

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 2(38)

2026 г.

Учредитель

Государственное учреждение
«Республиканский научно-
практический центр
радиационной медицины
и экологии человека»

Журнал включен в

Перечень научных изданий
Республики Беларусь
для опубликования
диссертационных исследований
по медицинской
и биологической
отраслям науки
(31.12.2009, протокол 25/1)

Журнал зарегистрирован

Министерством информации
Республики Беларусь,
Свид. № 762 от 6.11.2009

Подписано в печать 22.06.26
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Тираж 80 экз.
Усл. печ. л. 13,5. Уч.-изд. л. 8,32.
Зак. 297.

Издатель ГУ «Республиканский
научно-практический центр
радиационной медицины
и экологии человека»
Свидетельство N 1/410 от 14.08.2014

Отпечатано в
КУП «Редакция газеты
«Гомельская праўда»
г. Гомель, ул. Полесская, 17а

ISSN 2074-2088

Главный редактор, председатель редакционной коллегии

А.В. Рожко (д.м.н., профессор)

Редакционная коллегия

В.Н. Беяковский (д.м.н., профессор), К.Н. Буздакин (к.т.н., доцент), Н.Г. Власова (д.б.н., профессор, научный редактор), А.В. Величко (к.м.н., доцент), И.В. Веякин (к.б.н., доцент), Н.Н. Веякина (к.б.н., отв. секретарь), А.В. Воропаева (к.б.н., доцент), Д.И. Гавриленко (к.м.н.), М.О. Досина (к.б.н., доцент), А.В. Жарикова (к.м.н.), С.В. Зыблева (д.м.н., доцент), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор), А.В. Коротаев (к.м.н., доцент), А.Н. Лызилов (д.м.н., профессор), А.В. Макарович (к.м.н., доцент), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор), В.М. Мишура (д.м.н., профессор, зам. гл. редактора), Я.Л. Навменова (к.м.н., доцент), И.В. Назаренко (к.м.н., доцент), И.А. Новикова (д.м.н., профессор), Э.Н. Платошкин (к.м.н., доцент), Э.А. Повелица (к.м.н.), А.С. Подгорная (к.м.н.), Ю.И. Рожко (к.м.н., доцент), И.П. Ромашевская (к.м.н., доцент), А.П. Саливончик (к.б.н.), А.Е. Силин (к.б.н., доцент), А.Н. Стожаров (д.б.н., профессор), Р.М. Тахауов (д.м.н., профессор), Н.И. Шевченко (к.б.н., доцент), Ю.И. Ярец (д.м.н., доцент)

Редакционный совет

А.В. Аклеев (д.м.н., профессор, Челябинск), О.В. Алейникова (д.м.н., чл.-кор. НАН РБ, Минск), С.С. Алексанин (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Е.Л. Богдан (Минск), Л.А. Бокерия (д.м.н., академик РАН и РАМН, Москва), А.Ю. Бушманов (д.м.н., профессор, Москва), И.И. Дедов (д.м.н., академик РАМН, Москва), В.И. Жарко (Минск), К.В. Котенко (д.м.н., профессор, Москва), В.Ю. Кравцов (д.б.н., профессор, Санкт-Петербург), Н.Г. Кручинский (д.м.н., профессор, Пинск), Т.В. Мохорт (д.м.н., профессор, Минск), В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), А.А. Усс (д.м.н., профессор, Минск), В.А. Филонюк (д.м.н., профессор, Минск), Р.А. Часнойть (к.э.н., Минск), В.Д. Шило (Минск)

Технический редактор

С.Н. Никонович

Корректор

Н.Н. Юрченко

Адрес редакции 246040 г. Гомель, ул. Ильича, д. 290,
ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», редакция журнала
тел (0232) 38-95-00, факс (0232) 37-80-97
<http://www.mbp.rcrm.by> e-mail: mbp@rcrm.by

© Государственное учреждение
«Республиканский научно-практический центр
радиационной медицины и экологии человека», 2026

№ 2(38)

2026

Medical and Biological Problems of Life Activity

Scientific and Practical Journal

Founder

Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology

Journal registration
by the Ministry of information
of Republic of Belarus

Certificate № 762 of 6.11.2009

© Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology

ISSN 2074-2088

Медико-биологические проблемы

К.Н. Буздалькин, Д.Б. Куликович, Н.Г. Власова, Л.Н. Эвентова, А.Н. Матарас

Автоматизация построения прогнозов доз внутреннего и внешнего облучения, накопленных после аварии на ЧАЭС 5

Н.Г. Власова, **А.М. Скрябин**

Радиационная защита населения в отдалённом периоде после аварии на Чернобыльской АЭС 12

Е.А. Полякова, О.Л. Зобикова, А.Н. Купчинская, И.С. Сакович, М.В. Белевцев, И.В. Наумчик

Клиническое значение определения маркеров TREC и KREC в сухих пятнах крови у детей с тяжёлыми инфекционными заболеваниями, осложнёнными летальным исходом 20

Клиническая медицина

А.А. Барбарович, И.В. Назаренко, Е.В. Воропаев, Н.В. Бобович, Н.В. Галиновская

Особенности взаимосвязей отделов головного мозга по данным магнитно-резонансной трактографии у пациентов с состоянием после COVID-19 26

К.С. Комиссаров, Д.Б. Нижегородова, М.В. Дмитриева, В.С. Пилотович

Сравнительная характеристика иммунологических показателей у пациентов с иммуноглобулин А нефропатией и иммуноопосредованными гломерулопатиями 35

Е.А. Короткевич, И.В. Пахомова, А.С. Романцова, Е.В. Волочник, Д.Р. Капуза, Т.И. Хевук, М.Г. Наумович, М.В. Белевцев

Перестройки гена NUP98 при неоплазиях миелоидного ростка кроветворения у детей и молодых взрослых 44

А.А. Кудря, Е.Л. Гасич, О.П. Логинова, Н.И. Шевченко

C. difficile-ассоциированная инфекция: эпидемиологическое исследование у пациентов с онкогематологическими заболеваниями 50

Medical-biological problems

K.N. Bouzdalkin, D.B. Kulikovich, N.G. Vlasova, L.N. Eventova, A.N. Mataras

Automation for forecasting of internal and external radiation doses accumulated after the Chernobyl accident

N.G. Vlasova, **A.M. Skryabin**

Radiation protection of the population in the long term after the Chernobyl accident

E.A. Polyakova, O.L. Zobikova, A.N. Kupchinskaya, I.S. Sakovich, M.V. Belevtsev, I.V. Naumchik

Clinical significance of determining trec and krec markers in dried blood spots in children with severe infectious diseases complicated by fatal outcome

Clinical medicine

A.A. Barbarovich, I.V. Nazarenko, E.V. Voropaev, N.V. Bobovich, N. V. Halinovskaya

Features of interconnection of brain regions according to magnetic resonance tractography data in patients with COVID-19 condition

K.S. Komissarov, D.B. Nizheharodava, M.V. Dmitrieva, V.S. Pilotovich

Comparative characteristics of immunological indicators in patients with immunoglobulin A nephropathy and immune-mediated glomerulopathies

E.A. Korotkevich, I.V. Pakhomava, A.S. Romanцова, A.V. Valochnik, D.R. Kapuza, T.I. Khevuk, M.G. Navumovich, M.V. Belevtsev

NUP98 rearrangements in myeloid neoplasms in pediatric and young adult patients

A.A. Kudra, E.L. Gasich, V.P. Lohinava, N.I. Shevchenko

C. difficile-associated infection: an epidemiological study in patients with oncohematological diseases

**О.П. Логинова, А.В. Воропаева, Е.Л. Гасич,
Н.И. Шевченко**

Характеристика вагинального микро-
биоценоза у пациенток с диспластиче-
скими процессами шейки матки

59

**А.В. Любушкин, Е.В. Дмитриев, Е.А. Поля-
кова, Л.И. Волкова, И.Е. Гурьянова**

Роль метода мультиплексной проба-за-
висимой лигазной реакции в диагно-
стике гемофилии А: анализ крупных
структурных перестроек гена F8

67

**О.В. Пархоменко, Э.А. Повелица, В.В. Бе-
рещенко, А.В. Величко, А.С. Князюк,
А.В. Стрельчя, А.В. Быстренков, А.В. Ма-
карчик, А.М. Шестерня, В.А. Доманцевич**

Репродуктивное мужское здоровье —
неотъемлемая составляющая демогра-
фической безопасности Республики
Беларусь

74

**Е.О. Щеглова, Е.И. Козорез, В.М. Мицура,
Т.А. Скумина, Т.М. Михед**

Этиологическая структура внеболь-
ничных пневмоний у детей

81

Обмен опытом

**А.В. Дроздов, А.В. Быстренков, Э.А. По-
велица, А.В. Стрельчя, М.Л. Каплан,
В.А. Доманцевич**

Опыт гибридного лечения инфаркта
головного мозга в острейшем периоде
инсульта

88

**Ю.А. Лызикова, Е.А. Эйныш, Е.Г. Малаева,
А.С. Князюк, И.О. Вакульчик, Л.И. Вакульчик**

Клинический случай нейрогенного
расстройства мочеиспускания в после-
родовом периоде

96

**Я.В. Мордовкина, А.О. Жарикова, Т.В. Бобр,
Г.В. Вашкевич, А.В. Жарикова**

Сохранность зрительных функций при
критическом стенозе внутренней сон-
ной артерии: роль коллатерального
кровообращения и механизмов адапта-
ции (первое сообщение)

104

**V.P. Lohinava, A.V. Voropayeva, E.L. Gasich,
N.I. Shevchenko**

Characteristics of vaginal microbioceno-
sis in patients with cervical dysplastic
processes

**A.V. Liubushkin, E.V. Dmitriev, E.A. Poly-
kova, L.I. Volkova, I.E. Guryanova**

Role of multiplex ligation-dependent
probe amplification in hemophilia A:
analysis of large F8 variants

**O.V. Parhomenko, E.A. Povelitsa, V.V. Be-
reshchenko, A.V. Velichko, A.S. Knyazyuk,
A.V. Strelchenya, A.V. Bystrenkov, A.V. Ma-
karchik, A.M. Shesternya, V.A. Domantsevich**

Male reproductive health is an integral
component of demographic security in
the Republic of Belarus

**E.O. Shcheglova, E.I. Kozorez, V.M. Mitsura,
T.A. Skumina, T.M. Mikhed**

Etiological structure of community-ac-
quired pneumonia in children

Experience exchange

**A.V. Drozdov, A.V. Bystrenkov, E.A. Povelitsa,
A.V. Strelchenya, M.L. Kaplan, V.A. Domant-
sevich**

Experience of hybrid treatment of cer-
ebral infarction in the acute phase of is-
chemic stroke

**Yu.A. Lyzikova, E.A. Eynysh, E.G. Malaeva,
A.S. Knyazyuk, I.O. Vakulchik, L.I. Vakulchik**

A clinical case of neurogenic urinary dis-
order in the postpartum period

**Ya.V. Mordovkina, A.O. Zharikova, T.V. Bobr,
G.V. Vashkevich, A.V. Zharikova**

Visual function preservation in critical
internal carotid artery stenosis: the role
of collateral circulation and adaptation
mechanisms (first report)

УДК [616.831-073.756.5:616.89-008.46/.47]:[616.98:578.834.1]-06
DOI: 10.58708/2074-2088.2026-2(38)-26-34

А.А. Барбарович¹, И.В. Назаренко¹,
Е.В. Воропаев¹, Н.В. Бобович²,
Н.В. Галиновская¹

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ОТДЕЛОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПО ДАННЫМ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТРАКТОГРАФИИ У ПАЦИЕНТОВ С СОСТОЯНИЕМ ПОСЛЕ COVID-19

¹УО «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Беларусь;

²У «Гомельский областной клинический онкологический диспансер», г. Гомель, Беларусь

Статья посвящена изучению функционального состояния головного мозга у пациентов с состоянием после COVID-19 с помощью выполнения магнитно-резонансной трактографии. В исследовании принимали участие 27 пациентов с проявлениями постковидного синдрома с различной степенью выраженности. По результатам проведённого анализа показано изменение функционального статуса головного мозга в виде уменьшения суммы диффузий в области правой поясной извилины, не зависящее от степени тяжести проявлений состояния после COVID-19. Выявленные изменения сочетались с повышением уровня провоспалительных цитокинов интерлейкина 8 и интерлейкина 6, а также с нарушением выполнения корректурной пробы и более низким баллом по шкале экспресс оценки когнитивного статуса.

Ключевые слова: состояние после COVID-19, когнитивные нарушения, магнитно-резонансная томография головного мозга, трактография

Введение

Согласно эпидемиологическим исследованиям последних двух лет, пандемия инфекции COVID-19, вызванная вирусом SARS-CoV-2, увеличивает риск последующих нейродегенеративных заболеваний головного мозга [1]. Ввиду высокой заболеваемости инфекцией COVID-19 в период с 2020 по 2024 год среди всех слоёв населения её вклад в формирование долгосрочных последствий может оказаться значительным [1, 2]. Состояние после COVID-19, или постковидный синдром по различным данным зарегистрировано у 10–20% переболевших [3], что представляет собой большую когорту потенциально угрожаемых пациентов. Наиболее длительно сохраняющимися и снижающими качество жизни у пациентов с состоянием после COVID-19 являются неспецифические неврологические симптомы, такие как «мозговой туман», патологическая утомляемость, нарушения сна, расстройства памяти и настроения [3, 4, 5].

Проведёнными ранее исследованиями, в том числе и нашими собственными, у пациентов с состоянием после COVID-19 были выявлены признаки вялотекущего системного воспаления, не выходящие за пределы референтных интервалов [6, 7], снижение активности неспецифического иммунитета [7], проявления эндотелиальной дисфункции [8]. Все эти процессы способны инициировать отсроченные нейродегенеративные изменения головного мозга как прямо, так и опосредованно. Однако найти специфический диагностический лабораторный маркер, связанный с риском последующей нейродегенерации, обнаружить не удалось.

Более обнадеживающими выглядят результаты нейровизуализационных исследований, в первую очередь — с применением магнитно-резонансной томографии (МРТ). Несмотря на разноречивые результаты применения структурных режимов МРТ [9–12], дополнительное использование МРТ спектроскопии позволило определить специфические изменения, связанные с характером

тяжести постковидных когнитивных нарушений [13]. Таким образом, количественная и мультипараметрическая МРТ [14] представляются нам более значимыми в оценке ультраструктурных изменений, которые могли бы послужить ранним маркером диагностики нейродегенеративных заболеваний у пациентов с состоянием после COVID-19, а их определение могло бы способствовать ранним профилактическим мероприятиям в отношении формирования нейродегенеративных заболеваний головного мозга.

Цель исследования — оценить наличие и значимость изменений по данным МРТ трактографии головного мозга у пациентов с состоянием после COVID-19.

Материал и методы исследования

В период с 2022 по 2025 год на базе кафедры неврологии и нейрохирургии с курсами медицинской реабилитации факультета повышения квалификации и переподготовки учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет» было обследовано 27 пациентов с состоянием после COVID-19: 16 женщин и 11 мужчин, медиана (Me) возраста — 48,5 (40,5; 55) года. В качестве контрольной группы использованы результаты обследования четырёх здоровых добровольцев в возрасте 42 (28; 52) года: 3 женщины и 1 мужчина. Малый объём выборки контрольной группы был обусловлен ограниченностью включения здоровых лиц при отсутствии жалоб и симптомов, требующих дообследования.

Пациенты с состоянием после COVID-19 перенесли подтверждённую вирусную инфекцию SARS-CoV-2 в период от 6 месяцев до года. Однократно перенесли инфекцию COVID-19 74% пациентов, 26% — повторно. Сопутствующие заболевания: артериальная гипертензия (74%, 20 чел.), ишемическая болезнь сердца (30%, 8 чел.), люмбоишалгия (22%, 6 чел.).

Тяжесть состояния после COVID-19, определяемая в соответствии с источником [5], была представлена следующим распределением: лёгкая степень — 41%, 11 чел., средняя — 26%, 7 чел., тяжёлая —

33%, 9 человек. Для уточнения когнитивного статуса пациентам была выполнена его оценка посредством заполнения шкалы Mini-Mental Status Examination (MMSE) [15]. Для определения динамической составляющей когнитивных функций пациенты заполняли бланк корректурной пробы Аматуни [16]. Уровни цитокинов — интерлейкины (ИЛ) ИЛ-1, ИЛ-4, ИЛ-6, ИЛ-8, С-реактивный белок (СРБ) [7] — были определены с применением наборов Вектор Бест (Российская Федерация).

Морфометрическое исследование головного мозга высокого разрешения проводилось на МР-томографе Siemens Magnetom Avanto 1,5 T с 8-канальной катушкой. Использовались высокоразрешающие 3D-последовательности (толщина среза — 1 мм и менее), диффузионно-взвешенное изображение, трактография и одно-/многовоксельная спектроскопия.

МРТ трактография головного мозга выполнялась с использованием диффузионно-тензорной визуализации, оценивающей состояние путей белого вещества головного мозга. В основе метода лежала оценка диффузии молекул воды. По результатам трактографии оценивалась цельность и связность аксональных путей [17], направление и величина значения диффузии молекул воды в отдельном вокселе.

Были оценены следующие показатели:

- фракционная анизотропия (FA) — показатель направленности диффузии молекул воды. Чем больше показатель FA, тем более направленным и организованным является движение, что указывает на сохранность работы трактов;
- ADC — средняя величина диффузии воды в вокселе. Более низкие значения ADC указывают на ограниченную диффузию, что может быть обусловлено снижением плотности субстрата или воспалительными изменениями, отёком;
- TraceW — представляет собой сумму диффузий в трёх ортогональных направлениях;

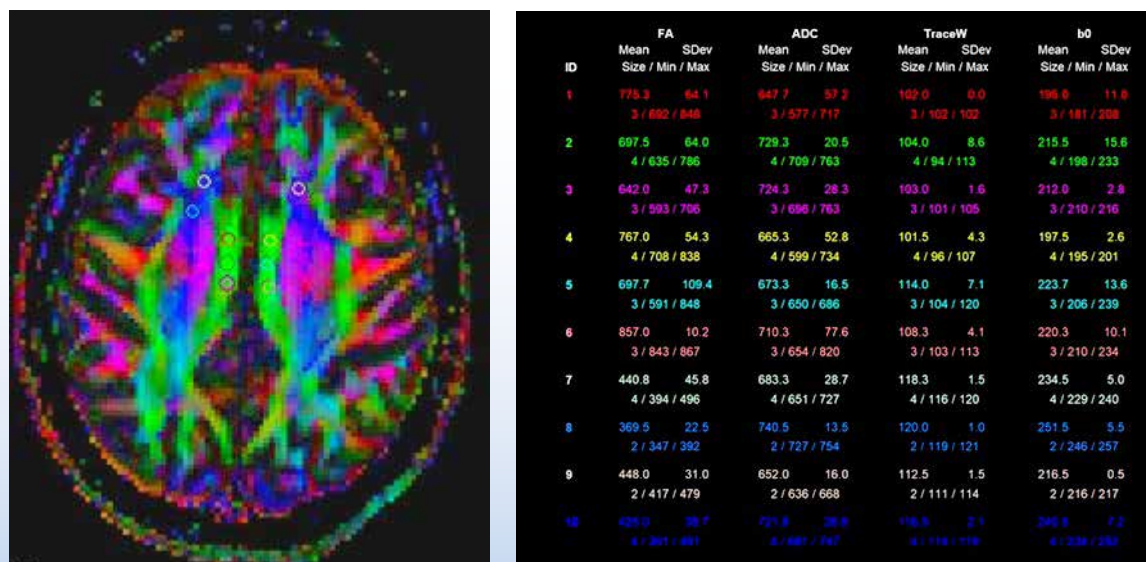


Рисунок 1 — Оценка показателей фракционной анизотропии (FA), ADC, TraceW, b0 по результатам выполнения МР-трактографии

- b0 — изображение, формируемое без диффузионного взвешивания (рисунок 1).

Все изображения оценены врачом лучевой диагностики на предмет искажений. Анализируемыми трактами выступили волокна от передних, средних и задних отделов поясной извилины, в которых ранее нами было обнаружено изменение нейрохимического спектра [13], коррелирующее с клиническими показателями степени выраженности симптомов состояния после COVID-19 [13]. Области интереса были обозначены вручную и идентичны для каждого поля. Из анализа данных извлечены показатели FA, ADC, TraceW, b0.

Статистическая обработка данных выполнялась с применением пакета STATISTICA 10.0. Распределение количественных показателей оценено с помощью теста Шапиро — Уилка. Ввиду ненормального распределения данных результаты представлены в виде Me, верхнего и нижнего квартилей (Q_1 – Q_3). Использованы пакеты программ базисной статистики. Анализ количественных данных между двумя независимыми группами выполнен U-критерием Манна — Уитни (MW), при сравнении нескольких групп использовали тест Краскела — Уоллиса (KW). Наличие корреляционной связи между показателями уточняли с помощью коэффициента Спирме-

на. Достоверными различиями считали значение $p < 0,05$.

Результаты исследования

Результаты выполнения корректурной пробы и теста MMSE представлены в таблице 1.

В таблице представлены различия по параметрам общего когнитивного статуса. Динамическая составляющая когнитивных функций по данным корректурной пробы не страдала от степени тяжести у пациентов с состоянием после COVID-19.

Результаты выполнения МРТ трактографии представлены в таблице 2.

Согласно полученным данным, выявлено снижение параметров суммы диффузии у пациентов с симптомами состояния после COVID-19 при сравнении с контрольной группой, которое наблюдалось только в ассоциативном пучке, начинающемся в правой поясной извилине. Этот факт особенно значим, так как ранее нашими данными было показано существенное снижение уровня соотношения N-ацетиласпартат/креатинин (NAA/Cr) в области передней части поясных извилин с двух сторон по сравнению с контрольной группой, более значимое справа [13].

Таким образом, трактография подтверждала объективность результатов мультिवоксельной МР спектроскопии.

Таблица 1 — Распределение параметров динамической составляющей когнитивных функций у пациентов с последствиями инфекции COVID-19

Параметр	Контрольная группа	Группа		
		1 (лёгкая степень)	2 (средняя степень)	3 (тяжёлая степень)
MMSE	30 (29; 30)	26 (25; 28) $p < 0,01$	28 (27; 29) $p < 0,01$	28 (27; 29) $p < 0,01$
общее время выполнения пробы	230 (197; 256)	238 (216; 273)	199 (180; 238)	240 (205; 268)
время до черты	109 (99,5; 115)	120 (104; 140)	108,5 (70; 118)	123 (104; 135)
время после черты	119 (97,5; 141)	120 (103; 133)	113 (95; 120)	120 (108; 133)
коэффициент вработываемости	0,96 (0,83; 1,02)	1,09 (0,82; 1,3)	0,98 (0,66; 1,1)	0,96 (0,83; 1)
коэффициент асимметрии	1,5 (0,8; 3,5)	1 (0,8; 2)	1,4 (1; 2)	0,9 (0,7; 1,59)
количество ошибок				
верхний левый квадрант	1 (0,5; 3)	1 (0; 3)	1 (0; 2)	1 (0,5; 2)
верхний правый квадрант	1,5 (0,5; 3,5)	3 (1; 5)	1 (0; 3)	2 (0,5; 3)
нижний левый квадрант	0,5 (0; 1)	2 (1; 6)	1 (0; 2)	2 (0; 3)
нижний правый квадрант	0,5 (0; 1,5)	2 (0; 5)	2,5 (2; 3)	1,5 (1; 2)

Из представленных в таблице данных следует, что значимых различий в анализируемых параметрах спектроскопии между подгруппами пациентов с симптомами состояния после COVID-19 получено не было. Для уточнения зависимости выявленных изменений от лабораторных показателей далее нами был проведён корреляционный анализ, который представлен в таблице 3.

Прямая корреляционная зависимость выявлена для концентрации основного провоспалительного ИЛ-6 с показателем диффузии воды в ассоциативном пучке с началом в правой поясной извилине. В то же время показатель суммарной диффузии TraceW в ассоциативных пучках с обеих сторон связан высокой положительной связью с концентрацией ИЛ-8. Показатель b_0 в ассоциативных пучках с обеих сторон с началом в поясной извилине также положительно коррелировал с уровнем провоспалительного цитокина ИЛ-8 и отрицательно — с противовоспалительным ИЛ-4. Параметр фракционной анизотропии связан с провоспалительными цитокинами ИЛ-8 и СРБ только в области продольного пучка с началом в левой лобной доле.

Представленные данные свидетельствуют о влиянии воспалительных изменений на изменение функциональных характеристик головного мозга.

Далее была определена связь между результатами психологических исследований и параметрами трактографии (таблица 3). В качестве оценочных проб использован балл MMSE и корректурной пробы.

Результаты MMSE отрицательно связаны с параметром фракционной анизотропии в области ассоциативного пучка с началом в левой поясной извилине, и положительно — с показателем диффузии. Числовые характеристики выполнения корректурной пробы по параметру «количество ошибок в правом нижнем квадранте» прямо противоположны: увеличение фракционной анизотропии приводило к увеличению количества ошибок в конечном квадранте, а повышение диффузии воды — к уменьшению. Время выполнения корректурной пробы после черты в средней степени положительно коррелировало с уровнем диффузии воды в продольном пучке лобной доли слева и справа.

Ранее нашими данными было показано, что специфическим маркером когни-

Таблица 2 — Результаты трактографии у пациентов с симптомами состояния после COVID-19 и в группе здоровых лиц (Me (Q₁; Q₃))

Параметр	Контрольная группа здоровых лиц	Группа 1 (лёгкая степень)	Группа 2 (средняя степень)	Группа 3 (тяжёлая степень)	pkw
FA					
ассоциативный пучок GC_1d	477,5 (384,5; 600,5)	516,6 (452; 560)	431,7 (461,2; 655,5)	481,7 (397,5; 508,9)	0,93
ассоциативный пучок GC_2d	492,3 (384; 600,5)	541,8 (452; 681,7)	583,1 (461,2; 655,5)	583,1 (461,3; 655,6)	0,81
ассоциативный пучок GC_3d	577,9 (528,7; 627)	570,5 (543; 597)	493,1 (402,4; 682)	493,1 (402,4; 682)	0,86
ассоциативный пучок GC_1s	542 (513; 571)	595,8 (566; 603)	503,4 (357,8; 633,5)	503,4 (357,8; 633,5)	0,15
ассоциативный пучок GC_2s	501,2 (415,8; 586)	640,9 (511; 677,7)	611,4 (496; 671)	611,4 (495,3; 671,1)	0,46
ассоциативный пучок GC_3s	533,9 (500; 567)	572,3 (503; 671)	549,4 (389,2; 704,7)	549,4 (389,3; 704,7)	0,51
ADS					
ассоциативный пучок GC_1d	793,3 (781; 805,2)	753,1 (746,8; 783,3)	777,5 (798,6; 758,2)	777,5 (758,7; 798,2)	0,83
ассоциативный пучок GC_2d	7561 (747,7; 770,5)	761,7 (734,7; 786,8)	778,7 (746,1; 795)	778,7 (746,1; 795)	0,95
ассоциативный пучок GC_3d	735,5 (716,7; 754,3)	763,5 (747; 773,7)	765,4 (751,5; 791,2)	765,4 (751,5; 791,3)	0,58
ассоциативный пучок GC_1s	800,8 (778,7; 822,8)	804,1 (763,5; 814,5)	799,5 (785,2; 824,1)	799,5 (785,3; 824,1)	0,18
ассоциативный пучок GC_2s	747,4 (725,5; 769,3)	764,5 (736,5; 788)	774,8 (705,5; 803,4)	774,8 (715,8; 803,4)	0,38
ассоциативный пучок GC_3s	776,3 (770,3; 782,3)	759 (734; 793,8)	774,5 (715,7; 809,4)	774,2 (715,7; 809,4)	0,87
TraceW					
ассоциативный пучок GC_1d	142,7 (138,3; 147)	117,9 ^{0,001} (112,7; 125,8)	123,1 (116,8; 123,4)	123,1 (116,8; 123,4)	0,05
ассоциативный пучок GC_2d	145,5 (141; 150,7)	122 ^{<0,001} (115,5; 139,7)	124,7 (109,5; 132,9)	124,7 (109,5; 132,9)	0,04
ассоциативный пучок GC_3d	151,4 (151; 151,7)	122,2 ^{<0,001} (114,3; 142,7)	123,4 (116; 133,2)	128,4 (116; 133,2)	0,036
ассоциативный пучок GC_1s	139,1 (138,8; 141,3)	110,7 ^{0,03} (105,8; 134,3)	114,7 (108,9; 140,8)	114,7 (108,9; 140,9)	0,051
ассоциативный пучок GC_2s	148,9 (144,5; 153,3)	120,4 ^{0,02} (108,5; 134,7)	120,8 (115,7; 130,7)	120,8 (115,7; 130,7)	0,09
ассоциативный пучок GC_3s	153,3 (152,8; 154,3)	129,2 ^{0,02} (108,5; 142,5)	124 (116,8; 134,2)	124 (115,7; 130,7)	0,041
b0					
ассоциативный пучок GC_1d	316,3 (102,3; 330)	248 ^{<0,001} (241,8; 288)	273,5 (258,9; 285,4)	273,5 (258,9; 285,4)	0,048
ассоциативный пучок GC_2d	312,1 (305,5; 318,7)	258,2 ^{<0,001} (245,5; 291,7)	276,2 (241; 290,3)	276,2 (241; 290)	0,044
ассоциативный пучок GC_3d	316 (311; 321)	260,4 ^{<0,001} (243; 299)	280 (252,4; 297)	280 (252,4; 297,1)	0,03
ассоциативный пучок GC_1s	310,4 (308,7; 312)	250,9 ^{0,001} (238,3; 287)	258,1 (241,3; 297,1)	258,1 (241,3; 333,8)	0,07
ассоциативный пучок GC_2s	314,5 (312; 317)	260,4 ^{0,033} (242,3; 280,3)	263,7 (241,3; 333,8)	283,7 (248,4; 289,3)	0,064
ассоциативный пучок GC_3s	333 (323; 337)	288,3 ^{0,033} (239; 308,5)	276,7 (253; 294,7)	276,7 (253; 294,7)	0,06

Продолжение таблицы 2					
FA					
продольный пучок лобной доли 1d	477,7 (418,5; 720)	471 (409,7; 499)	416,7 (325; 482)	409,3 (388,8; 466,7)	0,39
продольный пучок лобной доли 2d	386,7 (381,2; 444,3)	393 (336,3; 411)	373,8 (335,8; 428,7)	371,5 (358,8; 421,8)	0,6
продольный пучок лобной доли 1s	350,3 (341,5; 618,7)	456,9 (436; 537,3)	400,7 (262,7; 434,2)	466,5 (438; 538)	0,23
продольный пучок лобной доли 2s	411 (351,7; 474,3)	475,2 (427; 498,8)	410 (320; 463,5)	409 (380; 495,4)	0,5
ADC					
продольный пучок лобной доли 1d	753,5 (714,5; 764)	476,9 (727,8; 773)	771,8 (743,1; 781,9)	748 (745; 764,7)	0,83
продольный пучок лобной доли 2d	803 (716,3; 845,7)	773 (728; 795)	762 (718,5; 778,8)	768,8 (738; 789)	0,73
продольный пучок лобной доли 1s	753,2 (697; 830,7)	745,8 (704,7; 756,2)	735,7 (718,9; 745,3)	728,3 (712; 762,3)	0,96
продольный пучок лобной доли 2s	772,5 (727,5; 886,3)	768,1 (741; 819)	751,3 (729; 760)	738,8 (731,5; 751)	0,55
TraceW					
продольный пучок лобной доли 1d	166,5 (155,8; 170)	130,3 ^{<0,001} (127,7; 157,5)	131 (124; 143,2)	130,8 (125,7; 136)	0,041
продольный пучок лобной доли 2d	157,3 (156; 159)	125,1 ^{<0,001} (119; 153)	127 (123,6; 140,9)	130,3 (127,7; 137,5)	0,02
продольный пучок лобной доли 1s	158 (155,7; 177,5)	130 ^{0,01} (116; 151,3)	131,9 (120; 141,6)	127 (124,7; 136,5)	0,027
продольный пучок лобной доли 2s	155 (150,3; 159)	124,4 ^{0,01} (115,5; 147)	125,7 (123; 137,8)	126,8 (123,2; 132)	0,022
b0					
продольный пучок лобной доли 1d	354 (318,3; 385)	279,9 ^{<0,001} (261; 320)	285,2 (266,3; 322,7)	286,5 (272,7; 293,8)	0,042
продольный пучок лобной доли 2d	349 (322,3; 370,3)	265,6 ^{<0,001} (237,8; 323)	280,4 (268,7; 292)	290,5 (271,3; 284,7)	0,033
продольный пучок лобной доли 1s	364,3 (312,7; 375)	272,5 ^{0,01} (243,7; 317)	279,8 (258,7; 305,7)	273,8 (257; 287)	0,03
продольный пучок лобной доли 2s	345,8 (311,3; 357,7)	282 ^{0,05} (248; 318)	268,6 (261,2; 281,1)	278 (253,7; 282,52)	0,046

тивных нарушений у пациентов с состоянием после COVID-19 является снижение соотношения NAA/Cr в области передних отделов поясных извилин с двух сторон [13]. Корреляционная зависимость с параметрами трактографии выявлена для NAA/Cr и TraceW ассоциативный пучок GC_1d $r=-0,44$, $p=0,04$; NAA/Cr, TraceW ассоциативный пучок GC_2d $r=-0,5$, $p=0,02$; NAA/Cr и TraceW ассоциативный пучок GC_2s $r=-0,45$, $p=0,04$.

Обсуждение результатов

Согласно данным проведённого анализа МРТ трактографии при изучении функционального статуса головного мозга

выявлено снижение коэффициента суммы диффузии в трёх ортогональных направлениях в правой поясной извилине независимо от степени тяжести состояния после COVID-19. Выявленные изменения сочетались с ранее полученными данными о снижении уровня NAA/Cr в той же области по данным спектроскопии [13].

Повышение фракционной анизотропии при выполнении трактографии отрицательно коррелировало с баллом MMSE в области ассоциативного пучка с началом в левой поясной извилине, и положительно — с показателем диффузии. Повышение этого параметра также приводило к увеличению влияния интерференции при

Таблица 3 — Корреляционная матрица параметров лабораторного и нейровизуализационного статуса у пациентов с состоянием после COVID-19

Параметр	ИЛ-4	ИЛ-6	ИЛ-8	СРБ
ADC				
ассоциативный пучок GC_1d	–	0,51, p<0,001	–	–
ассоциативный пучок GC_2d	–	0,41, p=0,034	–	–
TraceW				
ассоциативный пучок GC_1d	–	–	0,71, p=0,007	–
ассоциативный пучок GC_2d	–	–	0,72, p=0,006	–
ассоциативный пучок GC_3s	–	–	0,62, p=0,025	–
b0				
ассоциативный пучок GC_1d	-0,45, p=0,01	–		–
ассоциативный пучок GC_2d	-0,4, p=0,03	–		–
ассоциативный пучок GC_3d	–	–	0,67, p=0,012	–
ассоциативный пучок GC_2s	–	–	0,57, p=0,04	–
ассоциативный пучок GC_3s	–	–	0,8, p<0,001	–
FA				
продольный пучок лобной доли 2s	–	–	0,62, p=0,025	0,48, p=0,008
ADC				
продольный пучок лобной доли 1d	-0,38, p=0,04	–	–	–
продольный пучок лобной доли 2d	-0,38, p=0,04	–	–	–
TraceW				
продольный пучок лобной доли 2d	–	–	0,8, p<0,001	–
продольный пучок лобной доли 1s	–	–	0,6, p=0,03	–

выполнении корректурной пробы. Повышение уровня провоспалительных цитокинов сочеталось с нарушением выполнения корректурной пробы.

Корреляционный анализ выявил наиболее существенную положительную связь изучаемых параметров трактографии с уровнями ИЛ-6 и ИЛ-8 и отрицательную —

Таблица 4 — Корреляционная матрица экспрессии генов нейродегенерации и нейровизуализационного статуса у пациентов с состоянием после COVID-19

Параметр	MMSE	Показатели корректурной пробы		
		количество ошибок в правом нижнем квадранте	количество ошибок с правом верхнем квадранте	время выполнения пробы после черты
FA	–	–	–	–
ассоциативный пучок GC_2d	–	0,45, p=0,04	–	–
ассоциативный пучок GC_3d	–	0,45, p=0,044	–	–
ассоциативный пучок GC_1s	-0,47, p=0,01	–	–	–
ассоциативный пучок GC_3s	-0,38, p=0,044	–	–	–
ADS	–	–	–	–
ассоциативный пучок GC_2s	0,46, p=0,02	-0,51, p=0,02	–	–
FA	–	–	–	–
продольный пучок, лобной доли 2d	–	–	-0,65, p=0,002	–
продольный пучок, лобной доли 1s	–	0,45, p=0,046	–	–
продольный пучок, лобной доли 2s	–	–	-0,5, p=0,026	–
продольный пучок, лобной доли 2d	–	–	–	0,49, p=0,028
продольный пучок, лобной доли 1s	–	–	–	0,45, p=0,048

с уровнем ИЛ-4, что указывает на участие в формировании когнитивного снижения у пациентов с состоянием после COVID-19 хронического вялотекущего воспаления и подтверждает данные ранее выполненных исследований [6, 7].

Заключение

Проведенный анализ параметров диффузионной МРТ трактографии у пациентов с состоянием после COVID-19 выявил изменение функционального статуса головного мозга в виде уменьшения суммы диффузий в области правой поясной извилины, что соотносится с уменьшением уровня NAA/Cr в этой же области по данным МРТ спектроскопии. Изменения параметров трактографии соответствовали повышению уровня провоспалительных цитокинов и сочетались с нарушением выполнения корректурной пробы и более низким баллом MMSE, таким образом указывая на патогенетическое основание когнитивных нарушений в изучаемой группе и открывая направление для их коррекции.

Библиографический список

1. Bereczki, D. Need for awareness and surveillance of long-term post-COVID neurodegenerative disorders: a position paper from the neuroCOVID-19 task force of the European Academy of Neurology / D. Bereczki, Á. Dénes, F. M. Boneschi // *J. Neurol.* – 2025. – Vol. 272, No. 6. – P. 380. – DOI: 10.1007/s00415-025-13110-3.
2. Links between COVID-19, long COVID, and neurodegeneration: the role of glycosphingolipids / M. Spedding [et al.] // *Pharmacological Reviews.* – 2026. – Vol. 78, No. 2. – P. 100113. – DOI: 10.1016/j.pharmr.2026.100113.
3. Scharf, R. E. Special issue: Post-COVID-19 syndrome / R. E. Scharf // *Viruses.* – 2024. – Vol. 16, No. 12. – Article 1901. – DOI: 10.3390/v16121901.
4. Спектр нейропсихологических нарушений у пациентов с постковидным синдромом / Н. В. Галиновская [и др.] // *Неврология и нейрохирургия. Восточная Европа.* – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 323–334. – DOI: 10.34883/PI.2024.14.3.040.
5. Стратификация клинических групп у пациентов с постковидным синдромом / Н. В. Галиновская [и др.] // *Проблемы здоровья и экологии.* – 2025. – Т. 22, № 2. – С. 7–17. – DOI: 10.51523/2708-6011.2025-22-2-01.
6. Bachiller, S. SARS-CoV-2 post-acute sequelae linked to inflammation via extracellular vesicles / S. Bachiller, J. Vitallé, L. Camprubí-Ferrer // *Front. Immunol.* – 2025. – Vol. 16. – Article 1501666. – DOI: 10.3389/fimmu.2025.1501666.
7. Роль системного воспаления в формировании нейропсихологических нарушений у пациентов с состоянием после COVID-19 / И. О. Стома [и др.] // *Неврология и нейрохирургия. Восточная Европа.* – 2025. – Т. 15, № 4. – С. 519–529. – DOI: 10.34883/PI.2025.15.4.043.
8. Значимость оценки параметров системного воспаления и эндотелиальной дисфункции у пациентов с состоянием после инфекции COVID-19 / Н. В. Галиновская [и др.] // *Лабораторная диагностика. Восточная Европа.* – 2025. – Т. 14, № 4. – С. 629–642. – DOI: 10.34883/PI.2025.14.4.008.
9. Neuroimaging biomarkers of post-acute sequelae of coronavirus disease 2019 / S. R. Levendovszky [et al.] // *Br. J. Radiol.* – 2025. – Vol. 98, No. 1172. – P. 1165–1175. – DOI: 10.1093/bjr/tqaf090.
10. Distinct brain alterations and neurodegenerative processes in cognitive impairment associated with post-acute sequelae of COVID-19 / D. Seo [et al.] // *Nat. Commun.* – 2025. – Vol. 16, No. 1. – Article 10552. – DOI: 10.1038/s41467-025-65597-z.
11. Cortical thickness alterations and systemic inflammation define long-COVID patients with cognitive impairment / B. Besteher [et al.] // *Brain. Behav. Immun.* – 2024. – Vol. 116. – P. 175–184. – DOI: 10.1016/j.bbi.2023.11.028.
12. Choroid plexus alterations in long COVID and their associations with Alzheimer's disease risks / H. Pang [et al.] // *Alzheimers Dement.* – 2026. – Vol. 22, No. 2. – Article e71020. – DOI: 10.1002/alz.71020.
13. Изменение морфометрических и нейрохимических показателей структур мозга у пациентов с постковидным синдромом / И. О. Стома [и др.] // *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя медыцынскіх навук.* – 2025. – Т. 22, № 2. – С. 102–118. – DOI: 10.29235/1814-6023-2025-22-2-102-118.
14. A quantitative multi-parameter mapping protocol standardized for clinical research in multiple sclerosis / H. Trang [et al.] // *Sci. Rep.* – 2024. – Vol. 14, No. 1. – Article 30481. – DOI: 10.1038/s41598-024-80274-9.
15. Folstein, M. F. Mini-mental state: a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician / M. F. Folstein, S. E. Folstein, P. R. McHugh // *J. Psychiatr Res.* – 1975. – Vol. 12, No. 3. – P. 189–198. – DOI: 10.1016/0022-3956(75)90026-6.
16. Столяренко, Л. Д. Основы психологии : учеб. пособие / Л. Д. Столяренко. – Ростов-н/Д. : Феникс, 2005. – 672 с.
17. Ranzenberger, L. R. Diffusion tensor imaging / L. R. Ranzenberger, J. M. Das, T. Snyder // *StatPearls.* – Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2025. – Updated 2023 Nov 12. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556135/> (date of access: 19.06.2026).

A.A. Barbarovich, I.V. Nazarenko, E.V. Voropaev, N.V. Bobovich, N. V. Halinovskaya

**FEATURES OF INTERCONNECTION OF BRAIN REGIONS
ACCORDING TO MAGNETIC RESONANCE TRACTOGRAPHY
DATA IN PATIENTS WITH COVID-19 CONDITION**

The article is devoted to the study of the functional state of the brain in patients with post-COVID-19 conditions using magnetic resonance tractography. The study involved 27 patients with varying degrees of post-COVID-19 syndrome. The analysis showed a change in the functional status of the brain, characterized by a decrease in the sum of diffusions in the right cingulate gyrus, regardless of the severity of the post-COVID-19 condition. The identified changes were associated with increased levels of pro-inflammatory cytokines interleukin 8 and interleukin 6, and were accompanied by impaired performance on the proof-reading test and lower scores on the express assessment of cognitive status.

Key words: *post-COVID-19 condition, cognitive impairments, magnetic resonance imaging of the brain, tractography*

Поступила 05.06.2026