

УДК 616-073.75

3.1.25 Лучевая диагностика

DOI: 10.37903/vsgma.2024.4.18 EDN: OFBVGM

КОРРЕЛЯЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИФфуЗИОННО-ТЕНЗОРНОЙ МРТ И КЛИНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ДВИГАТЕЛЬНОГО ДЕФИЦИТА У ПАЦИЕНТОВ, ПЕРЕНЕСШИХ ИШЕМИЧЕСКИЙ ИНСУЛЬТ

© Гизатуллин Р.Р., Байков Д.Э., Ахмадеева Л.Р., Байкова Г.В.

*Башкирский государственный медицинский университет, Россия, 45008, Уфа, ул. Ленина 3**Резюме*

Цель. Анализ потенциальной эффективности диффузионно-тензорной МРТ на примере сопоставления показателей фракционной анизотропии и индекса коэффициента диффузии в кортикоспинальных трактах у пациентов, перенесших церебральный инсульт с целью прогнозирования регресса двигательного дефицита и коррекции дальнейшей тактики проводимого лечения.

Методика. Проведен анализ двух групп пациентов, где первая группа – это пациенты с ишемическим инсультом в позднем восстановительном периоде, у которых наблюдался центральный парез. Вторая группа – пациенты без двигательного дефицита и фактов острого нарушения мозгового кровообращения в анамнезе. В обеих группах для объективизации двигательного дефицита были применены клинические методы его количественной оценки. Полученные результаты сопоставлены с данными диффузионно-тензорной МРТ при построении моделей кортикоспинальных трактов.

Результаты. Получены данные, свидетельствующие о наличии устойчивой связи между показателями фракционной анизотропии в кортикоспинальных трактах, результатами клинической оценки по шкалам функциональной независимости и шкалам, отражающими двигательный дефицит. При проведении дальнейшего анализа по Спирмену между данными параметрами наблюдалась сильная ($r_s > 0,80$) зависимость, что свидетельствует о связи между объективными инструментальными показателями, характеризующими состояние кортикоспинального пути и клинически оцененным двигательным дефицитом у пациентов после ишемического инсульта.

Заключение. Диффузионно-тензорная МРТ с построением моделей кортикоспинальных трактов и определением показателей фракционной анизотропии может стать полезным инструментом в оценке состояния проводящих путей головного мозга у пациентов, перенесших церебральный инсульт.

Ключевые слова: инсульт, двигательный дефицит, диффузионно-тензорная МРТ, кортикоспинальный путь, фракционная анизотропия.

CORRELATION BETWEEN DIFFUSION TENSOR MRI METRICS AND CLINICAL ASSESSMENT OF MOTOR DEFICIT IN PATIENTS WITH ISCHEMIC STROKE

Gizatullin R.R., Baykov D.E., Akhmadeeva L.R., Baykova G.V.

*Bashkir State Medical University, 3, Lenina St., 45008, Ufa, Russia**Abstract*

Objective. To analyze the potential efficacy of diffusion tensor MRI by comparing fractional anisotropy and diffusion coefficient index values in corticospinal tracts of patients who have suffered a cerebral stroke, with the aim of predicting motor deficit regression and guiding further treatment strategies.

Methods. An analysis was conducted on two groups of patients. The first group consisted of patients with crskttnc ischemic stroke, exhibiting motor deficits. The second group included patients without motor deficits and no history of cerebrovascular accidents. Clinical methods for assessing motor deficits were applied to both groups. The obtained results were compared with diffusion tensor MRI data during the construction of corticospinal tract models to identify patterns indicating the degree of central nervous system suppression and potential for motor deficit regression.

Results. A consistent relationship was found between the indices of fractional anisotropy in the corticospinal tracts, functional independence scales, and scales reflecting motor deficits. Further Spearman analysis revealed a strong correlation between these parameters, with r_s greater than 0.80, demonstrating a link between the state of the corticospinal tract and motor deficit in ischemic stroke survivors.

Conclusion. Diffusion tensor MRI with the construction of corticospinal tract models and determination of fractional anisotropy values could become a useful tool for assessing the condition of brain conduction pathways in patients who have suffered a cerebral stroke.

Keywords: stroke, motor deficit, diffusion tensor MRI, corticospinal tract, fractional anisotropy.

Введение

Лучевая диагностика ишемического инсульта в острейшем периоде повсеместно является прерогативой компьютерной томографии (КТ) [5]. Проведение КТ представляется здесь наиболее быстрым, доступным и безопасным методом. Однако метод не лишен недостатков, в частности, таких как высокая лучевая нагрузка и невозможность своевременного выявления формирующегося очага поражения в первые часы заболевания на безконтрастной КТ. В случае выполнения церебральной КТ-ангиографии и перфузионной КТ существенным ограничением может явиться индивидуальная непереносимость пациентами рентгеноконтрастного препарата и нарушения клубочковой фильтрации в почках [4, 6, 7]. Так же существенным ограничением является относительно небольшая по протяженности зона сканирования при перфузионной КТ, ограниченная толщиной линейки детекторов на рентгеновской трубке томографа.

Проведение магнитно-резонансной томографии у пациентов с острым нарушением мозгового кровообращения (ОНМК) пока не носит распространённый характер, прежде всего в силу длительности проведения самого исследования [9] и может считаться приоритетным методом нейровизуализации у пациентов, перенесших ишемический инсульт, преимущественно в раннем восстановительном периоде [13]. Вместе с тем, если применять сокращенный протокол, включающий в себя диффузионно-взвешенную и диффузионно-тензорную магнитно-резонансную томографию (МРТ), то время сканирования можно сократить до 7-10 минут, что вполне приемлемо для этой категории пациентов [11, 16]. Полученная при этом информация позволяет оценить размеры формирующегося очага ишемического поражения и уточнить состояние проводящих путей головного мозга – прежде всего кортикоспинальных трактов (здесь зона покрытия сканирования определяется размерами квадратической катушки и захватывает весь головной мозг).

В связи с этим, с целью уточнения возможностей диффузионно-тензорной МРТ в оценке состояния проводящих путей головного мозга и корреляции выявленных изменений со степенью выраженности двигательного дефицита у пациентов с ишемическим инсультом в его раннем восстановительном периоде, нами проведен ретроспективный анализ полученных результатов исследований за период с января по декабрь 2022 г.

Методика

Всего были проанализированы данные по 65 субъектам исследования, включая данные 42 пациентов, перенесших острый церебральный ишемический инсульт. Критериями включения для экспериментальной группы были: наличие острого ишемического инсульта в анамнезе, и наличие двигательного дефицита по шкалам функциональной независимости, добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Критериями исключения для экспериментальной группы были: отказ пациента от участия в исследовании. Критерием включения для контрольной группы явилось отсутствие острого нарушения мозгового кровообращения в анамнезе при отсутствии парезов. Критерием исключения для контрольной группы был отказ пациента от участия в исследовании. Контрольная группа набрана из числа здоровых добровольцев, которые проходили плановое МРТ обследование головного мозга в университетской клинике. Всего в исследование включено 24 женщины и 18 мужчин,

распределение по возрасту у контрольной группы составило Q1 – 51 год, Q3 – 67 лет и медиана 59 лет. Для экспериментальной группы Q1 – 64 года, Q3 – 74 года и медиана составила 68 лет.

Пациентам проведен клинический неврологический осмотр с количественной оценкой двигательного дефицита с применением шкал, рекомендуемых для использования после церебрального инсульта для оценки функционального состояния: NIHSS, FIM, Ривермид, Хаузера, Френчай. Данные оценочные шкалы были выбраны, потому что они входят в клинические рекомендации по ведению пациентов с острым нарушением мозгового кровообращения (ОНМК) и отражают двигательный дефицит после перенесенного ОНМК в баллах [2].

Всем пациентам проведено МРТ головного мозга с построением кортикоспинального тракта (КСТ) в поздний восстановительный период ишемического инсульта. Все пациенты были обследованы на магнитно-резонансном томографе OPTIMA 360 (GE) с напряженностью магнитного поля 1,5 Т. Использовалась шестнадцатиканальная поверхностная квадратическая катушка для головного мозга. В качестве режимов исследования были выбраны: Диффузионно-взвешенные изображения (DWI) с коэффициентами диффузии b0 и b1000 с/мм².

Толщина выделяемого среза при DWI составила 5 мм, промежуток между срезами – 0, поле обзора – 34×24 см, время повторения (TR) 4994 мс, время эхо (TE) 129 мс. Общее время сканирования включая такие режимы сканирования как: DWI, DTI, T1, T2, FLAIR не превышало 20 мин. Плоскость аксиального сканирования была ориентирована перпендикулярно линии, соединяющей переднюю и заднюю спайки мозга. Сагиттальная и коронарная плоскости сканирования выставлялись перпендикулярно по отношению к аксиальной плоскости сканирования.

Диффузионно-тензорную визуализацию (ДТВ) выполняли отдельно, как дополнение к классической диффузионной МРТ в 25 направлениях с первичным получением цветовой карты фракционной анизотропии и последующим объемным моделированием кортикоспинальных путей. Реконструкцию полученных изображений осуществляли с помощью пакета рабочих программ Volume Viewer 7, анализ DTI проводили на рабочей станции AW Volume Share 7 через программное обеспечение READY View. На полученных изображениях оценивали значения фракционной анизотропии (FA, а также скорость диффузии (AvDC).

Результаты исследования

Все данные проверены на нормальность распределения с помощью теста Шапиро-Уилка. Полученные количественные данные по клиническим шкалам и показатели фракционной анизотропии имели p-value меньше 0,05, что свидетельствует о значительном отклонении от нормального распределения для этих переменных. Была сделана тепловая матрица корреляций для экспериментальной группы, где показатели клинических оценочных шкал нашей выборки пациентов, перенесших ишемический инсульт, сравнивали с данными их фракционной анизотропии кортикоспинального пути. Получена корреляционная связь между показателями отношения фракционной анизотропии ипсилатерального КСТ к контралатеральному КСТ и клиническими методами количественной оценки двигательного дефицита, такими как показатели по NIHSS, Френчай, Хаузера, Ривермид, FIM.

Следующим этапом было сравнение показателей фракционной анизотропии (FA), а также дельты фракционной анизотропии и отношения FA ипсилатерального полушария к контралатеральному полушарию между двумя группами: контрольной и группы пациентов с перенесенным ОНМК (рис. 1).

Для наглядного отображения разницы между показателями фракционной анизотропии, нами был рассмотрен вариант посчитать разницу в показателях между «здоровым полушарием» и полушарием, где произошел ишемический инсульт, то есть была вычислена дельта. Далее, изучив литературу, мы пришли к выводу, что большинство авторов использует отношение между показателями фракционной анизотропии, например, в работах [3, 10], используется методика оценки отношения между показателями ипсилатерального КСТ и контралатерального инсульта КСТ. Данная методика применяется потому, что на данный момент не существует золотого стандарта проведения исследования и не существует референтных показателей ДТВ для здоровых людей.

Для основной группы показатели фракционной анизотропии анализировались, как на стороне поражения, так и на противоположной стороне. Для контрольной группы эти показатели учитывались со стороны правого и левого полушарий. В результате было установлено, что фракционная анизотропия в КСТ значительно снижена на стороне перенесенного ОНМК относительно контралатерального полушария, а в контрольной группы разница между правым и левым полушарием была минимальная. Наглядно эти данные отражены в табл. 1.

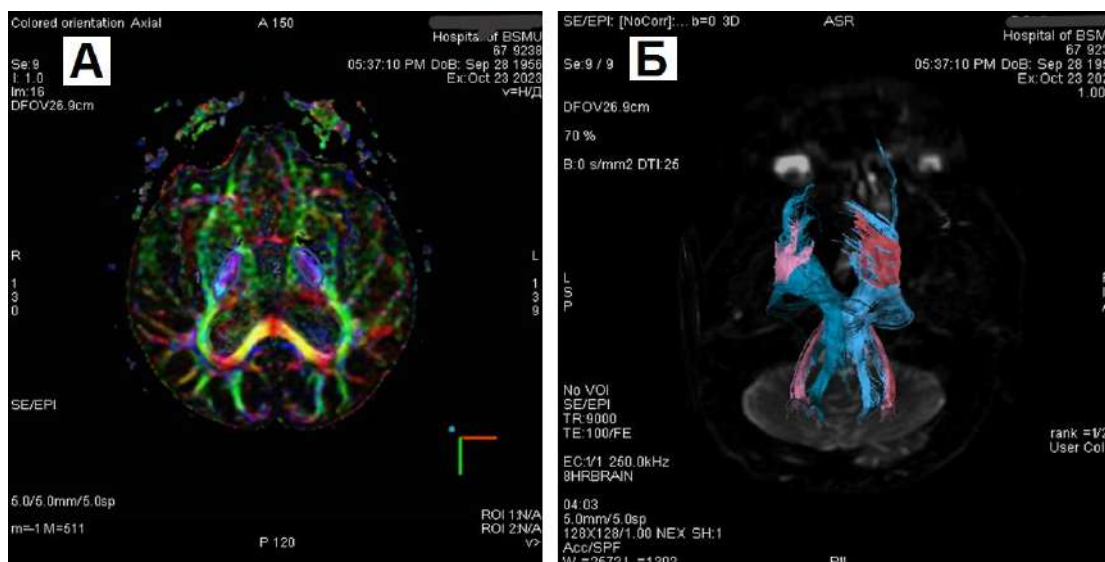


Рис. 1. А – цветная карта фракционной анизотропии. Аксиальное изображение на уровне подкорковых ядер. Б – простроенная трехмерная модель кортикоспинальных путей пациента (выделены синим цветом.), перенёсшего ОНМК в левом полушарии головного мозга

Таблица 1. Характеристика показателей фракционной анизотропии в КСТ у пациентов контрольной и экспериментальной группы

Показатели	Группа после инсульта (n=42) Me [Q1-Q3]	Контроль (n=23) Me [Q1-Q3]	P
Фракционная анизотропия справа (для группы с инсультом – контралатерально поражению)	0,547 [0,529-0,562]	0,554 [0,536-0,564]	<0,001
Фракционная анизотропия слева (для группы с инсультом – ипсилатерально поражению)	0,540 [0,522-0,550]	0,556 [0,540-0,562]	0,004
Дельта	0,023 [0,018-0,032]	0,003 [0,002-0,004]	0,001
Отношение слева/справа (для группы с инсультом контралатерально поражению/ипсилатерально)	0,886 [0,868-0,893]	0,995 [0,992-1,000]	0,002

В проведенном исследовании был использован непараметрический тест Манна-Уитни для сравнения показателя фракционной анизотропии между экспериментальной и контрольной группами. Результаты теста показали статистически значимые различия в медианах между группами ($U=8,0$, $p<0,0001$), указывая на значимую асимметрию диффузии в мозге участников, перенесших церебральный инсульт. Эти находки подтверждают гипотезу о различии структурной целостности мозга между исследуемыми группами, что может иметь клиническое значение в контексте исследуемых заболеваний. Для дальнейшего анализа и оценки силы связи показателей ФА с данными клинической оценки двигательного дефицита был применен коэффициент корреляции Спирмена, результаты представлены в табл. 2.

Коэффициент корреляции Спирмена (r_s) интерпретируется следующим образом: значение r_s выше 0,80 указывает на очень сильную корреляционную связь. Данная таблица демонстрирует сильные корреляционные связи между показателем «FA left/right» (отношение фракционной анизотропии ипсилатерального полушария к контралатеральному полушарию у пациентов с инсультом, либо отношение фракционной анизотропии левого полушария к правому в контрольной группе) и рядом клинических показателей. К ним относятся результаты, полученные по оценочным шкалам инсульта, таким как Шкала Национального института здравоохранения (NIHSS), Шкала Френчай, Шкала Ривермид и Шкала функциональной независимости (FIM). Эти корреляционные связи указывают на значимую связь между показателями трактографии и неврологического статуса пациентов, особенно в контексте двигательных нарушений.

Таблица 2. Таблица сила связи по Спирмену

Показатель	NIHSS	p	Френчай	p	Хаузера	p	Ривермид	p	FIM	p
FA left/right (отношение FA с ипсилатеральной стороны к контралатеральной очагу поражения)	-0,856	0,001	0,862	0,003	-0,873	<0,001	0,817	0,004	0,860	0,002
AVDC left/right (отношение средней скорости диффузии с ипсилатеральной стороны к контралатеральной очагу поражения)	-0,525	0,011	0,523	0,012	-0,508	0,005	0,554	0,003	0,539	0,004

Обсуждение результатов исследования

Анализируя показатели диффузии были выявлены значимые различия в показателях фракционной анизотропии (FA) между пациентами с инсультом и контрольной группой, подтвержденные тестом Манна-Уитни ($U=8,0$, $p<0,0001$). Пациенты с инсультом продемонстрировали значительную асимметрию в значениях FA между ипсилатеральным и контралатеральным по отношению к очагу поражения кортикоспинальными трактами. Эти данные согласуются с ранее опубликованными результатами, где изменения FA и отношение средней скорости диффузии также связывались со структурными повреждениями белого вещества после инсульта.

Корреляционный анализ по Спирмену показал сильные связи между показателем отношения FA ипсилатерального КСТ к контралатеральному КСТ (FA left/right) и показателями клинической оценки двигательного дефицита, такими как данные NIHSS ($r_s = -0,856$), Френчай ($r_s = 0,862$), Хаузера ($r_s = -0,873$) и Ривермид ($r_s = 0,817$). Это указывает на значительную ассоциацию между степенью структурных изменений в кортикоспинальном тракте и степенью двигательного дефицита у пациентов с инсультом.

Наши результаты согласуются с ранее опубликованными данными исследований [17], где среднее значение FA у пациентов с инсультом составляло $0,42\pm 0,11$, что коррелировало с тяжестью двигательных нарушений [15]. Также было выявлено значительное снижение FA у пациентов с инсультом, со средними значениями FA в пределах 0,38-0,46, что отражает степень повреждения белого вещества. Дополнительные исследования, проведенные рядом авторов, подтверждают важность FA в прогнозировании исходов инсульта. В частности, в 2023 г. [14] показано, что асимметрия $FA\geq 0,15$ является предиктором ограниченного восстановления верхних конечностей после инсульта [12]. Были опубликованы данные о снижении FA в среднем на 20% в пораженных областях мозга у пациентов с геморрагическим инсультом. Также продемонстрировано [1, 8], что ранние изменения FA могут предсказывать моторные исходы у пациентов с острым ишемическим инсультом.

Заключение

Применение оценочных шкал совместно с анализом результатов диффузионно-тензорной МРТ у пациентов, перенесших ишемический инсульт, позволяет точнее оценить объём поражения кортикоспинальных трактов и степень утраты двигательной функции, а также скорректировать дальнейшую тактику проводимых лечебно-реабилитационных мероприятий. При этом характеристика бальной оценки клинического состояния по существующим шкалам может быть дополнена объективными показателями инструментальной методики МР-трактографии, что расширяет возможность количественно объективно оценить степень поражения белого вещества головного мозга и протекающих в нем процессов демиелинизации.

Таким образом, полученные данные могут иметь важное клиническое значение, позволяя использовать показатели FA для оценки степени морфо-функционального повреждения кортикоспинального тракта и в дальнейшем прогнозировать регресс двигательного дефицита. Включение данных трактографии в клиническую практику может помочь в уточнении индивидуализированных планов реабилитации для пациентов, перенесших церебральный инсульт.

Литература (references)

1. Гизатуллин Р.Р., Ахмадеева Л.Р., Байков Д.Э., Хафизов М.М., Ахмадеева Э.Н. Диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография для прогнозирования исходов после церебрального инсульта. Современные проблемы науки и образования. – 2022. – №6-1. – С. 144. [Gizatullin R.R., Akhmadeeva L.R., Baykov D.E., Hafizov M.M., Akhmadeeva E.N. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. Modern problems of science and education. – 2022. – №6-1. – P. 144. (in Russian).]
2. Ишемический инсульт и транзиторная ишемическая атака у взрослых клинические рекомендации id 171 от 01.09.2021. [Ishemicheskij insul't i tranzitornaja ishemicheskaja ataka u vzroslyh klinicheskie reko-mendacii id 171 ot 01.09.2021. (in Russian)]
3. Кулеш А.А., Дробаха В.Е., Некрасова И.В., Куклина Е.М., Шестакова В.В. Нейровоспалительные, нейродегенеративные и структурные церебральные маркеры основных клинических вариантов постинсультных когнитивных нарушений в остром периоде ишемического инсульта // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2016. – Т.71., №4. – P. 304-312. [Kulesh A.A., Drobakha V.E., Nekrasova I.V., Kuklina E.M., Shestakova V.V. *Vestnik Rossijskoj akademii medicinskih nauk*. Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences. – 2016. – V.71., N4. – P. 304-312. (in Russian)]
4. Пирадов М.А., Танащян М.М., Кротенкова М.В. и др. Передовые технологии нейровизуализации // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. – 2015. – Т.9., №4. – С. 11-18. [Piradov M.A., Tanashyan M.M., Krotenkova M.V. i dr. *Annaly klinicheskoy i jeksperimental'noj nevrologii*. Annals of Clinical and Experimental Neurology. – 2015. – V.9., N4. – P. 11-18. (in Russian)]
5. Семенов С.Е., Портнов Ю.М., Хромов А.А. и др. Исследование перфузии при нарушениях церебрального кровообращения. Часть II (частная КТ-и мр-семиотика, паттерны патологических изменений). Обзор // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. – 2017. – Т.6., №1. – С. 102-111. [Semenov S.E., Portnov Y.M., Khromov A.A. i dr. *Kompleksnyye problemy serdechno-sosudistyh zabolevanij*. Complex problems of cardiovascular diseases. – 2017. – V.6., N1. – P. 102-111. (in Russian)]
6. Семенов С.Е., Юркевич Е.А., Молдовская И.В., Шатохина М.Г., Семенов А.С. Диагностика венозного ишемического инсульта. Часть II (алгоритмы и семиотика лучевой диагностики. Ограничения использования в клинической практике). Обзор // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. – 2019. – Т.8., №3. – С. 104-115. [Semenov S.E., Yurkevich E.A., Moldovskaya I.V., Shatokhina M.G., Semenov A.S. // *Kompleksnyye problemy serdechno-sosudistyh zabolevanij*. Complex problems of cardiovascular diseases. – 2019. – V.8., N3. – P. 104-115. (in Russian)]
7. Федин А.И., Недоросткова Т.Ю., Елисеев Е.В. Динамика состояния и летальность больных с мозговым инсультом в условиях профильной неврологической реанимации // Московская медицина. – 2017. – №S2. – С. 104-104. [Fedin A.I., Nedorostkova T.Ju., Eliseev E.V. *Moskovskaja medicina*. Moscow medicine. – 2017. – NS2. – P. 104-104. (in Russian)]
8. Alegiani A.C. et al. Comprehensive analysis of early fractional anisotropy changes in acute ischemic stroke // PLoS One. – 2017. – V.12. – N11. – P. e0188318.
9. Baird A. E., Warach S. Magnetic resonance imaging of acute stroke // Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism. – 1998. – V.18., N6. – P. 583-609.
10. Choi S.H. et al. Track-density ratio mapping with fiber types in the cerebral cortex using diffusion-weighted MRI // Frontiers in Neuroanatomy. – 2021. – V.15. – P. 715571.

11. Demeestere J. et al. Review of perfusion imaging in acute ischemic stroke: from time to tissue // *Stroke*. – 2020. – Т. 51. – N3. – P. 1017-1024.
12. Ji P., Chen D., Wei L. Diffusion tensor imaging combined with nerve fiber bundle tracing in acute cerebral infarction // *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. – 2023. – V.16. – N1. – P. 100504.
13. MacIntosh B.J., Graham S.J. Magnetic resonance imaging to visualize stroke and characterize stroke recovery: a review // *Frontiers in neurology*. – 2013. – V.4. – P. 60.
14. Qin Y. et al. DTI-ALPS: An MR biomarker for motor dysfunction in patients with subacute ischemic stroke // *Frontiers in Neuroscience*. – 2023. – V.17. – P. 1132393.
15. Seo J.P., Yun S.H. Injury of the Corticofugal Tract from the Secondary Motor Area in Middle Cerebral Territory Infarction: A DTI Study // *medRxiv*. – 2023. – P. 2023.03. 02.23286661.
16. Yuen M.M. et al. Portable, low-field magnetic resonance imaging enables highly accessible and dynamic bedside evaluation of ischemic stroke // *Science advances*. – 2022. – V.8. – N16. – P. eabm3952.
17. Zhang H. et al. Exploring the Structural Plasticity Mechanism of Corticospinal Tract during Stroke Rehabilitation Based Automated Fiber Quantification Tractography // *Neurorehabilitation and Neural Repair*. – 2024. – P. 15459683241249115.

Информация об авторах

Гизатуллин Ринат Раисович – ассистент кафедры неврологии, аспирант кафедры неврологии, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. E-mail: gizatullinrt@neourofa.ru

Байков Денис Энверович – доктор медицинских наук, профессор кафедры общей хирургии, трансплантологии и лучевой диагностики, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. E-mail: d-baikov@mail.ru

Ахмадеева Лейла Ринатовна – доктор медицинских наук, магистр клинической психологии, профессор кафедры неврологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. E-mail: leila_ufa@mail.ru

Байкова Галина Владимировна – доцент кафедры педиатрии, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. E-mail: d-baikov@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 23.10.2024

Принята к печати 12.12.2024