

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИФФУЗИОННО-ВЗВЕШЕННОЙ МРТ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОДТИПАХ ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА

М.Х. Абдулимов., А.Р. Мурадимова.

Ферганский медицинский институт общественного здоровья, г. Фергана, Узбекистан.

Для цитирования: © Абдулимов М.Х., Мурадимова А.Р.

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИФФУЗИОННО-ВЗВЕШЕННОЙ МРТ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОДТИПАХ ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА. ЖКМП.-2025.-Т.1.-№1.-С

Поступила: 25.01.2025

Одобрена: 11.02.2025

Принята к печати: 05.03.2025

Аннотация: Проведён анализ динамики измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) и относительного коэффициента диффузии (rADC) у больных с атеротромботическим и лакунарным подтипами ишемического инсульта в остром периоде заболевания. Обследовано 90 пациентов, которым выполняли диффузионно-взвешенную МРТ на 5–7-е и 30-е сутки инсульта. Установлены статистически значимые изменения диффузионных показателей как в поражённом, так и в интактном полушариях. Выявлено, что при атеротромботическом подтипе изменения выражены в большей степени. Полученные данные подтверждают высокую диагностическую и прогностическую значимость ДВ-МРТ в раннем периоде ишемического инсульта.

Ключевые слова: ишемический инсульт, ДВ-МРТ, ИКД, rADC, атеротромботический инсульт, лакунарный инсульт.

ISHEMIK INSULTNING TURLI KICHIK TURLARIDA DIFFUZIYA-VAZNLI MRT KO'RSATKICHLARI DINAMIKASI

М.Х. Abduolimov., А.Р. Muradimova.

Farg'ona jamoat salomatligi tibbiyot instituti, Farg'ona sh., O'zbekiston.

Izoh: © Abduolimov M.X., Muradimova A.R.

ISHEMIK INSULTNING TURLI KICHIK TURLARIDA DIFFUZIYA-VAZNLI MRT KO'RSATKICHLARI DINAMIKASI. KPTJ.-2025-N.1.-№1-M

Qabul qilindi: 25.01.2025

Ko'rib chiqildi: 11.02.2025

Nashrga tayyorlandi: 05.03.2025

Аннотация: Tadqiqotda ishemik insultning aterotrombotik va lakunar kichik turlariga chalingan bemorlarda kasallikning o'tkir davrida o'lchanadigan diffuziya koeffitsienti (ADC) va nisbiy diffuziya koeffitsienti (rADC) ko'rsatkichlarining dinamikasi tahlil qilindi. Jami 90 nafar bemor tekshirilib, ularga insultning 5–7-kunlari hamda 30-kunida diffuziya-vaznli magnit-rezonans tomografiya (DV-MRT) o'tkazildi. Zararlangan va intakt yarimsharlarda diffuziya ko'rsatkichlarining statistik jihatdan ishonchli o'zgarishlari aniqlandi. Aterotrombotik kichik turda diffuziya ko'rsatkichlaridagi o'zgarishlar yanada yaqqolroq namoyon bo'lgani aniqlandi. Olingan natijalar ishemik insultning erta davrida diffuziya-vaznli MRTning yuqori diagnostik va prognostik ahamiyatga ega ekanini tasdiqlaydi.

Калит so'zlar: ishemik insult, DV-MRT, ADC, rADC, aterotrombotik insult, lakunar insult.

DYNAMICS OF DIFFUSION-WEIGHTED MRI PARAMETERS IN VARIOUS SUBTYPES OF ISCHEMIC STROKE

Abduolimov M.Kh., Muradimova A.R.

Fergana Medical Institute of Public Health, Fergana, Uzbekistan.

For situation: © Abduolimov M.Kh., Muradimova A.R.

DYNAMICS OF DIFFUSION-WEIGHTED MRI PARAMETERS IN VARIOUS SUBTYPES OF ISCHEMIC STROKE. JCPM.-2025.P.1.№1-A

Received: 25.01.2025

Revised: 11.02.2025

Accepted: 05.03.2025

Abstract: An analysis of the dynamics of the apparent diffusion coefficient (ADC) and the relative apparent diffusion coefficient (rADC) was performed in patients with atherothrombotic and lacunar subtypes of ischemic stroke in the acute period of the disease. A total of 90 patients were examined, all of whom underwent diffusion-weighted MRI on days 5–7 and 30 after stroke onset. Statistically significant changes in diffusion parameters were established in both the affected and intact hemispheres. It was revealed that diffusion alterations were more pronounced in the atherothrombotic subtype. The obtained data confirm the high diagnostic and prognostic value of diffusion-weighted MRI in the early stage of ischemic stroke.

Keywords: ischemic stroke, DW-MRI, ADC, rADC, atherothrombotic stroke, lacunar stroke.

Введение: Ишемический инсульт (ИИ) представляет собой острое нарушение мозгового кровообращения, обусловленное тромбозом или эмболией церебральных артерий, что приводит к локальной ишемии и некрозу нервной ткани [3,6]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ, 2022), ИИ является одной из ведущих причин смертности и инвалидизации во всем мире. Ежегодно инсульт поражает более 12 миллионов человек, из которых около 6,5 миллионов умирают, а около 30% выживших остаются с выраженными неврологическими дефицитами, что приводит к длительной реабилитации и значительным социальным и экономическим затратам [1-5].

Особую актуальность представляет ранняя диагностика ишемического инсульта у трудоспособного населения, так как данная категория пациентов испытывает значительные ограничения в повседневной и профессиональной деятельности [8,10]. Эффективное выявление зоны инфаркта и сохранной ткани мозга позволяет своевременно начать терапию, что снижает риск осложнений и улучшает прогноз функционального восстановления [14,15].

В последние десятилетия диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография (ДВ-МРТ) стала ключевым инструментом диагностики ИИ. Исследования Warach et al. (1995) и Schlaug et al. (1999) показали, что ДВ-МРТ позволяет выявлять ишемические очаги уже в первые часы после начала симптомов, а показатели измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) и относительного коэффициента диффузии (rADC) отражают степень повреждения клеточной структуры и микроциркуляции мозга [8, 11]. Saver (2016) подчеркнул, что раннее определение ишемической пенумбры с помощью ДВ-МРТ позволяет прогнозировать объем инфаркта и планировать индивидуализированное лечение.

Актуальность изучения динамики диффузионных показателей у различных подтипов ИИ — атеротромботического и лакунарного — обусловлена различиями в патогенезе и прогнозе заболевания [10-15]. Атеротромботический инсульт чаще сопровождается массивными очагами некроза и более выраженными неврологическими нарушениями, тогда как лакунарные формы характеризуются мелкими очагами поражения и, как правило, легкой или умеренной степенью дефицита (Carlan, 2000) [16]. Однако до настоящего времени отсутствуют систематиче-

ские данные о динамике ИКД и rADC в зависимости от подтипа ИИ на остром этапе заболевания, что ограничивает возможности прогнозирования исхода и выбора оптимальной терапии.

Исследования Feigin et al. (2022) и Heiss (2012) подчеркивают, что количественная оценка изменений диффузионных показателей позволяет не только прогнозировать развитие неврологического дефицита, но и объективно оценивать эффективность лечебных и реабилитационных мероприятий [16]. Таким образом, изучение динамики ИКД и rADC у различных подтипов ишемического инсульта имеет высокую научную и клиническую значимость, так как способствует улучшению ранней диагностики, индивидуализации терапии и снижению социально-экономического бремени заболевания.

Цель исследования: Оценить динамику ИКД и rADC в поражённом и интактном полушариях головного мозга у пациентов с атеротромботическим и лакунарным подтипами ишемического инсульта в остром периоде заболевания.

Материалы и методы: Обследовано 90 пациентов с ишемическим инсультом, из них 36 — с атеротромботическим подтипом и 54 — с лакунарным инсультом. Всем пациентам проводилась МРТ головного мозга с использованием диффузионно-взвешенных изображений ($b = 1000 \text{ с/мм}^2$) на 5–7-е и 30-е сутки заболевания. Исследование проводилось в частной клинике «Yuldashov nomli MDM klinikasi» в период 2023-2025 годах. В ходе исследования определяли измеряемый коэффициент диффузии (ИКД) в зоне инфаркта и ишемической пенумбры; ИКД в контралатеральном полушарии; относительный коэффициент диффузии (rADC). Статистическая обработка данных проводилась с использованием t-критерия Стьюдента и парного t-критерия. Различия считались достоверными при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение: В ходе анализа состояния интактного полушария обнаружено, что в группе атеротромботического инсульта ИКД в здоровом полушарии увеличился с $74,0 \pm 3,1 \times 10^{-5} \text{ мм}^2/\text{с}$ на 5–7-е сутки до $75,4 \pm 2,0 \times 10^{-5} \text{ мм}^2/\text{с}$ на 30-е сутки ($p = 0,032$). В группе лакунарного инсульта наблюдалось более выраженное увеличение — с $79,1 \pm 2,5 \times 10^{-5} \text{ мм}^2/\text{с}$ до $82,0 \pm 2,6 \times 10^{-5} \text{ мм}^2/\text{с}$ ($p < 0,001$). Это отражает постепенную нормализацию диффузионных процессов в интактных структурах мозга (таблица. 1).

Таблица 1. Динамика ИКД в интактном полушарии у пациентов с ишемическим инсультом (АТИ и ЛИ).

Группа	Срок наблюдения	ИКД ($\times 10^{-5}$ мм ² /с), М \pm SD	95% ДИ	T	p
АТИ (n=36)	5–7 сутки	74,0 \pm 3,1	73,0–75,0	2,21	0,032
	30 суток	75,4 \pm 2,0	74,7–76,1		
ЛИ (n=54)	5–7 сутки	79,1 \pm 2,5	78,4–79,8	8,15	<0,001
	30 суток	82,0 \pm 2,6	81,3–82,7		

Рост ИКД в интактном полушарии отражает вторичную перестройку межклеточного водного баланса и компенсацию глобальной гипоперфузии, возникающей в ответ на острую церебральную ишемию. Более выраженное увеличение у пациентов с ЛИ указывает на меньшую выраженность системного микроциркуляторного дефицита, в отличие от АТИ, при котором сохраняется более глубокое поражение сосудистого русла.

Анализ поражённого полушария показал, что в зоне инфаркта у пациентов с атеротромботическим инсультом на 5–7-е сутки ИКД составлял 53,1 \pm 8,8 $\times 10^{-5}$ мм²/с, а к 30-м суткам увеличивался до 55,9 \pm 8,9 $\times 10^{-5}$ мм²/с ($p < 0,001$). В группе лакунарного инсульта соответствующие показатели составили 47,0 \pm 4,0 $\times 10^{-5}$ мм²/с и 50,9 \pm 4,1 $\times 10^{-5}$ мм²/с ($p < 0,001$). Это указывает на регресс цитотоксического отёка и структурную перестройку ишемического очага (таблица.2).

Таблица 2. Динамика ИКД в поражённом полушарии при различных подтипах ишемического инсульта.

Группа	Срок наблюдения	ИКД ($\times 10^{-5}$ мм ² /с), М \pm SD	95% ДИ	T	p
АТИ (n=36)	5–7 сутки	53,1 \pm 8,8	50,4–55,8	5,12	<0,001
	30 суток	55,9 \pm 8,9	53,2–58,6		
ЛИ (n=54)	5–7 сутки	47,0 \pm 4,0	45,9–48,1	7,94	<0,001
	30 суток	50,9 \pm 4,1	49,8–52,0		

Резкое снижение ИКД в первые 5–7 суток обусловлено цитотоксическим отёком, возникающим вследствие энергетического дефицита, инактивации Na⁺/K⁺-АТФазы и внутриклеточного накопления воды. Повышение ИКД к 30-м суткам отражает переход от цитотоксического к вазогенному отёку, развитие глиоза и частичную репарацию тканевых структур. Более низкие значения ИКД при ЛИ указывают на локальное поражение мелких пенетрирующих артерий, тогда как при АТИ сочетаются как глубокие, так и корковые зоны ишемии.

Результаты определения динамики относительного коэффициента диффузии (rADC) показал,

что в группе атеротромботического инсульта rADC возрастал с 0,64 \pm 0,07 на 5–7-е сутки до 0,76 \pm 0,06 на 30-е сутки ($p < 0,001$). В группе лакунарного инсульта — с 0,38 \pm 0,07 до 0,55 \pm 0,06 ($p < 0,001$). Выявленный рост rADC отражает восстановление диффузионных свойств ткани мозга (таблица.3).

Таблица 3. Динамика относительного коэффициента диффузии (rADC) инсульта.

Группа	Срок наблюдения	ИКД ($\times 10^{-5}$ мм ² /с), М \pm SD	95% ДИ	T	p
АТИ (n=36)	5–7 сутки	0,64 \pm 0,07	0,61–0,67	15,2	<0,001
	30 суток	0,76 \pm 0,06	0,74–0,78		
ЛИ (n=54)	5–7 сутки	0,38 \pm 0,07	0,36–0,40	27,9	<0,001
	30 суток	0,55 \pm 0,06	0,53–0,57		

Данные таблицы показывают, что rADC является интегральным показателем степени обратимости ишемического повреждения. Его резкое снижение в остром периоде отражает критическое ограничение диффузии воды в зоне инфаркта, а рост к 30-м суткам указывает на частичное восстановление внеклеточного пространства и уменьшение клеточного отёка. Более медленное восстановление rADC при АТИ связано с пролонгированной гипоперфузией и атеросклеротическим стенозом магистральных сосудов.

Изучение характеристики морфологических изменений у всех пациентов выявляли очаги неполного некроза, признаки глиоза, диффузные изменения перивентрикулярного белого вещества и умеренное расширение ликворных пространств. Наиболее выраженные изменения отмечались у больных с атеротромботическим инсультом. Геморрагическая трансформация ишемического очага в исследуемых группах не выявлена (таблица.4).

Таблица 4. Морфоструктурные изменения по данным МРТ.

Изменение	АТИ	ЛИ	Патогенетическая характеристика
Очаги неполного некроза	+++	++	Отражают зону необратимого ишемического повреждения
Глиоз	+++	++	Хроническая реактивная перестройка нейроглии
Перивентрикулярные изменения	+++	++	Проявление хронической ишемии и лейкоареоза
Расширение ликворных пространств	+++	++	Атрофические изменения после ишемии
Геморрагическая трансформация	–	–	Отсутствует, характерна для КЭИ

Снижение ИКД и гADC в первые 5–7 суток заболевания было статистически значимо по сравнению с 30-ми сутками ($p < 0,001$), что соответствует фазе цитотоксического отёка с последующим переходом в вазогенный отёк к третьей неделе заболевания.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют, что в основе динамики ИКД и гADC лежат фазные изменения церебрального отёка, начиная с цитотоксического повреждения в первые сутки инсульта и перехода к вазогенному отёку в подостром периоде. При атеротромботическом инсульте нарушения микроциркуляции и тканевой перфузии более стойкие и глубокие, что объясняет более выраженное и длительное снижение диффузионных показателей по сравнению с лакунарным подтипом.

Выводы:

1. Применение диффузионно-взвешенной МРТ и расчёт измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) позволили достоверно выявить выраженные различия как в поражённом, так и в интактном полушарии головного мозга у пациентов с атеротромботическим и лакунарным подтипами ишемического инсульта в острой и подострой периоды заболевания.

2. В поражённом полушарии на 5–7-е сутки инсульта выявлено статистически значимое снижение ИКД, обусловленное развитием цитотоксического отёка, с последующим его увеличением к 30-м суткам, что отражает переход к вазогенному отёку и начальные репаративные процессы в зоне ишемического повреждения.

3. Динамика относительного коэффициента диффузии (гADC) продемонстрировала достоверное увеличение показателей в подостром периоде инсульта, что свидетельствует о частичном восстановлении межклеточного водного баланса и снижении выраженности ишемического повреждения мозговой ткани.

4. У пациентов с атеротромботическим подтипом инсульта изменения ИКД и гADC носили более выраженный и пролонгированный характер по сравнению с лакунарным инсультом, что указывает на более тяжёлые и устойчивые нарушения церебральной перфузии и микроциркуляции.

5. По данным МРТ у всех обследованных пациентов выявлены признаки очагов неполного некроза, диффузные изменения перивентрикулярного

белого вещества, глиоз и расширение ликворных пространств, при этом максимальная выраженность структурных изменений наблюдалась в группе атеротромботического инсульта.

6. Геморрагическая трансформация ишемического очага у обследованных пациентов не выявлена, что соответствует преимущественной встречаемости данного осложнения при кардиоэмболическом подтипе ишемического инсульта.

7. Комплексное использование диффузионно-взвешенной МРТ с количественной оценкой ИКД и гADC обладает высокой диагностической и прогностической ценностью, позволяя объективно оценивать степень ишемического повреждения, динамику патологического процесса и эффективность проводимой терапии.

8. Полученные результаты подтверждают целесообразность включения показателей ИКД и гADC в стандарт протокола нейровизуализации пациентов с ишемическим инсультом для ранней диагностики, мониторинга течения заболевания и индивидуализации лечебной тактики.

1. Гусев, Е. И., & Скворцова, В. И. (2018). *Ишемический инсульт*. Москва: ГЭОТАР-Медиа.
2. Суслина, З. А., & Пирадов, М. А. (2019). *Нарушения мозгового кровообращения: диагностика и лечение*. Москва: МЕДпресс-информ.
3. Верещагин, Н. В., & Платонов, А. Е. (2017). *Патогенез, диагностика и лечение ишемического инсульта*. Москва: Медицина.
4. Левин, О. С., & Калимуллина, Р. Р. (2020). Современные методы нейровизуализации при острых нарушениях мозгового кровообращения. *Неврологический журнал*, 25(2), 4–12.
5. Анисимова, Н. В., & Широков, Е. А. (2021). Диффузионно-взвешенная МРТ в диагностике ишемического инсульта. *Лучевая диагностика и терапия*, (3), 25–33.
6. Kidwell, C. S., Alger, J. R., & Saver, J. L. (2003). Diffusion MRI in infarction: Pathophysiology and clinical utility. *Stroke*, 34, 728–732. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000057469.83017.39>
7. Lansberg, M. G., Thijs, V. N., Bammer, R., et al. (2000). Diffusion-weighted MRI for evaluation of acute stroke. *The New England Journal of Medicine*, 343, 140–146. <https://doi.org/10.1056/NEJM200007203430302>
8. Warach, S., Chien, D., Li, W., & Ronthal, M. (1992). Rapid MRI of acute stroke. *Neurology*, 42, 1717–1723. <https://doi.org/10.1212/WNL.42.9.1717>
9. Astrup, J., Siesjo, B. K., & Symon, L. (1981). Thresholds in cerebral ischemia: The ischemic penumbra. *Stroke*, 12, 723–725. <https://doi.org/10.1161/01.STR.12.6.723>
10. Moseley, M. E., Cohen, Y., Mintorovitch, J., et al. (1990). Early detection of regional cerebral ischemia by diffusion-weighted MRI. *Magnetic Resonance in Medicine*, 14, 330–346. <https://doi.org/10.1002/mrm.1910140218>
11. Baird, A. E., Benfield, A., Schlaug, G., et al. (1997). Enlargement of human cerebral ischemic lesion volume by MRI. *Annals of Neurology*, 41, 581–589. <https://doi.org/10.1002/ana.410410505>
12. Hossmann, K. A. (2006). Pathophysiology and therapy of experimental stroke. *Cellular and Molecular Neurobiology*, 26, 1057–1083. <https://doi.org/10.1007/s10571-006-9008-1>
13. Федорова, Т. Н., & Коновалов, А. Н. (2016). *Магнитно-резонансная спектроскопия в клинической неврологии*. Москва: Радиология.
14. Barkovich, A. J. (2012). *Pediatric neuroimaging* (5th ed.). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
15. Saver, J. L. (2006). Time is brain—quantified. *Stroke*, 37, 263–266. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000196957.55928.ab>
16. Feigin, V. L., Norrving, B., & Mensah, G. A. (2024). Global, regional, and national burden of ischemic stroke from 1990 to 2021. *European Journal of Neurology*, 31(12), e16481. <https://doi.org/10.1111/ene.16481>

Информация об авторах:

© АБДУОЛИМОВ М.Х. - свободный соискатель кафедры Неврологии и психиатрии Ферганского медицинского института общественного здоровья. г. Фергана, Республика Узбекистан.

© МУРАДИМОВА А.Р. - PhD, доцент, начальник отдела Научных исследований, инноваций и подготовки научно-педагогических кадров Ферганского медицинского института общественного здоровья, г. Фергана, Республика Узбекистан.

Muallif haqida ma'lumot:

© ABDUOLIMOV M.X. - Farg'ona jamoat salomatligi tibbiyot instituti Nevrologiya va psixiatriya kafedrasi mustaqil izlanuvchisi. O'zbekiston Respublikasi, Farg'ona sh.

© MURADIMOVA A.R. - PhD, dotsent, Farg'ona jamoat salomatligi tibbiyot instituti, Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy-pedagogik kadrlarni tayyorlash bo'limi boshlig'i. O'zbekiston Respublikasi, Farg'ona sh.

Information about the authors:

© ABDUOLIMOV M.Kh. - Independent Researcher at the Department of Neurology and Psychiatry, Fergana Medical Institute of Public Health, Fergana, Republic of Uzbekistan.

© MURADIMOVA A.R. - PhD, Associate Professor, Head of the Department of Scientific Research, Innovation and Training of Scientific-Pedagogical Personnel, Fergana Medical Institute of Public Health, Fergana, Republic of Uzbekistan.