report. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2022;4(4):283–291. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab111062>

Received: 25.09.2022

Accepted: 31.10.2022

Published: 22.11.2022

## Список сокращений

ВАШ — визуальная аналоговая шкала

КТ — компьютерная томография

ВОЗ — Всемирная организация здравоохранения

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Боль является проявлением или симптомом заболевания, служит защитным сигналом в случае реального или предполагаемого повреждения органов и тканей. Однако в случае хронизации процесса боль ведёт к дезадаптации, неадекватному восприятию поступающих импульсов, что в значительной степени ухудшает качество жизни больного и его близких, представляет собой значимую социальную проблему. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 20–30% пациентов при адекватно проводимой консервативной терапии не получают достаточного обезболевания [1]. Длительность хронического болевого синдрома, согласно определению Международной ассоциации по изучению боли, составляет 3 мес и более [2]. У пациентов онкологического профиля боль возникает из-за поражения органов, прорастания или сдавления нервных структур опухолью, обструкции протоков и сосудов [3, 4].

Показатель заболеваемости злокачественными новообразованиями на 100 тыс. населения России составляет 379,7 (доверительный интервал 378,7–380,6) [5, 6]. В зависимости от стадии опухолевого процесса хронический болевой синдром сопровождает 35–96% клинических случаев. Поэтапный подбор анальгетиков, в соответствии с «трёхступенчатой лестницей обезболевания» ВОЗ (рис. 1), позволяет достигнуть адекватной анальгезии в 77–90% случаев [7], у остальных пациентов вариантом выбора может быть интервенционное лечение хронической боли. На сегодняшний день у данной группы пациентов применяется в основном фармакологическое лечение

болевого синдрома. Фармакотерапия подразумевает поэтапный подход от более «слабых» анальгетиков к более «сильным», согласно рекомендованной «лестнице обезболевания» ВОЗ (см. рис. 1).

По данным многих современных исследований продемонстрирована эффективность нейромодуляции в лечении хронической боли. Нейромодуляция показана в случаях неэффективности фармакотерапии анальгетиками или при развитии побочных явлений консервативной терапии [8, 9]. Принцип работы нейростимулятора основан на теории «воротного контроля» [10]. Стимуляция спинного мозга включает в себя создание электрических полей между металлическими контактами, расположенными в эпидуральном пространстве. Направленные поля изменяют электрический потенциал на мембранах в зависимости от свойств тканей вблизи электрода, таких как твёрдая мозговая оболочка, слой спинномозговой жидкости и белое вещество. В случае возбудимых мембран, находящихся в соседних аксонах задних столбов спинного мозга, электрическое поле может запускать один или несколько потенциалов действия, в зависимости от биоэлектрических свойств аксона (диаметр, состояние миелинизации и электрический порог). Помимо провоцирования потенциалов действия, электрическая стимуляция изменяет мембранный потенциал нейронов и других типов клеток, подвергающихся воздействию электрических полей, тем самым изменяя электрохимические свойства поражённых сегментов, поэтому электрод, установленный у задних столбов спинного мозга, стимулирует тормозящие боль нервные волокна, замещая боль ощущением покалывания (парестезиями).

3-я СТУПЕНЬ сильная боль (ВАШ >70%)	Сильный опиоид ± парацетамол/НПВП ± адьювантная терапия
2-я СТУПЕНЬ умеренная боль (ВАШ 40–70%)	Слабый опиоид или сильный опиоид в низкой дозе ± парацетамол/НПВП ± адьювантная терапия
1-я СТУПЕНЬ слабая боль (ВАШ <40%)	Парацетамол/НПВП ± адьювантная терапия

**Рис. 1.** «Лестница обезболевания» хронической онкологической боли у взрослых, согласно Всемирной организации здравоохранения (WHO, 1986, 1996) и с учётом рекомендаций Европейской ассоциации паллиативной помощи (EAPC, 2012).

**Примечание.** НПВП — нестероидный противовоспалительный препарат.

**Fig. 1.** The World Health Organization Analgesic Ladder (1986, 1996) with European Association for Palliative Care recommendations (2012).

**Note:** НПВП — nonsteroidal anti-inflammatory drug.

Целью публикации является демонстрация эффективности нейромодуляции как альтернативы применению опиоидных анальгетиков при лечении хронического болевого синдрома, связанного с онкологическим заболеванием. Представлен клинический случай пациентки, длительно страдающей от болевого синдрома, рефрактерного к фармакотерапии опиоидами, прекратившей терапию анальгетиками в связи с достижением адекватного обезболивающего эффекта после имплантации нейростимулятора.

## ОПИСАНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ

### О пациенте

Пациентка У., 76 лет, поступила в состоянии средней тяжести в ФГБНУ «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (ФНКЦ РР) для планового лечения в связи с хроническим болевым синдромом, не поддающимся медикаментозной коррекции.

Из анамнеза известно, что ранее верифицирован рак прямой кишки rT2N0M0, в связи с чем наблюдалась у онколога по месту жительства. Выполнены хирургическое и адъювантное лечение, лучевая терапия в 2016 г. В 2021 г. отмечено прогрессирование заболевания, после чего возникли жалобы на постоянную боль разной интенсивности в животе, малом тазу, пояснично-крестцово-копчиковой области, нарушение походки. В связи с выраженным хроническим болевым синдромом длительное время пациентка принимала терапию опиоидами, при этом сохранялась боль 7–8 баллов по визуальной аналоговой шкале (ВАШ), что существенно снижало качество жизни. Из сопутствующих заболеваний у пациентки имелись сахарный диабет 2-го типа, диабетическая нефропатия, гипертоническая болезнь, ишемическая болезнь сердца, хроническая болезнь почек стадии ЗБ (скорость клубочковой фильтрации 40 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>).

### Физикальная, инструментальная и лабораторная диагностика

При осмотре пациентка в ясном сознании, адекватна, ориентирована в месте, времени и собственной личности. Критика сохранна. Гемодинамические показатели стабильны, эпизодов гипо-/гипертензии на фоне проводимой терапии не отмечалось. Дыхание самостоятельное через естественные дыхательные пути. Аускультативно патологии сердечно-сосудистой и дыхательной систем не выявлено. Явлений диспепсии и дизурии не наблюдалось.

Со стороны черепно-мозговых нервов без патологии. Нистагма нет. Асимметрии лица нет. Парезов/параличей не выявлено. Функции тазовых органов контролирует. Хроническая боль в пояснично-крестцово-копчиковом

отделе сопровождается такими физическими нарушениями, как антальгическая походка и частичное ограничение движений в данной области. Оценка по ВАШ: в покое — 6 баллов, при движении/ходьбе — 7–8 баллов.

Заключение компьютерной томографии (КТ) органов малого таза при поступлении: в полости малого таза определяется зона опухолевой инфильтрации без чётких контуров, неоднородной плотности.

Лабораторные показатели: за время пребывания в условиях стационара отмечалась белково-энергетическая недостаточность (гипопротеинемия, гипоальбуминемия), панцитопения, анемия лёгкой степени, а также умеренное повышение С-реактивного белка, что, вероятнее всего, обусловлено течением основного онкологического заболевания; азотемия расценивалась как проявление диабетической нефропатии на фоне хронической болезни почек стадии ЗБ (скорость клубочковой фильтрации 40 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>).

В раннем послеоперационном периоде выявлена лейкоцитурия, в связи с чем пациентке проводилась терапия фосфомицином с положительным эффектом (табл. 1–3).

### Лечение, динамика

С целью решения вопроса об имплантации постоянного нейростимулятора пациентке выполнена установка тестовых спинальных электродов на уровне Th11–L1 позвонков под рентгенологическим контролем электронно-оптического преобразователя. Оперативное вмешательство проведено в условиях тотальной внутривенной анестезии с применением искусственной вентиляции лёгких через оротрахеальную трубку. В качестве внутривенного анестетика применялось внутривенное введение эмульсии пропофола в рекомендуемых расчётных дозах. Анальгезия осуществлялась струйным внутривенным введением раствора фентанила (агонист опиоидных рецепторов) в дозе 1–2 мл 0,005% с повторным введением каждые 20–25 мин. Проводилось болюсное введение раствора рокурония бромид в расчётных дозах с целью миорелаксации. Миоплегия как компонент анестезии является обязательным условием, обеспечивающим более безопасную и правильную установку электродов в эпидуральное пространство, позволяет минимизировать риски дислокации и развития интраоперационных осложнений.

По данным контрольной КТ пояснично-крестцового отдела, между остистыми отростками L4 и L5 позвонков парасагиттально слева заведён эпидуральный электрод, расположенный в заднем эпидуральном пространстве. Восьмиконтактный электрод расположен на уровне Th11–L1 позвонков эпидурально в задних отделах позвоночного канала, его дистальный конец — на уровне Th11 позвонка (рис. 2).

Послеоперационный период протекал без особенностей и осложнений. Медикаментозное лечение включало в себя гастропротекцию, ритм-урежающую и антигипертензивную

**Таблица 1.** Динамика показателей биохимического анализа крови**Table 1.** Dynamics of comprehensive metabolic panel results

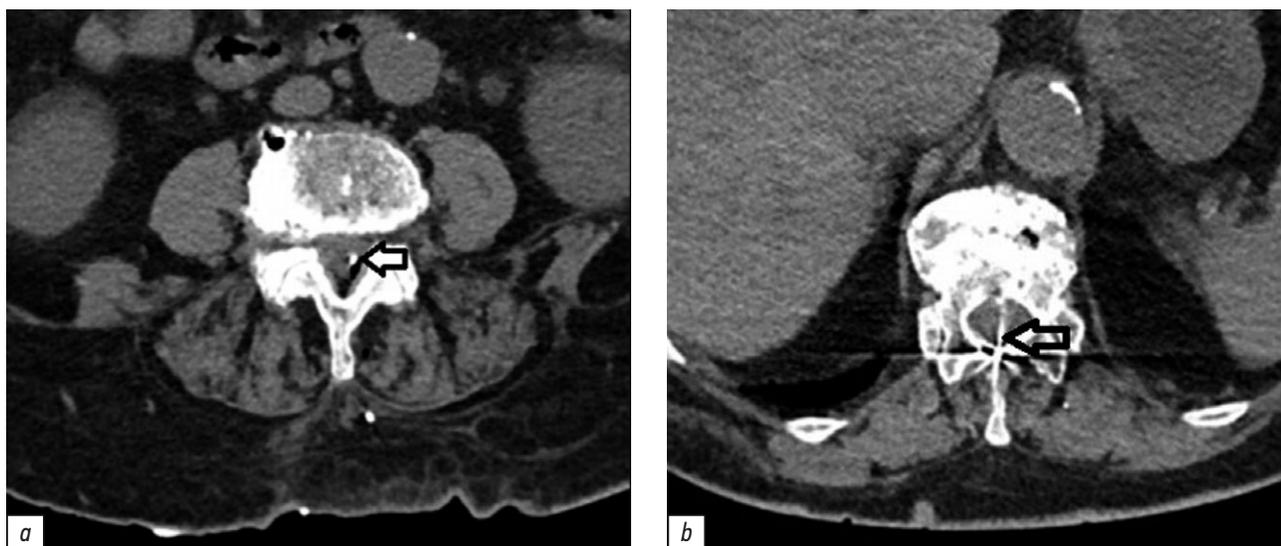
Показатели	Дата наблюдения (2021)			
	18.10	25.10	26.10	27.10
Билирубин общий, мкмоль/л	14,1	13,4	14,7	13,2
Общий белок, г/л	58	61,5	55,1	55,6
Альбумин, г/л	31,5	35,4	31,8	32,9
Мочевина, ммоль/л	6,1	7,8	7,5	9,2
Креатинин, мкмоль/л	115,8	157	162,4	157,1
Глюкоза, ммоль/л	5,3	7,17	8,26	5,27
Калий, ммоль/л	4,4	4	4,2	3,8
Натрий, ммоль/л	141,3	140	142,6	141
Хлор, ммоль/л	107	104	107,7	107,2
Аланинаминотрансфераза, Ед/л	15,6	9,3	8,2	6,4
Аспаратаминотрансфераза, Ед/л	27,5	21,5	19,6	15,3
С-реактивный белок, мг/л	23,06	30,29	30,88	43,95

**Таблица 2.** Динамика показателей клинического анализа крови**Table 2.** Dynamics of complete blood count results

Показатели	Дата наблюдения (2021)				
	18.10	20.10	25.10	26.10	28.10
Лейкоциты, $10^9$ /л	3,5	3,7	4,8	6,3	3,4
Эритроциты, $10^{12}$ /л	2,74	2,69	2,82	2,63	2,39
Гемоглобин, г/л	105	105	111	103	95
Гематокрит, %	32	31,3	33,2	30,8	28,4
Тромбоциты, $10^9$ /л	102	90	131	105	96
Нейтрофилы, %	62,2	65,4	73,3	-	73,4
Лимфоциты, %	24,3	22	19,8	-	18,5

**Таблица 3.** Динамика показателей общего анализа мочи**Table 3.** Dynamics of urinalysis results

Показатели	Дата наблюдения (2021)			
	18.10	25.10	26.10	28.10
Цвет	Соломенно-жёлтый	Соломенно-жёлтый	Бледно-жёлтый	Соломенно-жёлтый
Прозрачность	Неполная	Прозрачная	Мутноватая	Неполная
Лейкоциты в поле зрения	28	10	362	8
Слизь в поле зрения	3	-	26	9
Эритроциты в поле зрения	-	-	13	-



**Рис. 2.** Компьютерная томограмма пояснично-крестцового отдела позвоночника после установки тестовых спинальных электродов на уровне Th11 позвонка: *a* — электрод в заднем эпидуральном пространстве между остистыми отростками L4 и L5 позвонков (стрелка); *b* — дистальный конец электрода на уровне Th11 позвонка (стрелка).

**Fig. 2.** Computed tomography of lumbosacral spine after epidural electrode implantation at the Th11 level (test neuromodulation): *a* — electrode is placed in posterior epidural space insertion, point is midline between L4 and L4 spinous processes (arrow); *b* — electrode's distal part at the Th11 level (arrow).

терапию под контролем показателей гемодинамики. Проводилась коррекция гликемии с учётом уровня глюкозы капиллярной крови в динамике. Проведён подбор параметров стимуляции, включавший применение тонической стимуляции и циклической программы. Программа стимуляции, на которой был получен положительный эффект: режим Burst циклический 30 сек стимуляции / 3 мин пауза, частота 40 Гц, ширина импульса 1000 мкс, амплитуда 2–3,9 мА; заряд электрода (---+00000). При этом были получены удовлетворительные показатели импеданса, что свидетельствует об эффективной работе системы.

К третьим суткам после имплантации тестовых эпидуральных электродов на фоне проводимой нейростимуляции болевой синдром регрессировал, что способствовало активизации пациентки и увеличению объёма движений в поясничном отделе позвоночника. Учитывая значимую положительную динамику, были удалены тестовые электроды и определены показания к установке системы для нейростимуляции.

За время наблюдения после удаления тестовых электродов отмечалось постепенное нарастание болевого синдрома в пояснично-крестцово-копчиковой области, вновь возникли ограничение подвижности в поясничном отделе позвоночника, инсомния. Анальгетический эффект от применяемых препаратов (нестероидный противовоспалительный препарат + трамадол) не был достигнут, в связи с чем пациентка отказалась от дальнейшего применения обезболивающих средств.

Предоперационная подготовка, а также анестезиологическое пособие при имплантации системы для

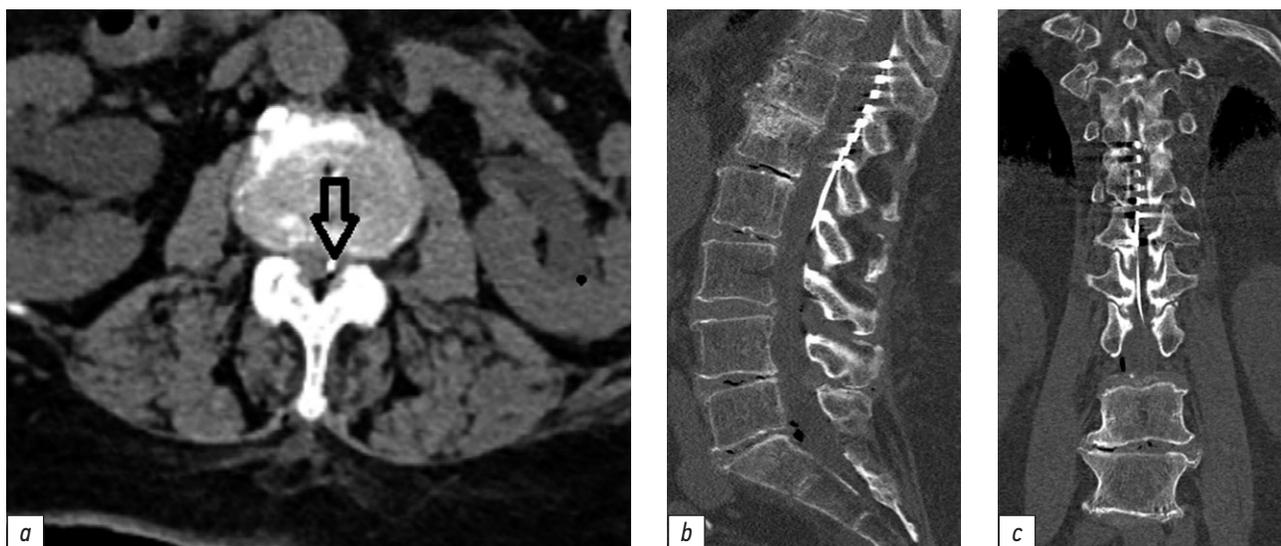
нейростимуляции не имело значимых особенностей и отличий от предшествующего этапа установки тестовых спинальных электродов. Под контролем интраоперационной рентгеноскопии в эпидуральное пространство установлен восьмиконтактный электрод, дистальный конец которого размещён на уровне Th11 позвонка; нейростимулятор имплантирован под кожу поясничной области в проекции гребня подвздошной кости.

### Исходы и прогноз

При контрольной КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника между остистыми отростками L2 и L3 позвонков парасагиттально слева заведён эпидуральный электрод, расположенный в заднем эпидуральном пространстве. Восьмиконтактный электрод расположен на уровне Th10–Th12 позвонков в задних отделах позвоночного канала, его дистальный конец — на уровне Th10 позвонка (рис. 3).

Ранний послеоперационный период протекал без особенностей и осложнений.

На вторые сутки после имплантации пациентке была начата нейростимуляция спинного мозга в циклическом режиме Burst с частотой 40 Гц, шириной импульса 1000 мкс, амплитудой 0,60–4,05 мА; заряд электрода (---+00000). Значение импеданса составило 337 Ом для данной программы. На третьи сутки после имплантации нейростимулятора болевой синдром уменьшился, пациентка поэтапно вертикализована и активизирована в пределах палаты. Для коррекции параметров стимуляции пациентка была обучена обращению с пультом. На 13-е сутки



**Рис. 3.** Компьютерная томограмма пояснично-крестцового отдела позвоночника после установки спинальных электродов на уровне Th12–L1 позвонков: *a* — электрод в заднем эпидуральном пространстве между остистыми отростками L2 и L3 позвонков (стрелка); *b* — электрод в заднем эпидуральном пространстве на уровне Th12–L1 позвонков; *c* — расположение электрода в заднем эпидуральном пространстве.

**Fig. 3.** Computed tomography of lumbosacral spine after epidural electrode implantation at the Th12–L1 level (constant neuromodulation): *a* — electrode is placed in posterior epidural space, insertion point is midline between L2 and L3 spinous processes (arrow); *b* — electrode is placed in posterior epidural space at the Th12–L1 levels; *c* — location of the electrode in the posterior epidural space.

от момента госпитализации больная выписана из стационара домой в удовлетворительном состоянии.

Со слов родственников, спустя 2 месяца после имплантации нейростимулятора пациентка жалоб на возобновление болевого синдрома не предъявляла и отказалась от приёма опиоидных анальгетиков.

## ОБСУЖДЕНИЕ

По данным зарубежных и отечественных авторов, фармакотерапия, в том числе опиоидными анальгетиками, имеет преимущественное распространение в купировании хронического болевого синдрома. Выбор в пользу консервативного лечения находит своё объяснение в том, что интенсивность хронического болевого синдрома прогрессирует в динамике при продолженном росте объёмного образования, в связи с чем оперативные методы лечения не рассматриваются на более ранних стадиях онкологического заболевания, сопровождающегося лёгким или умеренным болевым синдромом.

Болевой синдром лёгкой степени, как правило, ограничивается проведением монотерапии нестероидным противовоспалительным препаратом или его комбинацией с парацетамолом. Для купирования более выраженного болевого синдрома требуется назначение опиоидных анальгетиков. По мере нарастания боли подбор анальгетиков, согласно «лестнице обезболивания» ВОЗ, подразумевает поэтапный переход от слабых анальгетиков (нестероидный противовоспалительный препарат,

парацетамол) к более сильным (опиоиды) с применением адъювантных средств. При этом ВОЗ не даёт конкретных рекомендаций относительно момента перехода от слабого опиоида к сильному у пациентов с умеренной или сильной болью при онкологическом заболевании [8].

Возрастающий со временем болевой синдром требует увеличения дозы и кратности введения препаратов. Применяемые препараты для лечения хронического болевого синдрома имеют ряд нежелательных явлений в виде нефро- и гепатотоксичности, вызывают зависимость и усугубляют полипрагмазию, в связи с чем имеют ограничения в использовании. Преимуществом консервативной терапии перед хирургическими методами лечения является финансовая составляющая [9].

Учитывая вышеизложенное, в настоящее время пролонгированная нейромодуляция спинного мозга не рассматривается научным сообществом в качестве терапии первой линии хронического болевого синдрома [11]. Представленный клинический случай демонстрирует эффективность метода при неэффективности лечения наркотическими анальгетиками.

Положительные результаты, представленные в данном наблюдении, предполагают, что нейромодуляцию следует рассматривать на более ранних этапах лечения хронического болевого синдрома у пациентов с онкологическими заболеваниями, что поможет улучшить качество жизни. Однако требуется проведение дополнительных исследований на большей выборке пациентов данной категории.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный клинический случай наглядно показывает, что методика нейромодуляции спинного мозга является альтернативным и эффективным методом лечения фармакорезистентной формы хронического болевого синдрома у пациентов онкологического профиля. В совокупности подобные описанные клинические случаи могут стать предпосылкой к пересмотру рекомендаций/протоколов лечения хронического болевого синдрома научным сообществом. Привлечение отечественных производителей к производству расходных материалов и оборудования может значимо снизить стоимость операций по имплантации нейростимуляторов.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Поисково-аналитическая работа проведена на личные средства авторского коллектива.

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

**Вклад авторов.** А.В. Бурмистрова, М.Д. Варюхина, А.А. Ильина — анализ данных, написание статьи; А.Н. Воробьев, М.Л. Радутная, А.А. Яковлев, А.В. Гречко — кураторство работы, редактирование, одобрение статьи для публикации. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным

критериям ИСМЖЕ (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Согласие пациента.** Пациент добровольно подписал информированное согласие на публикацию персональной медицинской информации в обезличенной форме в журнале «Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация» (дата подписания 18.10.2021).

## ADDITIONAL INFORMATION

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

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

**Authors' contribution.** A.V. Burmistrova, M.D. Varyukhina, A.A. Ilyina — data analysis, manuscript writing; A.N. Vorobyev, M.L. Radutnaya, A.A. Yakovlev, A.V. Grechko — curating the work, reviewing and approving the manuscript. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

**Patients permission.** The patient voluntarily signed an informed consent to the publication of personal medical information in depersonalized form in the journal "Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation" (date of signing 18.10.2021).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. WHO's pain relief ladder for cancer pain relief. Annex 2 [Internet] // World Health Organization. Cancer pain relief. Geneva, 1986. P. 71–74. Режим доступа: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43944/9241561009\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43944/9241561009_eng.pdf). Дата обращения: 14.09.2022.
2. Когония Л.М., Новиков Г.А., Орлова Р.В., и др. Практические рекомендации по лечению хронического болевого синдрома у взрослых онкологических больных // Злокачественные опухоли. 2021. Т. 11, № 3. С. 167–186. doi: 10.18027/2224-5057-2021-11-3s2-49
3. Caraceni A., Shkodra M. Cancer pain assessment and classification // *Cancers*. 2019. Vol. 11, N 4. P. 510. doi: 10.3390/cancers11040510
4. Scholz J., Finnerup N.B., Attal N., et al. The IASP classification of chronic pain for ICD-11: Chronic neuropathic pain // *Pain*. 2019. Vol. 160, N 1. P. 53–59. doi: 10.1097/j.pain.0000000000001365
5. Злокачественные новообразования в России в 2020 году (заболеваемость и смертность). Статистический сборник / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. Москва: Московский научно-исследовательский онкологический институт имени П.А. Герцена, 2021. 252 с.
6. Всемирная организация здравоохранения, Европейский портал информации здравоохранения [интернет]. За-

болеваемость раком на 10 000 населения. Режим доступа: [https://gateway.euro.who.int/indicators/hfa\\_357-2320-incidence-of-cancer-per-100-000/visualizations/#id=19288](https://gateway.euro.who.int/indicators/hfa_357-2320-incidence-of-cancer-per-100-000/visualizations/#id=19288). Дата обращения: 12.09.2022.

7. Когония Л.М., Волошин А.Г., Новиков Г.А., Сидоров А.В. Практические рекомендации по лечению хронического болевого синдрома у онкологических больных // Злокачественные опухоли. 2019. Т. 9, № 3. С. 685–703. doi: 10.18027/2224-5057-2019-9-3s2-685-703
8. Blasco M.A. Chronic pain management in head and neck oncology // *Otolaryngol Clin North Am*. 2020. Vol. 53, N 5. P. 865–875. doi: 10.1016/j.otc.2020.05.015
9. International Neuromodulation Society. Neuromodulation, or Neuromodulatory Effect [интернет]. Режим доступа: <https://www.neuromodulation.com/>. Дата обращения: 12.09.2022.
10. Melzack R., Wall P.D. Pain mechanisms: a new theory // *Science*. 1965. Vol. 150, N 3699. P. 971–979. doi: 10.1126/science.150.3699.971
11. Hofmeister M., Memedovich A., Brown S., et al. Effectiveness of neurostimulation technologies for the management of chronic pain: a systematic review // *Neuromodulation*. 2020. Vol. 23, N 2. P. 150–157. doi: 10.1111/ner.13020

## REFERENCES

1. WHO's pain relief ladder for cancer pain relief. Annex 2 [Internet]. In: World Health Organization. Cancer pain relief. Geneva; 1986. P. 71–74. Available from: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43944/9241561009\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43944/9241561009_eng.pdf). Accessed: 14.09.2022.
2. Kogonia LM, Novikov GA, Orlova RV, et al. Practical recommendations for the treatment of chronic pain syndrome in adult cancer patients. *Malignant Tumors*. 2021;11(3):167–186. (In Russ). doi: 10.18027/2224-5057-2021-11-3s2-49
3. Caraceni A, Shkodra M. Cancer pain assessment and classification. *Cancers*. 2019;11(4):510. doi: 10.3390/cancers11040510
4. Scholz J, Finnerup NB, Attal N, et al. The IASP classification of chronic pain for ICD-11: Chronic neuropathic pain. *Pain*. 2019;160(1):53–59. doi: 10.1097/j.pain.0000000000001365
5. Malignant neoplasms in Russia in 2020 (morbidity and mortality). Statistical collection. Ed. by A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shakhzadova. Moscow: Moskovskii nauchno-issledovatel'skii onkologicheskii institut imeni P.A. Gertsena; 2021. 252 p. (In Russ).
6. World Health Organization, European Health Information Portal [Internet]. The incidence of cancer per 10,000 population. (In Russ). Available from: [https://gateway.euro.who.int/ru/indicators/hfa\\_357-2320-incidence-of-cancer-per-100-000/visualizations/#id=19288](https://gateway.euro.who.int/ru/indicators/hfa_357-2320-incidence-of-cancer-per-100-000/visualizations/#id=19288). Accessed: 12.09.2022.
7. Kogonia LM, Voloshin AG, Novikov GA, Sidorov AV. Practical recommendations for the treatment of chronic pain syndrome in cancer patients. *Malignant Tumors*. 2019;9(3):685–703. (In Russ). doi: 10.18027/2224-5057-2019-9-3s2-685-703
8. Blasco MA. Chronic pain management in head and neck oncology. *Otolaryngol Clin North Am*. 2020;53(5):865–875. doi: 10.1016/j.otc.2020.05.015
9. International Neuromodulation Society. Neuromodulation, or Neuromodulatory Effect [Internet]. Available from: <https://www.neuromodulation.com/neuromodulation-defined>. Accessed: 12.09.2022.
10. Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: a new theory. *Science*. 1965;150(3699):971–979. doi: 10.1126/science.150.3699.971
11. Hofmeister M, Memedovich A, Brown S, et al. Effectiveness of neurostimulation technologies for the management of chronic pain: a systematic review. *Neuromodulation*. 2020;23(2):150–157. doi: 10.1111/ner.13020

## ОБ АВТОРАХ

\* **Бурмистрова Александра Васильевна**;  
адрес: Россия, 141534, Московская область,  
Солнечногорский район, Лыткино, д. 777;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5532-5396>;  
eLibrary SPIN: 4477-8293; e-mail: aburmistrova@fnkcr.ru

**Воробьев Алексей Николаевич**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3742-6171>;  
eLibrary SPIN: 3253-7996; e-mail: avorobiev@fnkcr.ru

**Варюхина Мария Дмитриевна**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8870-7649>;  
eLibrary SPIN: 7463-4645; e-mail: mvaryuhina@fnkcr.ru

**Ильина Анна Александровна**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6188-870X>;  
eLibrary SPIN: 1200-3966; e-mail: shishova-1992@mail.ru

**Радутная Маргарита Леонидовна**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9181-2295>;  
eLibrary SPIN: 1077-5970; e-mail: mradutnaya@fnkcr.ru

**Яковлев Алексей Александрович**, к.м.н.;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8482-1249>;  
eLibrary SPIN: 2783-9692; e-mail: ayakovlev@fnkcr.ru

**Гречко Андрей Вячеславович**, д.м.н., профессор,  
член-корреспондент РАН;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3318-796X>;  
eLibrary SPIN: 4865-8723; e-mail: avgrechko@fnkcr.ru

## AUTHORS' INFO

\* **Aleksandra V. Burmistrova**;  
address: 777 Lytkino village, Solnechnogorsky district, 141534,  
Moscow region, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5532-5396>;  
eLibrary SPIN: 4477-8293; e-mail: aburmistrova@fnkcr.ru

**Alexey N. Vorobiev**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3742-6171>;  
eLibrary SPIN: 3253-7996; e-mail: avorobiev@fnkcr.ru

**Maria D. Varyukhina**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8870-7649>;  
eLibrary SPIN: 7463-4645; e-mail: mvaryuhina@fnkcr.ru

**Anna A. Ilina**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6188-870X>;  
eLibrary SPIN: 1200-3966; e-mail: shishova-1992@mail.ru

**Margarita L. Radutnaya**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9181-2295>;  
eLibrary SPIN: 1077-5970; e-mail: mradutnaya@fnkcr.ru

**Alexey A. Yakovlev**, MD, Cand. Sci. (Med.);  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8482-1249>;  
eLibrary SPIN: 2783-9692; e-mail: ayakovlev@fnkcr.ru

**Andrey V. Grechko**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor,  
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3318-796X>;  
eLibrary SPIN: 4865-8723; e-mail: avgrechko@fnkcr.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab111987>

## Вариант формирования постинсультной синергии руки. Клинический случай

А.С. Клочков, А.Е. Хижникова, И.С. Бакулин, Е.И. Кремнева, А.Г. Пойдашева, А.А. Фукс, Д.В. Горлачев, Е.В. Гнедовская, Н.А. Супонева

Научный центр неврологии, Москва, Российская Федерация

### АННОТАЦИЯ

Патологические двигательные синергии являются частым последствием нарушений мозгового кровообращения и препятствуют дальнейшему восстановлению активности. Существующее представление о формировании патологических синергий рассматривает их как компенсаторную стратегию в ответ на повреждение пирамидного пути, которая из-за пареза и повышения мышечного тонуса приобрела патологический характер. Последние исследования на приматах показали, что в моторном контроле руки может участвовать контралатеральное полушарие, в частности ретикулоспинальный и руброспинальный тракты. Современная гипотеза представляет кортикоретикулоспинальный и кортикоруброспинальный тракт в качестве резервной системы для нейронной реорганизации вследствие поражения.

Настоящий клинический случай описывает роль белого вещества контралатерального полушария в механизме формирования патологической сгибательной синергии, основываясь на данных анализа движений и нейровизуализации.

**Ключевые слова:** инсульт; патологическая синергия; реабилитация, клинический случай; регуляция движений.

### Как цитировать

Клочков А.С., Хижникова А.Е., Бакулин И.С., Кремнева Е.И., Пойдашева А.Г., Фукс А.А., Горлачев Д.В., Гнедовская Е.В., Супонева Н.А. Вариант формирования постинсультной синергии руки. Клинический случай // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2022. Т. 4, № 4. С. 292–303. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab111987>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab111987>

# Post-stroke hand synergy formation variant. Clinical case

Anton S. Klochkov, Anastasiya E. Khizhnikova, Ilya S. Bakulin, Elena I. Kremneva,  
Alexandra G. Poydasheva, Anna A. Fuks, Dmitry V. Gorlachev, Elena V. Gnedovskaya,  
Natalia A. Suponeva

Research Center of Neurology, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

Pathological synergies are a frequent consequence of cerebrovascular accidents and hinders further recovery. The existing concept of the formation of pathological synergies considers them as a compensatory strategy in response to damage to the pyramidal tract, which, due to paresis and increased muscle tone, has acquired a pathological character. Recent studies in primates have shown that the contralateral hemisphere, in particular the reticulospinal and rubrospinal tracts, may be involved in motor control of the hand. The current hypothesis presents the corticoreticulospinal and corticorubrospinal tracts as a back-up system for neuronal reorganization due to injury.

This clinical case describes the role of the white matter of the contralateral hemisphere in the mechanism of formation of pathological flexion synergy, based on data from the analysis of movements and neuroimaging.

**Keywords:** stroke; abnormal synergy; rehabilitation; case report; motor control.

## To cite this article

Klochkov AS, Khizhnikova AE, Bakulin IS, Kremneva EI, Poydasheva AG, Fuks AA, Gorlachev DV, Gnedovskaya EV, Suponeva NA. Post-stroke hand synergy formation variant. Clinical case. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2022;4(4):292–303. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab111987>

Received: 19.10.2022

Accepted: 31.10.2022

Published: 21.11.2022

## Список сокращений

ВМО — вызванные моторные ответы

ДТ МРТ — диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Целью реабилитации после инсульта или черепно-мозговой травмы является восстановление привычной активности и участия пациента в профессиональной, бытовой и личной жизни. Для этого двигательные тренировки фокусируются на поощрении разработки компенсаторных стратегий, чтобы как можно быстрее вернуть пациенту функциональную независимость.

В клинической практике восстановление определяется как улучшение активности после повреждения. Тем не менее разные пациенты после инсульта могут выполнять одну и ту же двигательную задачу с различными биомеханическими паттернами. Данные паттерны могут включать либо компенсаторные стратегии, либо патологические синергии. Интересно, что патологические синергии рассматриваются многими авторами как изначально компенсаторные стратегии, которые со временем и при наличии пареза и/или спастичности приобретают патологический характер [1–3]. Другая гипотеза возникновения патологической синергии заключается в том, что после уменьшения кортикофугального влияния поражённого полушария возникает повышенная зависимость от контралатеральной моторной коры головного мозга и бульбоспинальных путей, таких как ретикулоспинальный и руброспинальный тракты [4].

Ранние работы были сосредоточены на роли ретикулоспинального тракта в контроле крупных и автоматизированных движений, таких как ходьба и поддержание равновесия [5–10]. Более поздние исследования на приматах показали, что ретикулоспинальный тракт образует моно- и дисинаптические связи с моторными нейронами спинного мозга, контролирующими мышцы предплечья [11, 12]. Стимуляция ретикулоспинального тракта вызывает усиление возбуждающих постсинаптических потенциалов в мышцах руки ипсилатеральных сгибателей запястья, локтевых сгибателей и отводящих мышц плеча, воспроизводя сгибательную синергию, наблюдаемую у пациентов после инсульта [13, 14]. После поражения кортикоспинального тракта стимуляция ретикулоспинального тракта также вызывает усиление возбуждающих постсинаптических потенциалов в мотонейронах, иннервирующих сгибатели предплечья и собственные мышцы кисти [15]. Таким образом, можно предположить, что именно усиленное влияние ретикулоспинальных трактов оказывает значимое влияние на формирование патологической сгибательной синергии у пациентов, перенёсших инсульт.

Как показали данные предыдущего исследования нашей группы, восстановление функциональных двигательных навыков в паретичной руке у пациентов,

перенёсших инсульт, может происходить двумя разными путями: путём восстановления и путём адаптации [16]. На основании клиничко-биомеханического портрета движений в паретичной руке нами был выработан алгоритм ведения постинсультных пациентов в зависимости от результатов тестирования по шкале оценки физического состояния Фугл-Мейера (Fugl-Meyer) и модифицированной шкале Эшворта (Ashworth) на первых этапах реабилитации (рис. 1).

В норме при совершении произвольных движений филогенетически сложившиеся двигательные синергии, контролируемые экстрапирамидной системой, подавляются активностью кортикоспинальных трактов. При поражении пирамидной системы вследствие инсульта спинальный уровень регуляции движений становится доминирующим, что приводит к проявлению синергичных движений, обусловленных парезом и спастичностью. В сложившейся ситуации важной является объективная оценка активности кортикоспинального и ретикулоспинального трактов, что необходимо для определения тактики реабилитации, направленной на двигательное восстановление или адаптацию.



**Рис. 1.** Алгоритм определения тактики реабилитации пациентов с постинсультным гемипарезом.

**Fig. 1.** Algorithm for determining the rehabilitation tactics of post-stroke hemiparesis.

В представленном клиническом случае мы хотим продемонстрировать пример патологического двигательного паттерна, в котором проявляются одновременно патологические синергии, управляемые ретикулоспинальным трактом, и произвольные движения, контролируемые нисходящими кортикоспинальными путями.

## ОПИСАНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ

### О пациенте

Пациент А., 37 лет, обратился в ФГБНУ «Научный центр неврологии» с жалобами на нарушение речи, слабость в правой руке и ноге. За 26 мес до госпитализации перенёс нарушение мозгового кровообращения, сопровождавшееся выраженным правосторонним гемипарезом и сенсомоторной афазией. В последующем пациент проходил многочисленные курсы реабилитации с положительным эффектом в виде улучшения понимания речи и функции ходьбы, однако сохранялся выраженный парез в руке.

*Неврологический статус.* На момент поступления в ФГБНУ «Научный центр неврологии» в неврологическом статусе наблюдалась сенсомоторная афазия с преобладанием моторного компонента. Правосторонний гемипарез в руке по шкале MRC-SS (Medical Research Council Weakness Scale — оценка мышечной силы): сгибатели плечевого сустава — 4 балла, разгибатели плечевого сустава — 4 балла, сгибатели локтевого сустава — 3 балла, разгибатели локтевого сустава — 3 балла, сгибатели лучезапястного сустава — 3 балла, разгибатели лучезапястного сустава — 3 балла, сгибатели и разгибатели пальцев — 3 балла, сгибатели и разгибатели большого пальца — 2 балла. Мышечный тонус по шкале Эшворта значительно повышен по спастическому типу [17]: сгибатели плечевого сустава — 1 балл, сгибатели локтевого сустава — 1+, сгибатели лучезапястного сустава и пальцев — 1+. Сухожильные и периостальные рефлексy: S<D.

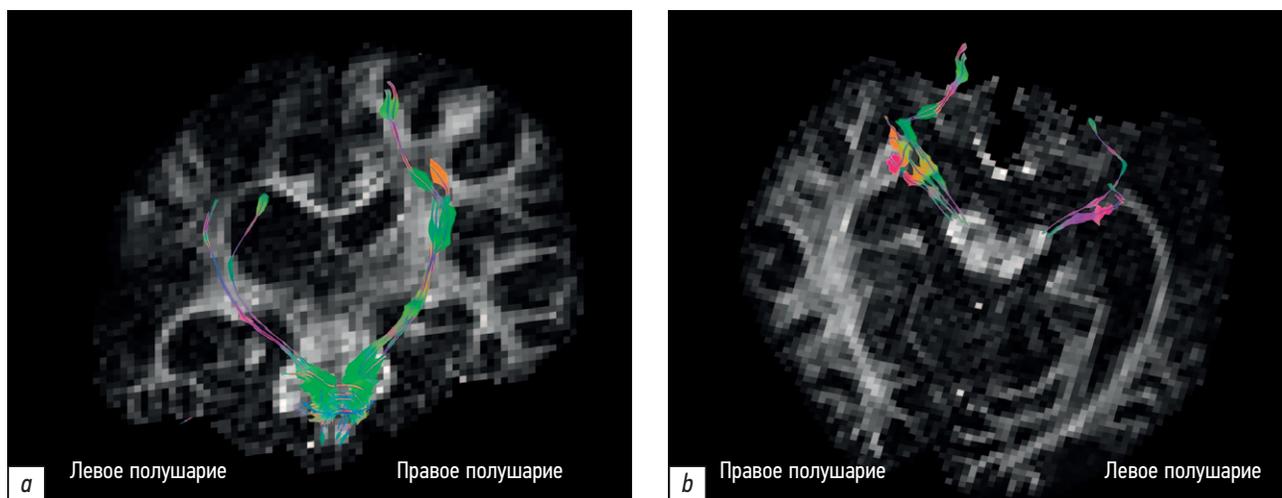
Правосторонняя гемигипестезия. Оценка с помощью модифицированной шкалы Рэнкина — 2 балла.

Для клинических характеристик использовались клинические шкалы оценки степени двигательного дефицита и функциональных ограничений руки — Фугл-Мейера [18] и ARAT (Action Research Arm Test).

Согласно разработанному нашей группой оригинальному алгоритму ведения больных с постинсультной реабилитацией [16], основанному на данных тестирования пациентов по шкалам Фугл-Мейера (балл движения запястья и кисти — 34, подраздел синергии — 5 баллов) и Эшворта (балл в сгибателях локтевого сустава — 1+), пациент был отнесён в группу «адаптации к патологическому стереотипу».

### Результаты инструментального исследования

Для оценки центральных механизмов моторного контроля проводилась магнитно-резонансная томография головного мозга по стандартному протоколу (T2-Vi, Flair, T1, SWI, DVI) с включением методики диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии (ДТ МРТ) для последующего анализа кортикоспинальных трактов. При реконструкции кортикоспинальных трактов методом МР-трактографии у пациента А. отмечено выраженное уменьшение объёма левого кортикоспинального тракта на стороне поражения по сравнению с контралатеральным кортикоспинальным трактом (рис. 2). Для определения степени сохранности кортикоспинального тракта нами применялся расчёт индекса асимметрии фракционной анизотропии, используемый в алгоритме PREP (Predict Recovery Potential algorithm — прогнозирование восстановления):  $(FA_{\text{contra}} - FA_{\text{ipsi}}) / (FA_{\text{contra}} + FA_{\text{ipsi}})$  [19], где  $FA_{\text{contra}}$  — фракционная анизотропия в заднем бедре внутренней капсулы контралатерально очагу поражения,  $FA_{\text{ipsi}}$  — фракционная анизотропия в заднем бедре внутренней капсулы на стороне поражения. При измерении



**Рис. 2.** Реконструкция кортикоспинальных трактов пациента: аксиальная (а) и коронарная (б) проекции.

**Fig. 2.** Reconstruction of the patient's corticospinal tracts: axial (a) and coronal (b) view.

индекса асимметрии расчётное значение составило 0,046, что соответствует низкой степени асимметрии и может свидетельствовать о хорошей сохранности кортикоспинального тракта на данном уровне при относительном уменьшении его объёма.

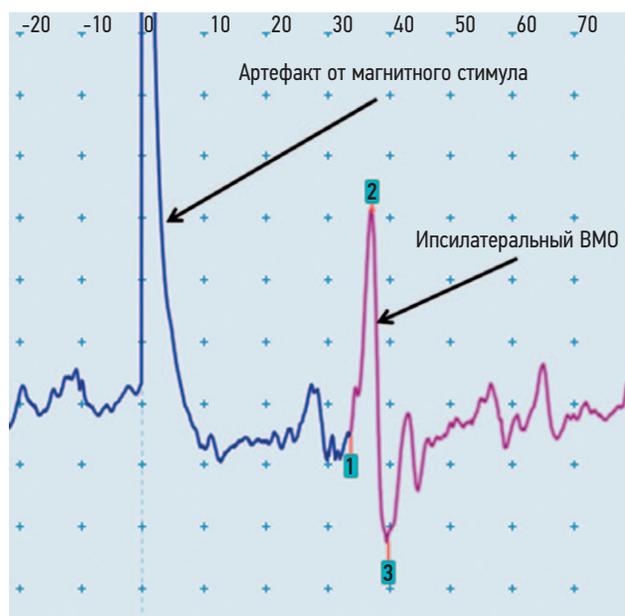
Проведена диагностическая транскраниальная магнитная стимуляция с применением магнитного стимулятора Neuro-MSX (Нейрософт, Россия) и системы навигации ANT Neuro (Германия). При стимуляции левой первичной моторной коры с интенсивностью 80–100% от максимальной мощности стимулятора зарегистрированы воспроизводимые вызванные моторные ответы (ВМО) с *mm. abductor pollicis brevis, abductor digiti minimi, extensor digitorum communis* правой (паретичной) руки.

Регистрация ипсилатеральных ВМО проводилась с правой *m. abductor pollicis brevis* в условиях произвольного сокращения мышцы (30–50% от максимального сокращения). Точка для стимуляции соответствовала «горячей точке» в пределах правой первичной моторной коры для контралатеральной (левой) мышцы (точка, при стимуляции которой регистрируются ВМО с максимальной амплитудой). При стимуляции правой первичной моторной коры с интенсивностью 80% от максимальной с правой *m. abductor pollicis brevis* зарегистрированы воспроизводимые переменные по амплитуде ипсилатеральные ВМО с латентностью в пределах 30–35 мс. На рис. 3 представлен пример ипсилатерального ВМО с правой *m. abductor pollicis brevis* (короткая мышца, отводящая большой палец кисти) при стимуляции правой первичной моторной коры.

## Реабилитационные мероприятия

Курс реабилитации пациента А. включал в себя следующие процедуры: индивидуальное занятие с инструктором-методистом лечебной физкультуры; лечебный массаж паретичных руки и ноги; нервно-мышечную электростимуляцию руки и ноги; занятия на механотерапевтическом комплексе с виртуальной обратной связью и разгрузкой веса руки Armeo Spring (Hocoma, Швейцария) согласно протоколу адаптации пациента к патологическому стереотипу (выполнение упражнений без ограничения степеней свободы в локтевом и лучезапястном суставах). На фоне курса реабилитации наблюдались улучшения функции паретичной руки по клиническим шкалам Фугл-Мейера и ARAT (табл. 1, 2).

До и после курса реабилитации была проведена объективная оценка биомеханики движений с помощью системы видеонализа Vicon (Великобритания). Регистрировались параметры суставной кинематики и временные параметры движения. В качестве парадигмы был выбран целенаправленный «ричинг» (reaching — *достижение удалённо расположенного объекта*) как наименее переменное и наиболее автоматизированное движение. Пациент располагался сидя на стуле без спинки, за столом. На столе во фронтальной плоскости на расстоянии вытянутой руки устанавливался стакан с утяжелителем весом



**Рис. 3.** Пример ипсилатерального вызванного моторного ответа (ВМО) с мышцы паретичной руки.

**Fig. 3.** Example of an ipsilateral evoked motor response of the paretic arm muscles.

10 г. Испытуемому предлагалось дотянуться до стакана, взять его, поднести ко рту, имитируя питье, после чего поставить стакан на место и вернуть руку на исходную позицию. Было записано 10 повторений с интервалом между повторами 1 мин. В качестве исследуемых параметров оценивали амплитуды движений (градусы) в плечевом (сгибание/разгибание, отведение/приведение, наружная/внутренняя ротация), локтевом (сгибание/разгибание), лучезапястном (сгибание/разгибание) суставах, а также угол наклона корпуса относительно вертикальной оси.

Для объективной количественной оценки патологических синергий использовали коэффициенты (К) синергий:

- К1 — отношение объёма сгибания в плечевом суставе к объёму отведения в плечевом суставе;
- К2 — отношение объёма разгибания в локтевом суставе к объёму сгибания в плечевом суставе;
- К3 — отношение объёма разгибания в локтевом суставе к объёму отведения в локтевом суставе.

## Динамика, исходы

Анализ биомеханики движений показал увеличение среднего времени «ричинга» на 0,43 сек. После курса реабилитации на 15,1° увеличился средний угол внутренней ротации плечевого сустава, а в момент касания объекта вместо первоначальной внутренней ротации плечевого сустава на 39° отмечалась наружная ротация на 12,7°. На 38,10° увеличился угол сгибания в лучезапястном суставе (рис. 4).

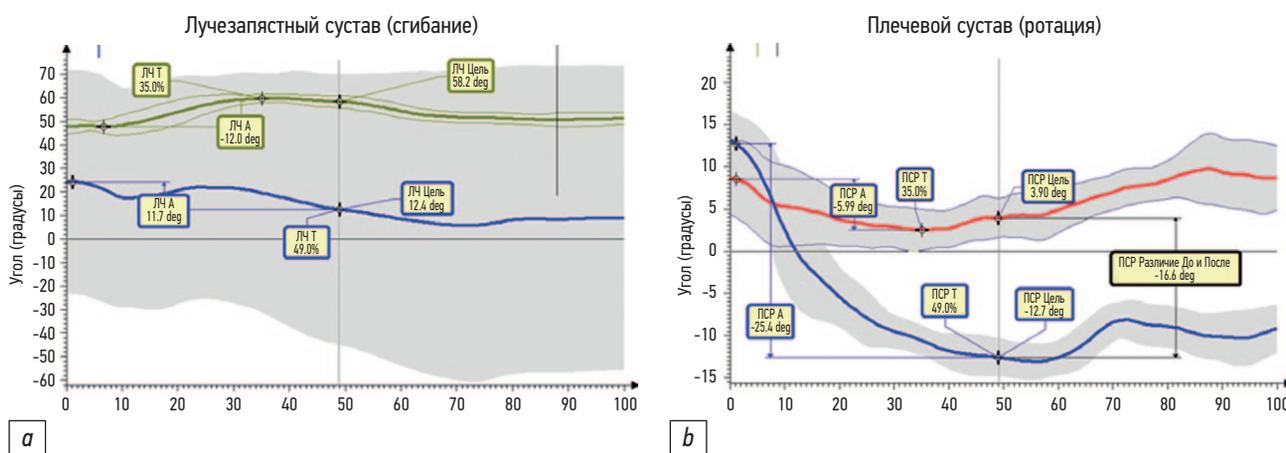
Другие кинематические характеристики изменились незначительно (табл. 3), при этом коэффициент патологической синергии, отражающий отведение и сгибание

**Таблица 1.** Тестирование по шкале Фугл-Мейера до и после реабилитации**Table 1.** Fugle-Meyer scale assessment before and after rehabilitation

Показатель	До реабилитации, балл	После реабилитации, балл
Движения в руке, общий балл	34	39
Подраздел плечо и предплечье	22	24
Подраздел запястье и кисть	12	15
Подраздел синергии	5	6

**Таблица 2.** Тестирование по шкале ARAT до и после реабилитации**Table 2.** ARAT assessment before and after rehabilitation

Показатель	До реабилитации, балл	После реабилитации, балл
Общий балл	30	37
Шаровой захват	12	14
Цилиндрический захват	4	6
Щипковый захват	8	8
Крупные движения руки	6	9

**Рис. 4.** Данные кинематики.

**Примечание.** ПСР — плечевой сустав, ротация; ЛЧ — лучезапястный сустав; А — амплитуда; Т — время достижения максимума; Цель — момент достижения удалённо расположенного объекта.

**Fig. 4.** Kinematic data.

**Note:** ПСР — shoulder joint, rotation; ЛЧ — wrist joint; А — amplitude; Т — timing of the maximal angle; Цель — the moment of touching a remotely located object.

в плечевом суставе, ухудшился по сравнению с нормой, другие же коэффициенты либо изменились незначительно, либо остались прежними, что говорит о сохранении патологического стереотипа движений при выполнении «ричинга», несмотря на проводимые тренировки (табл. 4).

О неизменности кинематического паттерна также свидетельствуют диаграммы кинематического «портрета», отражающие время достижения максимальных углов в суставах во время выполнения «ричинга» (рис. 5).

Анализ движений показал, что у пациента не изменился кинематический портрет «ричинга» на фоне проводимых тренировок. Кроме того, в структуре разгибательной синергии, включающей внутреннюю ротацию плеча, разгибание локтевого сустава и пронацию предплечья, после курса реабилитации отмечались значительная наружная ротация плечевого сустава и сгибание лучезапястного сустава, более характерные для сгибательной синергии.

**Таблица 3.** Кинематические параметры «ричинга» до и после курса реабилитации**Table 3.** Kinematic parameters of reaching movement before and after rehabilitation

Параметры	До	После
Время «ричинга», сек	1,88	2,31
Локтевой сустав, сгибание/разгибание, макс. А, град.	90,30	90,90
Плечевой сустав, сгибание/разгибание, макс. А, град.	38,70	35,90
Плечевой сустав, отведение/приведение, макс. А, град.	44,40	46,90
Плечевой сустав, ротация, макс. А, град.	2,49	-12,70
Наклон корпуса, макс. А, град.	26,90	31,30
Лучезапястный сустав сгибание/разгибание, макс. А, град.	59,60	21,50

**Примечание.** макс. А — максимальная амплитуда.

**Note:** макс. А — maximum amplitude.

**Таблица 4.** Коэффициенты патологических синергий во время «ричинга»**Table 4.** Pathological synergy coefficients during reaching movement

Коэффициент	К1	К2	К3
Норма (n=10)	1,46	1,36	1,98
До	1,18	0,39	0,46
После	0,73	0,57	0,42

## ОБСУЖДЕНИЕ

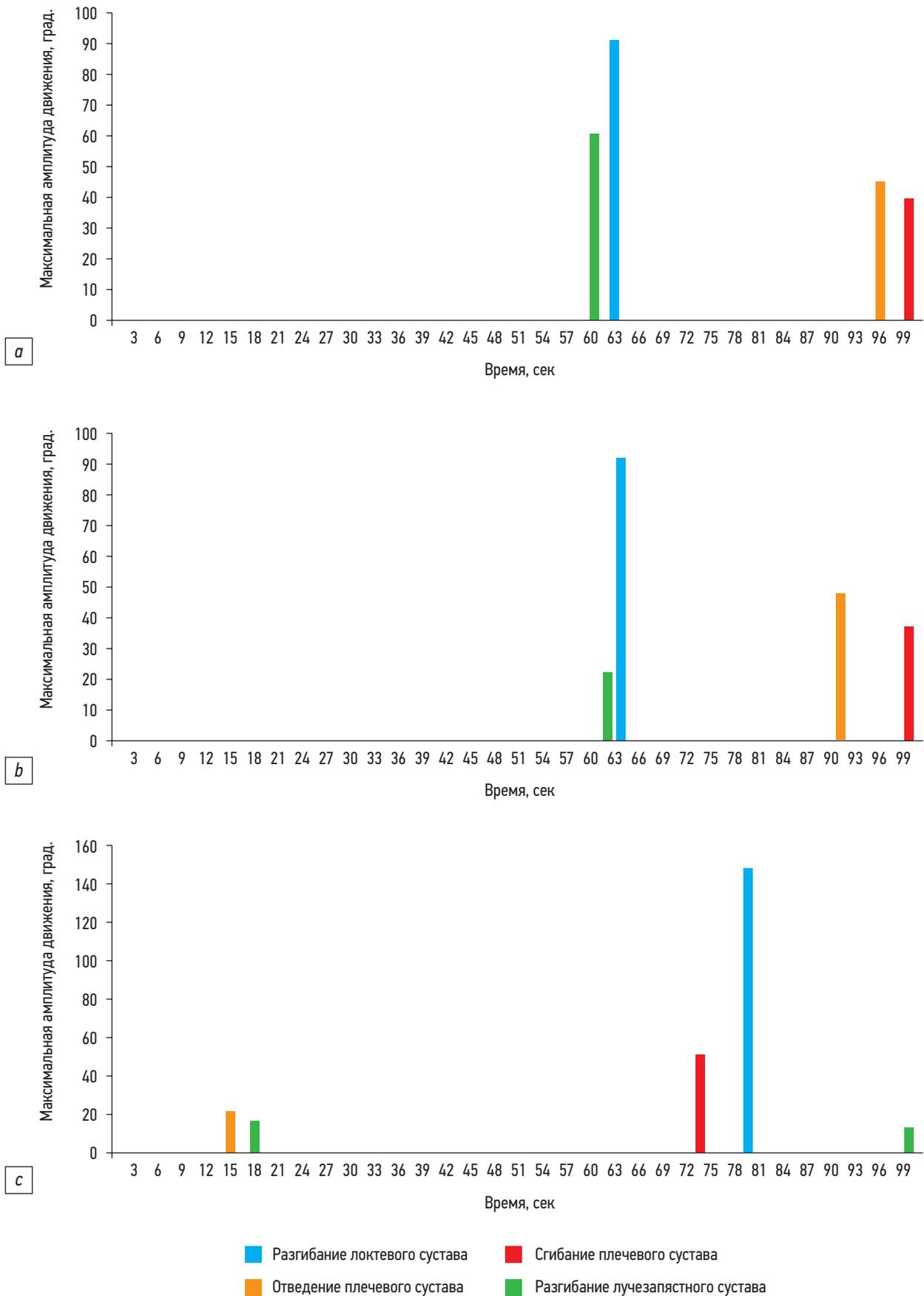
Согласно международным рекомендациям, для прогнозирования функционального восстановления паретичной руки у пациентов, перенёвших инсульт, в первые недели используется алгоритм PREP, основой для которого служит оценка пациента по шкале SAFE (Short Assessment of Feeding Elements — краткая оценка составляющих элементов кормления), и дальнейшая оценка ВМО с мышц паретичной руки и ДТ МРТ с определением индекса асимметрии в задней ножке внутренней капсулы [20]. Данный метод позволяет с точностью более 70% определить возможности функционального двигательного восстановления паретичной руки к 3-му месяцу реабилитации. Однако в последующие месяцы после перенесённого нарушения мозгового кровообращения у пациентов начинает формироваться патологическая двигательная синергия, которая приводит к изменению прогноза двигательного восстановления, и на первый план при прогнозировании дальнейшего функционального восстановления паретичной руки выходит её оценка.

Основываясь на данных наших предыдущих исследований, пациент А., согласно клинической картине, был отнесён в группу с выраженной патологической синергией, а в качестве тактики реабилитационных мероприятий была выбрана адаптация пациента к патологическому стереотипу движений в руке [16]. С учётом данных кинематического портрета движений паретичной

руки у пациента также наблюдался паттерн движений, характерный для группы с выраженной патологической синергией: увеличение степени отведения в плечевом суставе по отношению к степени сгибания в плечевом суставе (К1 1,18); уменьшение степени разгибания в локтевом суставе по отношению к степени сгибания в плечевом суставе (К2 0,39), при этом, по данным обследования по шкале ARAT и разделу запястья и кисти шкалы Фугл-Мейера, у пациента наблюдались достаточно высокие показатели функциональных возможностей в паретичной руке (30 и 12 баллов соответственно).

В связи с наблюдаемой диссоциацией между функциональными возможностями паретичной руки и степенью выраженности патологической двигательной синергии нами было принято решение оценить сохранность кортикоспинального тракта с использованием ДТ МРТ, а также исследовать ВМО с применением транскраниальной магнитной стимуляции. Регистрация ВМО с мышц паретичной руки при стимуляции контралатерального полушария, а также значение индекса асимметрии фракционной анизотропии кортикоспинальных трактов (0,046) указывают на высокую степень сохранности кортикоспинального тракта [19, 20].

Как показывают данные отдельных исследований, преобладание влияния ретикулоспинальных путей над кортикоспинальными может приводить к формированию выраженной патологической синергии у пациентов, перенёвших инсульт [4]. В представленном наблюдении



**Рис. 5.** Кинематический «портрет ричинга»: *a* — до курса реабилитации; *b* — после курса реабилитации; *c* — в норме.

**Fig. 5.** Kinematic pattern of the reaching movement: *a* — before rehabilitation; *b* — after rehabilitation; *c* — normal pattern.

у пациента были зарегистрированы ипсилатеральные ВМО с мышцы паретичной руки с латентностью 30–35 мс, которые могут быть обусловлены проведением импульса по полисинаптическим путям, в частности ретикулоспинальному [21]. Таким образом, у пациента А. можно предположить усиление влияния ретикулоспинальных путей на фоне перенесённого инсульта, что в свою очередь влияет на формирование выраженной патологической синергии. Достаточно хорошая сохранность кортикоспинального тракта при этом подтверждает сохранность основных функциональных возможностей в паретичной руке.

Клинико-биомеханический анализ показал, что у пациента присутствует очень сильный патологический стереотип движения. Во время выполнения «ричинга» до курса реабилитации коэффициент синергии, отражающий содружественное движение в локтевом и плечевом суставах, был ниже нормального показателя на 70%. После курса активных функциональных тренировок, направленных в том числе на достижение удалённых объектов, у пациента не отмечено улучшений биомеханики «ричинга». К компонентам разгибательной синергии присоединились элементы сгибательной синергии — наружная ротация плеча и сгибание лучезапястного сустава.

На фоне проведённого реабилитационного лечения у пациента наблюдалось улучшение функциональных возможностей паретичной руки по шкале ARAT и разделу движения запястья и кисти шкалы Фугл-Мейера (5 и 7 баллов соответственно).

Одновременное наличие выраженных патологических синергий, а также функциональных движений кисти и пальцев могут свидетельствовать о динамическом взаимодействии между кортикоспинальным трактом и другими нисходящими путями, такими как ретикулоспинальный тракт [22].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дополнение к имеющимся теориям двигательного восстановления, различающим адаптацию при выраженном поражении коркового контроля движений и доминировании ретикулоспинального тракта и физиологическое восстановление при лёгком и умеренном поражении кортикоспинального тракта, у пациента А. был выявлен паттерн двигательного контроля, включающий комбинацию сохранного ретикулоспинального тракта и повреждённого кортикоспинального тракта в результате нарушения мозгового кровообращения, при этом в клинической картине наблюдалось сочетание грубой патологической синергии с относительно хорошей функциональной активностью руки.

Общепризнанным считается наличие двух возможных путей двигательного восстановления: первый — за счёт активности кортикоспинального тракта при его негрубом повреждении; второй — за счёт ипсилатеральных полисинаптических путей (например, ретикулоспинального)

при грубом повреждении кортикоспинального тракта. Однако наш клинический случай показывает, что подобное строгое разделение является, вероятно, допущением, и что возможны промежуточные варианты, когда в двигательное восстановление вовлечён как кортикоспинальный, так и ипсилатеральный полисинаптический путь. У таких пациентов клинически наблюдается нетипичная картина сочетания грубых патологических синергий и относительно сохраненных функциональных возможностей паретичной кисти. Вероятно, для таких пациентов необходимо разрабатывать новые персонализированные алгоритмы реабилитации, основанные на данных о возможности одновременной сохранности проведения по обоим путям.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Статья подготовлена в рамках фундаментальной НИР ФГБНУ «Научный центр неврологии».

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

**Вклад авторов.** А.С. Клочков, А.Е. Хижникова, И.С. Бакулин, Е.И. Кремнева, А.Г. Пойдашева, А.А. Фукс, Д.В. Горлачев — анализ данных, написание статьи; Е.В. Гнедовская, Н.А. Супонева — кураторство работы, редактирование, одобрение статьи для публикации. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Согласие пациента.** От пациента получено письменное информированное добровольное согласие на публикацию описания клинического случая, медицинских данных (результатов обследования, лечения и наблюдения) и изображений пациента в медицинском журнале «Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация», включая его электронную версию (дата подписания 12.10.2022).

## ADDITIONAL INFORMATION

**Funding source.** The paper was prepared as a part of fundamental research of the Research center of neurology.

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

**Authors' contribution.** A.S. Klochkov, A.E. Khizhnikova, I.S. Bakulin, E.I. Kremneva, A.G. Poydasheva, A.A. Fuks, D.V. Gorlachev — data analysis, paper writing; E.V. Gnedovskaya, N.A. Suponeva — work supervision, editing and approval of the paper for publication. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

**Patients permission.** A written informed voluntary consent was received from the patient to publish a description of the clinical case, medical data (results of examination, treatment and observation) and images of the patient in the medical journal “Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation”, including its electronic version (signature date 12.10.2022).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Knutsson E., Martensson A. Dynamic motor capacity in spastic paresis and its relation to prime mover dysfunction, spastic reflexes and antagonist co-activation // *Scand J Rehabil Med.* 1980. Vol. 12, N 3. P. 93–106.
2. Knutsson E., Dewalpe P.J., Younger R.R. Studies of gait control in patients with spastic paresis. *Clinical Neurophysiology in Spasticity.* New York: Elsevier, 1985. P. 175–184.
3. Chen J., Friesen W.O., Iwasaki T. Mechanisms underlying rhythmic locomotion: interactions between activation, tension and body curvature waves // *J Exp Biol.* 2012. Vol. 215, N 2. P. 211–219. doi: 10.1242/jeb.058669
4. Owen M., Ingo C., Dewald J.P. Upper extremity motor impairments and microstructural changes in bulbospinal pathways in chronic hemiparetic stroke // *Front Neurol.* 2017. Vol. 13, N 8. P. 257. doi: 10.3389/fneur.2017.00257
5. Mori S., Matsuyama K., Mori F., Nakajima K. Supraspinal sites that induce locomotion in the vertebrate central nervous system // *Adv Neurol.* 2001. Vol. 87. P. 25–40.
6. Schepens B., Stapley P., Drew T. Neurons in the pontomedullary reticular formation signal posture and movement both as an integrated behavior and independently // *J Neurophysiol.* 2008. Vol. 100, N 4. P. 2235–2253. doi: 10.1152/jn.01381.2007
7. Drew T., Dubuc R., Rossignol S. Discharge patterns of reticulospinal and other reticular neurons in chronic, unrestrained cats walking on a treadmill // *J Neurophysiol.* 1986. Vol. 55, N 2. P. 375–401. doi: 10.1152/jn.1986.55.2.375
8. Matsuyama K., Drew T. Vestibulospinal and reticulospinal neuronal activity during locomotion in the intact cat. I. Walking on a level surface // *J Neurophysiol.* 2000. Vol. 84, N 5. P. 2237–2256. doi: 10.1152/jn.2000.84.5.2237
9. Prentice S.D., Drew T. Contributions of the reticulospinal system to the postural adjustments occurring during voluntary gait modifications // *J Neurophysiol.* 2001. Vol. 85, N 2. P. 679–698. doi: 10.1152/jn.2001.85.2.679
10. Schepens B., Drew T. Independent and convergent signals from the pontomedullary reticular formation contribute to the control of posture and movement during reaching in the cat // *J Neurophysiol.* 2004. Vol. 92, N 4. P. 2217–2238. doi: 10.1152/jn.01189.2003
11. Riddle C.N., Edgley S.A., Baker S.N. Direct and indirect connections with upper limb motoneurons from the primate reticulospinal tract // *J Neurosci.* 2009. Vol. 29, N 15. P. 4993–4999. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3720-08.2009
12. Owen M., Ingo C., Dewald J.P. Upper extremity motor impairments and microstructural changes in bulbospinal pathways in chronic hemiparetic stroke // *Front Neurol.* 2017. Vol. 8. P. 257. doi: 10.3389/fneur.2017.00257
13. Davidson A.G., Buford J.A. Bilateral actions of the reticulospinal tract on arm and shoulder muscles in the monkey: stimulus triggered averaging // *Exp Brain Res.* 2006. Vol. 173, N 1. P. 25–39. doi: 10.1007/s00221-006-0374-1
14. Baker S.N. The primate reticulospinal tract, hand function and functional recovery // *J Physiol.* 2011. Vol. 589, N 23. P. 5603–5612. doi: 10.1113/jphysiol.2011.215160
15. Zaaimi B., Edgley S.A., Soteropoulos D.S., Baker S.N. Changes in descending motor pathway connectivity after corticospinal tract lesion in macaque monkey // *Brain.* 2012. Vol. 135, N 7. P. 2277–2289. doi: 10.1093/brain/aww115
16. Хижникова А.Е., Ключков А.С., Котов-Смоленский А.М., и др. Динамика кинематического портрета постинсультного пареза руки на фоне реабилитации // *Вестник российского государственного медицинского университета.* 2019. № 4. С. 34–41. doi: 10.24075/vrgmu.2019.056
17. Супонева Н.А., Юсупова Д.Г., Ильина К.А., и др. Валидация Модифицированной шкалы Эшворта (Modified Ashworth Scale) в России // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2020. Т. 14, № 1. С. 89–96. doi: 10.25692/ACEN.2020.1.10
18. Супонева Н.А., Юсупова Д.Г., Зимин А.А., и др. Валидация русскоязычной версии шкалы Фугл-Мейера для оценки состояния пациентов с постинсультным парезом // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2021. Т. 121, № 8-2. С. 86–90. doi: 10.17116/jnevro202112108286
19. Stinear C. Prediction of recovery of motor function after stroke // *Lancet Neurol.* 2010. Vol. 9, N 12. P. 1228–1232. doi: 10.1016/S1474-4422(10)70247-7
20. Stinear C.M., Barber P.A., Petoe M., et al. The PREP algorithm predicts potential for upper limb recovery after stroke // *Brain.* 2012. Vol. 135, N 8. P. 2527–2535. doi: 10.1093/brain/aww146
21. Ziemann U., Ishii K., Borgheresi A., et al. Dissociation of the pathways mediating ipsilateral and contralateral motor-evoked potentials in human hand and arm muscles // *J Physiol.* 1999. Vol. 1, N 518. P. 895–906. doi: 10.1111/j.1469-7793.1999.0895p.x
22. Xu J., Ejaz N., Hertler B., et al. Separable systems for recovery of finger strength and control after stroke // *J Neurophysiol.* 2017. Vol. 118, N 2. P. 1151–1163. doi: 10.1152/jn.00123.2017

## REFERENCES

1. Knutsson E., Martensson A. Dynamic motor capacity in spastic paresis and its relation to prime mover dysfunction, spastic reflexes and antagonist co-activation. *Scand J Rehabil Med.* 1980;12(3):93–106.
2. Knutsson E., Dewalpe PJ, Younger RR. Studies of gait control in patients with spastic paresis. *Clinical Neurophysiology in Spasticity.* New York: Elsevier; 1985. P. 175–184.
3. Chen J, Friesen WO, Iwasaki T. Mechanisms underlying rhythmic locomotion: interactions between activation, tension and body curvature waves. *J Exp Biol.* 2012;215(2):211–219. doi: 10.1242/jeb.058669
4. Owen M, Ingo C, Dewald JP. Upper extremity motor impairments and microstructural changes in bulbospinal pathways in chronic hemiparetic stroke. *Front Neurol.* 2017;13(8):257. doi: 10.3389/fneur.2017.00257
5. Mori S, Matsuyama K, Mori F, Nakajima K. Supraspinal sites that induce locomotion in the vertebrate central nervous system. *Adv Neurol.* 2001;(87):25–40.
6. Schepens B, Stapley P, Drew T. Neurons in the pontomedullary reticular formation signal posture and movement both as an integrated behavior and independently. *J Neurophysiol.* 2008;100(4):2235–2253. doi: 10.1152/jn.01381.2007

7. Drew T, Dubuc R, Rossignol S. Discharge patterns of reticulospinal and other reticular neurons in chronic, unrestrained cats walking on a treadmill. *J Neurophysiol.* 1986;55(2):375–401. doi: 10.1152/jn.1986.55.2.375
8. Matsuyama K, Drew T. Vestibulospinal and reticulospinal neuronal activity during locomotion in the intact cat. I. Walking on a level surface. *J Neurophysiol.* 2000;84(5):2237–2256. doi: 10.1152/jn.2000.84.5.2237
9. Prentice SD, Drew T. Contributions of the reticulospinal system to the postural adjustments occurring during voluntary gait modifications. *J Neurophysiol.* 2001;85(2):679–698. doi: 10.1152/jn.2001.85.2.679
10. Schepens B, Drew T. Independent and convergent signals from the pontomedullary reticular formation contribute to the control of posture and movement during reaching in the cat. *J Neurophysiol.* 2004;92(4):2217–2238. doi: 10.1152/jn.01189.2003
11. Riddle CN, Edgley SA, Baker SN. Direct and indirect connections with upper limb motoneurons from the primate reticulospinal tract. *J Neurosci.* 2009;29(15):4993–4999. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3720-08.2009
12. Owen M, Ingo C, Dewald JP. Upper extremity motor impairments and microstructural changes in bulbospinal pathways in chronic hemiparetic stroke. *Front Neurol.* 2017;(8):257. doi: 10.3389/fneur.2017.00257
13. Davidson AG, Buford JA. Bilateral actions of the reticulospinal tract on arm and shoulder muscles in the monkey: stimulus triggered averaging. *Exp Brain Res.* 2006;173(1):25–39. doi: 10.1007/s00221-006-0374-1
14. Baker SN. The primate reticulospinal tract, hand function and functional recovery. *J Physiol.* 2011;589(23):5603–5612. doi: 10.1113/jphysiol.2011.215160
15. Zaami B, Edgley SA, Soteropoulos DS, Baker SN. Changes in descending motor pathway connectivity after corticospinal tract lesion in macaque monkey. *Brain.* 2012;135(7):2277–2289. doi: 10.1093/brain/aws115
16. Khizhnikova AE, Klochkov AS, Kotov-Smolensky AM, et al. Dynamics of the kinematic portrait of post-stroke paresis of the hand against the background of rehabilitation. *Bulletin of Russian state medical university.* 2019(4):34–41. (In Russ). doi: 10.24075/vrgmu.2019.056
17. Suponeva NA, Yusupova DG, Ilyina KA, et al. Validation of the Modified Ashworth scale in Russia. *Annals of clinical and experimental neurology.* 2020;14(1):89–96. (In Russ). doi: 10.25692/ACEN.2020.1.10
18. Suponeva NA, Yusupova DG, Zimin AA, et al. Validation of the Russian version of the Fugl-Meyer Assessment of Physical Performance for assessment of patients with post-stroke paresis. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii imeni S.S. Korsakova.* 2021; 121(8-2):86–90. (In Russ).
19. Stinear C. Prediction of recovery of motor function after stroke. *Lancet Neurol.* 2010;9(12):1228–1232. doi: 10.1016/S1474-4422(10)70247-7
20. Stinear CM, Barber PA, Petoe M, et al. D.The PREP algorithm predicts potential for upper limb recovery after stroke. *Brain.* 2012;135(8):2527–2535. doi: 10.1093/brain/aws146
21. Ziemann U, Ishii K, Borgheresi A, et al. Dissociation of the pathways mediating ipsilateral and contralateral motor-evoked potentials in human hand and arm muscles. *J Physiol.* 1999;1(518):895–906. doi: 10.1111/j.1469-7793.1999.0895p.x
22. Xu J, Ejaz N, Hertler B, et al. Separable systems for recovery of finger strength and control after stroke. *J Neurophysiol.* 2017;118(2):1151–1163. doi: 10.1152/jn.00123.2017

## ОБ АВТОРАХ

\* **Хижникова Анастасия Евгеньевна**, к.м.н.;  
адрес: Россия, 125310, Москва,  
Волоколамское шоссе, д. 80;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1395-6645>;  
eLibrary SPIN: 4824-1240; e-mail: [nastushkapal@gmail.com](mailto:nastushkapal@gmail.com)

**Клочков Антон Сергеевич**, к.м.н.;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4730-3338>;  
eLibrary SPIN: 3445-8770; e-mail: [klochkov@neurology.ru](mailto:klochkov@neurology.ru)

**Бакулин Илья Сергеевич**, к.м.н.;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0716-3737>;  
eLibrary SPIN: 7756-6427; e-mail: [bakulin@neurology.ru](mailto:bakulin@neurology.ru)

**Кремнева Елена Игоревна**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9396-6063>;  
eLibrary SPIN: 8799-8092; e-mail: [kremneva@neurology.ru](mailto:kremneva@neurology.ru)

**Пойдашева Александра Георгиевна**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1841-1177>;  
eLibrary SPIN: 4040-1184; e-mail: [poydasheva@neurology.ru](mailto:poydasheva@neurology.ru)

**Фукс Анна Антоновна**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4335-6344>;  
eLibrary SPIN: 8236-1787; e-mail: [myfannamail@gmail.com](mailto:myfannamail@gmail.com)

## AUTHORS' INFO

\* **Anastasiya E. Khizhnikova**, MD, Cand. Sci. (Med.);  
address: 80, Volokolamskoye shosse, Moscow,  
125367, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1395-6645>;  
eLibrary SPIN: 4824-1240; e-mail: [nastushkapal@gmail.com](mailto:nastushkapal@gmail.com)

**Anton S. Klochkov**, MD, Cand. Sci. (Med.);  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4730-3338>;  
eLibrary SPIN: 3445-8770; e-mail: [klochkov@neurology.ru](mailto:klochkov@neurology.ru)

**Ilya S. Bakulin**, MD, Cand. Sci. (Med.);  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0716-3737>;  
eLibrary SPIN: 7756-6427; e-mail: [bakulin@neurology.ru](mailto:bakulin@neurology.ru)

**Elena I. Kremneva**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9396-6063>;  
eLibrary SPIN: 8799-8092; e-mail: [kremneva@neurology.ru](mailto:kremneva@neurology.ru)

**Alexandra G. Poydasheva**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1841-1177>;  
eLibrary SPIN: 4040-1184; e-mail: [poydasheva@neurology.ru](mailto:poydasheva@neurology.ru)

**Anna A. Fuks**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4335-6344>;  
eLibrary SPIN: 8236-1787; e-mail: [myfannamail@gmail.com](mailto:myfannamail@gmail.com)

**Горлачев Дмитрий Владимирович;**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0735-080X>;e-mail: [goorlachev@gmail.com](mailto:goorlachev@gmail.com)**Гнедовская Елена Владимировна, д.м.н.;**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6026-3388>;eLibrary SPIN: 7248-1282; e-mail: [gnedovskaya@mail.ru](mailto:gnedovskaya@mail.ru)**Супонева Наталья Александровна, д.м.н.,**

чл.-корр. РАН;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3956-6362>;eLibrary SPIN: 3223-6006; e-mail: [nasu2709@mail.ru](mailto:nasu2709@mail.ru)**Dmitry V. Gorlachev;**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0735-080X>;e-mail: [goorlachev@gmail.com](mailto:goorlachev@gmail.com)**Elena V. Gnedovskaya, MD, Dr. Sci. (Med.);**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6026-3388>;eLibrary SPIN: 7248-1282; e-mail: [gnedovskaya@mail.ru](mailto:gnedovskaya@mail.ru)**Natalia A. Suponeva, MD, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member  
of the Russian Academy of Sciences;**ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3956-6362>;eLibrary SPIN: 3223-6006; e-mail: [nasu2709@mail.ru](mailto:nasu2709@mail.ru)

---

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author