УДК: 616.831-006-073.756.8:611.813.1 DOI: 10.20969/VSKM.2026.19(5).30-40

Brain Parcellation как инструмент стандартизации предоперационной оценки масс-эффекта при глиальных опухолях: пилотное исследование на основе данных МРТ

Н.М. Джураева[1], А.И. Икрамов[2], Х.В. Абдухалимова[1], А.И. Баталов[3], А.В. Лебеденко[3]

[1]ГУ «Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова», 100115, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Кичик Халка Йули, 10
[2]Центр развития профессиональной квалификации медицинских работников, Узбекистан, 100000, Ташкент, ул. Паркентская, 51
[3]Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н. Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 125047, г. Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16

Реферат. Введение. Внутримозговые глиальные опухоли сопровождаются масс-эффектом, смещением срединных структур и изменением конфигурации желудочковой системы. Применение технологий автоматической Brain Parcellation по данным 3D T1-взвешенной магнитно-резонансной томографии позволяет количественно оценивать объёмы желудочков и цереброспинальной жидкости, однако вопросы влияния локализации и размеров опухоли на эти показатели в предоперационном периоде изучены недостаточно. **Цель исследования** – определить, как расположение и размеры внутримозговых опухолевых образований влияют на объёмы структур желудочковой системы головного мозга по данным предоперационной МРТ с использованием технологии Brain Parcellation. **Материалы и методы**. В исследование включены 64 пациента с гистологически подтверждёнными глиальными опухолями головного мозга. Всем пациентам выполнялась предоперационная МРТ с получением бесконтрастных 3D T1-взвешенных изображений (толщина среза 1 мм). Опухоли располагались в правом и левом полушариях, преимущественно в лобных, теменных и височных, реже в затылочных долях, в латеральных и медиальных отделах, с умеренным или выраженным перифокальным отёком; диаметр очагов варьировал от 2,0 до 5,6 см. С помощью технологии Brain Parcellation автоматически рассчитывали объёмы правого и левого боковых желудочков, III и IV желудочков, общий объём цереброспинальной жидкости и индекс асимметрии боковых желудочков. Проводили сопоставление объёмов и индекса асимметрии с латерализацией, долевой локализацией и размером опухоли. **Результаты**. По Brain Parcellation после операции значимо увеличились объёмы правого бокового (Me 5,11→6,29 мл; p=0,03), III (0,80→0,87 мл; p=0,03) и IV желудочков (1,80→2,00 мл; p<0,05) при отсутствии значимой динамики левого бокового (p=0,06), Asym IDX (p=0,27) и общего ЦСЖ (p=0,38). Для лобных опухолей средний диаметр 3,79±1,23 см (с отёком 4,77±1,43 см); связь размера очага с отёком сильная (r=0,85; p<0,001). Малые опухоли (≤3 см) не влияли на объёмы желудочков, тогда как крупные медиальные с выраженным отёком (>5 см) сопровождались снижением объёмов желудочков и ЦСЖ после операции (p<0,001); у мужчин изменения выраженнее. **Выводы.** Автоматическая Brain Parcellation по 3D T1-взвешенным изображениям обеспечивает объективную количественную оценку объёмов желудочков и цереброспинальной жидкости до/после операции. В когорте после вмешательства отмечено умеренное увеличение правого бокового, III и IV желудочков при стабильном общем объёме цереброспинальной жидкости и без значимых изменений индекса асимметрии. Количественные показатели целесообразно использовать как дополнение к визуальной МР-оценке для стандартизации заключения и стратификации риска масс-эффекта/дислокации.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, внутримозговые глиальные опухоли, Brain Parcellation, желудочковая система головного мозга, цереброспинальная жидкость, индекс асимметрии.
Для цитирования: Джураева Н.М., Икрамов А.И., Абдухалимова Х.В., [и др.]. Brain Parcellation как инструмент стандартизации предоперационной оценки масс-эффекта при глиальных опухолях: пилотное исследование на основе данных МРТ // Вестник современной клинической медицины. – 2026. – Т. 19, вып. 5. – С.30–40. DOI: 10.20969/VSKM.2026.19(5).30-40.

Brain Parcellation as a tool for standardization of preoperative assessment of mass effect in glial tumors: A pilot MRI-based study

Nigora M. Djuraeva[1], Adkham I. Ikramov , Khanum V. Abdukhalimova[1], Artem I. Batalov[3], Alisa V. Lebedenko[3]

[1] Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Surgery named after Academician V. Vakhidov, 10 Kichik Khalka Yuli Street, Chilanzar District, 100115 Tashkent, Uzbekistan
[2] Center for the Development of Professional Qualifications of Medical Professionals, 51 Parkentskaya str., 100000 Tashkent, Uzbekistan
[3] N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, 16 4th Tverskaya-Yamskaya str., 125047 Moscow, Russia

Abstract. Introduction. Intracerebral glial tumors are associated with mass effect, midline displacement, and changes in the ventricular system configuration. Use of the automated Brain Parcellation technology based on 3D T1-weighted magnetic resonance imaging data allows quantitatively assessing the ventricular and cerebrospinal fluid volumes. **Aim.**

To evaluate the influence of tumor localization and size on ventricular volumes, using preoperative magnetic resonance imaging data processed with the Brain Parcellation technology. **Materials and Methods.** The study included 64 patients with histologically confirmed glial tumors. All patients underwent preoperative MRI with unenhanced 3D T1-weighted images (slice thickness 1 mm). The tumors were located in the right and left hemispheres, predominantly in the frontal, parietal, and temporal lobes, and less frequently in the occipital lobes, lateral and medial regions, with moderate to severe perifocal edema. Tumor diameters ranged from 2.0 to 5.6 cm. Using epy Brain Parcellation technology, the volumes of the right and left lateral ventricles, the third and fourth ventricles, the total cerebrospinal fluid volume, and the lateral ventricular asymmetry index were automatically calculated. **Results and Discussion.** According to Brain Parcellation, the volumes of the right lateral (Me 5.11→6.29 ml; p=0.03), IIIth (0.80→0.87 ml; p=0.03) and IVth ventricles (1.80→2.00 ml; p<0.05) significantly increased after the surgery, with no significant changes in the left lateral (p=0.06), Asym IDX (p=0.27), or total CSF (p=0.38). For frontal tumors, the average diameter was 3.79±1.23 cm (with edema sized 4.77±1.43 cm); the relationship being strong between the lesion size and the edema (r=0.85; p<0.001). Small tumors (≤3 cm) did not affect ventricular volumes, whereas large medial tumors with significant edema (>5 cm) were associated with decreased ventricular and CSF volumes postoperatively (p<0.001); the changes were more pronounced in men. **Conclusions.** Automated Brain Parcellation based on three-dimensional T1-weighted magnetic resonance imaging enables an objective quantification of ventricular and cerebrospinal fluid volumes, revealing postoperative enlargement of the right lateral, third, and fourth ventricles without any changes in the total cerebrospinal fluid volume or asymmetry index, and should be used alongside visual magnetic resonance imaging assessment to standardize reporting and improve stratification of mass effect and dislocation risk.
Keywords: magnetic resonance imaging, intracerebral glial tumors, Brain Parcellation, ventricular system, cerebrospinal fluid, asymmetry index.
For citation: Djuraeva, N.M.; Ikramov, A.I.; Abdukhalimova, Kh.V.; et al. Brain parcellation as a tool for standardization of preoperative assessment of mass effect in glial tumors: A pilot MRI-based study. The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine. 2026, 19(5), 30-40. DOI: 10.20969/VSKM.2026.19(5). 30-40.

Введение. Внутримозговые глиальные опухоли головного мозга относятся к числу наиболее распространённых и клинически значимых объёмных процессов центральной нервной системы[1]. Они характеризуются инфильтративным ростом, выраженным масс-эффектом, развитием перифокального отёка и нарушением ликвородинамики. Наиболее частыми МР-признаками данных изменений являются деформация и смещение боковых, III и IV желудочков, компрессия субарахноидальных пространств и формирование вторичной окклюзионной гидроцефалии [2].

Традиционно оценка желудочковой системы при МРТ и КТ носит преимущественно качественный характер: описывается степень расширения или сужения желудочков, наличие смещения срединных структур, компрессии и дислокации[3]. Количественные измерения, как правило, ограничиваются отдельными линейными параметрами (индекс Эванса, величина смещения прозрачной перегородки и т.п.), что не позволяет в полной мере отразить объёмные изменения ликворных пространств и их зависимость от параметров опухолевого очага [4]. Кроме того, такие измерения подвержены межнаблюдательной вариабельности и требуют значительных временных затрат.

Развитие методов искусственного интеллекта и, в частности, технологий автоматической Brain Parcellation открывает принципиально новые возможности для количественного анализа мозговых структур [5]. Алгоритмы глубокого обучения, обученные на больших массивах МР-данных, позволяют автоматически сегментировать паренхиму мозга, желудочковую систему и ликворные пространства, формируя стандартный набор объёмных показателей. На основе высококачественных 3D Т1-взвешенных изображений (Т1-ВИ) возможно не только оценивать общий объём цереброспинальной жидкости (ЦСЖ), но и отдельно измерять объёмы правого и левого боковых, III и IV желудочков, а также рассчитывать индекс асимметрии боковых желудочков [6].

В последние годы опубликован ряд работ, посвящённых применению нейросетевых моделей для сегментации опухолей головного мозга и оценки объёма опухолевого узла и перифокального отёка [7]. Однако, значительно меньше внимания уделяется систематическому анализу изменений желудочковой системы и ликворных пространств с использованием автоматической парцелляции, особенно в увязке с параметрами опухоли – её латерализацией, долевой локализацией, медиальным или латеральным расположением и размерами [8]. Между тем, именно эти факторы определяют выраженность масс-эффекта, риск формирования дислокационного синдрома и необходимость более агрессивной или, напротив, щадящей хирургической тактики [9].

Предоперационный этап является ключевым с точки зрения планирования объёма вмешательства, выбора хирургического доступа и прогноза возможных осложнений. В этой связи объективная количественная оценка объёмов желудочков и цереброспинальной жидкости, полученная в автоматическом режиме, может служить важным дополнением к визуальной оценке МР-изображений и повысить информативность предоперационного нейрорадиологического заключения.

Таким образом, существует потребность в исследованиях, направленных на изучение влияния топографии и размеров внутримозговых опухолей на показатели желудочковой системы, рассчитанные с помощью технологии Brain Parcellation по данным стандартной предоперационной МРТ.

Цель исследования – определить влияние локализации и размеров внутримозговых опухолевых образований на объёмы структур желудочковой системы головного мозга по данным предоперационной МРТ с использованием технологии Brain Par-

cellation и проанализировать послеоперационные изменения ликворных пространств как критерий валидности предоперационных количественных показателей.

Материалы и методы.

Проведено пилотное одноцентровое наблюдательное исследование предоперационной МРТ-оценки желудочковой системы у пациентов с внутримозговыми глиальными опухолями. Протокол одобрен локальным этическим комитетом, получено информированное согласие.

В исследование включены 64 пациента с гистологически подтверждёнными глиальными опухолями головного мозга, которым выполнялось предоперационное МРТ-обследование с последующим хирургическим лечением. Опухоли локализовались в правом или левом полушарии, преимущественно в лобных, теменных и височных, реже в затылочных долях, в латеральных и медиальных отделах. По данным МРТ отмечались умеренный или выраженный перифокальный отёк; максимальный диаметр очагов составлял 2,0–5,6 см. Включали пациентов при наличии качественных бесконтрастных 3D Т1-взвешенных изображений (изотропный воксель 1×1×1 мм); выраженные артефакты движения, металлические артефакты и неполный объём исследования служили критериями исключения.

МРТ головного мозга выполнялась на высокопольном томографе 3,0 Тл Siemens Magneton Vida с использованием стандартной головной катушки. Для анализа использовались бесконтрастные 3D Т1-ВИ (тип MPRAGE), загруженные в программный комплекс автоматической Brain Parcellation. Алгоритм Brain Parcellation основан на автоматической сегментации 3D Т1-ВИ с использованием обученных нейросетевых моделей. Пример интерфейса и результата анализа представлен на *рисунке 1*. Для оценки ликворных пространств использовали режим специализированного программного комплекса, ориентированный на сегментацию желудочковой системы. На мультиплоскостных 3D Т1-взвешенных изображениях (сагиттальная, коронарная и аксиальная плоскости) автоматически выделялись боковые, III и IV желудочки, а также общий объём цереброспинальной жидкости с наложением цветных масок только на структуры желудочковой системы. В нижнем правом окне формировалась трёхмерная модель сегментированных желудочков, в правой панели отображались числовые значения объёмов (мл), отношение объёма к внутричерепному объёму (V/ICV) и индекс асимметрии боковых желудочков, которые далее использовались для статистического анализа.

Для каждого пациента определяли объёмы желудочков, индексы ассиметрии, индексы V/ICV (объем на общий мозговой объемы), общий объём ЦСЖ.

Дополнительно фиксировали латерализацию опухоли (правое/левое полушарие), долевую локализацию, медиальное/латеральное расположение очага, диаметр опухоли и выраженность перифокального отёка (умеренный/выраженный). Эти параметры сопоставляли с объёмами желудочков, общим объёмом ЦСЖ и индексом асимметрии.

Статистический анализ выполняли в стандартном пакете. Нормальность распределения оценивали критерием Шапиро–Уилка. Количественные данные представляли как среднее ± стандартное отклонение или медиану с межквартильным размахом. Для сравнения групп применяли t-критерий Стьюдента или однофакторный ANOVA, при ненормальном распределении – критерии Манна–Уитни и Краскела–Уоллиса. Связь между диаметром опухоли и объёмными показателями оценивали корреляционным анализом (коэффициент Пирсона



Рисунок 1. Пример автоматической сегментации желудочковой системы: 3D Т1-ВИ с цветным выделением боковых, III и IV желудочков, трёхмерной моделью и автоматически рассчитанными объёмами, и индексом асимметрии.
Figure 1. Example of automatic segmentation of the ventricular system: 3D T1-WI with color highlighting of the lateral, III, and IV ventricles, a three-dimensional model and automatically calculated volumes, and the asymmetry index.

Таблица 1

Клиническая и радиологическая характеристика пациентов

Table 1

Clinical and radiological characteristics of patients

Показатель	Абсолютное значение	%
Число пациентов	64	100
Возраст	45-72	100
Правое полушарие	32	50
Левое полушарие	32	50
Лобная доля	41	64,1
Височная доля	17	26,6
Теменная доля	6	9,4

или Спирмена). Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. В исследование включены 64 пациента с внутримозговыми глиальными опухолями, у которых были доступны парные МРТ-исследования до и после операции. Возрастной диапазон, распределение по полушариям и долевой локализации очага, а также основные клинико-радиологические характеристики выборки суммарно представлены в *таблице 1.*

В соответствии с дизайном исследования всем пациентам выполнялась автоматическая оценка объёмов желудочковой системы по данным предоперационной и послеоперационной МРТ. Для дальнейшего анализа сравнивали объёмы отдельных желудочков (боковых, III и IV) и общий объём цереброспинальной жидкости до и после хирургического вмешательства *(таблица 2)*.

Согласно данным автоматической парцелляции, после операции отмечено статистически значимое увеличение объёма правого бокового желудочка, а также III и IV желудочков ($p < 0,05$), при отсутствии достоверного изменения объёма левого бокового желудочка и общего объёма цереброспинальной жидкости. Индекс асимметрии боковых желудочков в целом оставался стабильным ($p > 0,05$), что свидетельствует о умеренном расширении желудочковой системы на фоне хирургического вмешательства без существенного перераспределения общего объёма ЦСЖ и без выраженного изменения межполушарной диспропорции.

В рамках постобработки МРТ использовалась технология автоматической Brain Parcellation, позволяющая выполнять детальную сегментацию коры, подкорковых структур и желудочковой системы. На *рисунке 2* показаны пример аксиальной сегментации извилин, прилежащих к внутримозговому образованию, трёхмерная реконструкция желудочков и цветовая визуализация их компрессии опухолевым очагом.

Далее на *рисунке 3* наглядно продемонстрирована постобработка с использованием технологии Brain Parcellation с визуализацией третьего желудочка и его увеличенного объёма в послеоперационном периоде.

Средний объём IV желудочка до операции составил 1,95 ± 0,63 мл, после операции – 2,06 ± 0,76 мл ($p < 0,05$), что отражает умеренное статистически значимое расширение IV желудочка в послеопе-

Таблица 2

Объёмные показатели желудочковой системы и ЦСЖ до и после операции

Table 2

Volumetric indicators of the ventricular system and CVS before and after surgery

Показатель	До операции, Me [Q1; Q3], мл	После операции, Me [Q1; Q3], мл	p*
Объём левого бокового желудочка, мл	6,06 [3,86; 10,71]	6,45 [4,18; 12,34]	0,06
Объём правого бокового желудочка, мл	5,11 [3,73; 9,78]	6,29 [4,63; 11,39]	0,03
Индекс асимметрии боковых желудочков, %	0,07 [-0,19; 0,34]	0,00 [-0,30; 0,55]	0,27
Объём III желудочка, мл	0,80 [0,52; 1,12]	0,87 [0,58; 1,36]	0,03
Объём IV желудочка, мл	1,80 [1,46; 2,26]	2,00 [1,49; 2,43]	< 0,05
Общий объём ЦСЖ, мл	286,1 [256,4; 319,2]	286,8 [257,8; 323,2]	0,38



Рисунок 2. Постобработка Brain Parcellation в аксиальной проекции с сегментированием прилежащих к образованию извилин (A), 3D реконструкция желудочков (B), цветное сегментирование компримированных желудочков (C)
Figure 2. Post-processing of Brain Parcellation in axial projection with segmentation of the adjacent convolutions (A), 3D reconstruction of the ventricles (B), and color segmentation of the compressed ventricles (C)

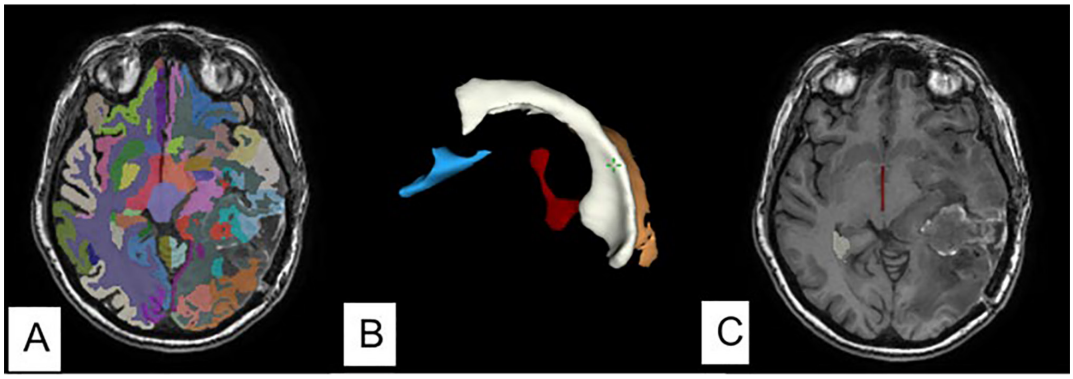


Рисунок 3. Постобработка Brain Parcellation в аксиальной проекции с сегментированием прилежащих извилин к постоперационной кисте (A), 3D реконструкция желудочков (B), цветное сегментирование третьего желудочка с увеличением объема после операции (C)

Figure 3. Post-processing of Brain Parcellation in axial projection with segmentation of adjacent gyri to the postoperative hand (A), 3D reconstruction of ventricles (B), and color segmentation of the third ventricle with the increased volume after surgery (C)

рационном периоде. Средний объём III желудочка увеличился с 0,94 ± 0,56 мл до 1,08 ± 0,64 мл (p = 0,03), однако выраженное увеличение наблюдалось не у всех пациентов.

На *рисунке 4* представлены средние объёмы боковых, III и IV желудочков головного мозга у мужчин и женщин до и после операции по данным технологии Brain Parcellation. У мужчин исходные значения объёмов желудочков были несколько выше, чем у женщин, что особенно выражено для IV желудочка (в среднем около 2,2 мл) и правого бокового желудочка (около 7,2 мл). После операции у мужчин отмечается достоверное увеличение объёма левого и правого боковых желудочков (p = 0,019 и p = 0,009 соответственно), а также тенденция к росту объёма III и IV желудочков (p близко к 0,05), что отражает более выраженную перестройку ликворной системы на фоне удаления внутримозгового образования.

У женщин послеоперационные изменения носят более умеренный характер: объёмы желудочков несколько увеличиваются, преимущественно за счёт IV желудочка, однако статистически значимых различий между до- и послеоперационными значениями не отмечено (p > 0,1). Таким образом, у мужчин после удаления опухоли наблюдается более выраженное расширение отдельных отделов желудочковой системы по сравнению с женщинами, что может свидетельствовать о большей чувствительности ликворной системы мужчин к изменению внутримозгового объёма и масс-эффекта. Полученные половые различия требуют подтверждения в расширенной выборке с поправкой на внутричерепной объём.

Нами была проанализирована динамика объёмов желудочков в зависимости от долевой локализации опухоли и её максимального размера. Наибольшее число образований приходилось на лобную долю (n = 41). Средний диаметр опухоли в лобной доле составил 3,79 ± 1,23 см (с учётом перифокального отёка – 4,77 ± 1,43 см; диапазон 1,9-6,3 и 2,6-8,1 см соответственно). Лобные опухоли несколько чаще локализовались в левом полушарии (22/41; 53,7%), чем в правом (19/41; 46,3%). По отношению к средней линии преобладали медиально расположенные очаги (25/41; 61,0%), тогда как латеральная локализация встречалась в 16/41 (39,0%) случаев.

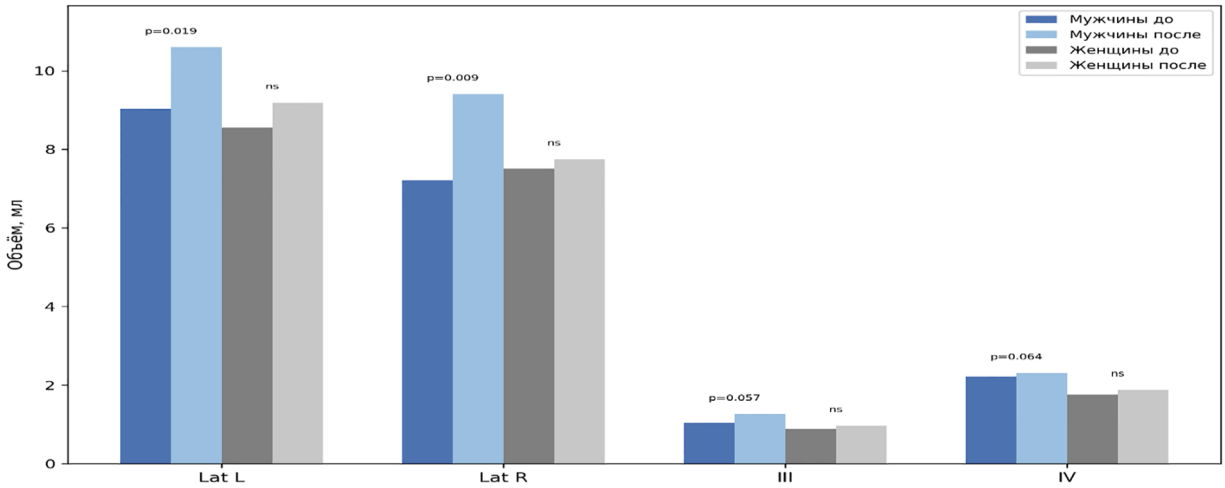


Рисунок 4. Средние объёмы желудочков головного мозга у мужчин и женщин до и после операции (по данным Brain Parcellation)

Figure 4. Average volumes of the cerebral ventricles in male and female patients before and after surgery (according to the Brain Parcellation data)

При этом медиальные опухоли имели несколько больший средний размер по сравнению с латеральными (3,99 против 3,48 см; с отёком 5,04 против 4,35 см). Опухоли височной доли выявлены у 17 из 64 пациентов (26,6%). Средний максимальный диаметр височных опухолей составил 3,25 ± 1,13 см, при учёте перифокального отёка – 4,64 ± 1,38 см (диапазон 1,6-5,0 и 2,0-6,8 см соответственно). Локализация по стороне была практически симметричной: 8 очагов в левом и 9 — в правом полушарии.

По отношению к средней линии преобладали медиальные височные опухоли – 11 из 17 (64,7%), тогда как латеральная локализация отмечена в 6 случаях (35,3%). Латеральные опухоли имели несколько больший средний диаметр по сравнению с медиальными (3,47 см против 3,13 см; с отёком 4,68 против 4,62 см), однако различия были невелики. В целом для височной доли характерны умеренные размеры образования с умеренно выраженным перифокальным отёком при преобладании медиальной локализации.

Опухоли теменной доли встречались реже всего – у 4 из 64 пациентов (6,3%). Средний диаметр теменных образований составил 4,33 ± 1,63 см, с учётом перифокального отёка – 5,70 ± 0,42 см (диапазон 1,9-5,3 и 5,2-6,2 см соответственно). В трёх случаях очаг локализовался в правом полушарии и в одном – в левом. Все теменные опухоли имели медиальное расположение по отношению к средней линии, что потенциально обусловливает их более тесное взаимодействие с прилежащими отделами желудочковой системы при сравнительно умеренных размерах.

На *рисунке 5* представлены средние размеры опухолей и опухолей с перифокальным отёком в лобной, височной и теменной долях головного мозга; над столбиками указана доля каждой локализации в общей выборке пациентов (%). Поскольку наибольшая доля опухолей в нашей выборке приходилась на лобную долю, дальнейший анализ был сфокусирован именно на этой группе. Это позволило оценить, как размеры опухоли и выраженность перифокального отёка при лобной локализации влияют на объёмы боковых, III и IV желудочков по данным Brain Parcellation.

Влияние размера опухолей и перифокального отёка на объём желудочков. В наш анализ было включено 41 внутримозговое образование, локализованное в лобной доле. Из них 22 очага располагались в левой лобной доле (53,7%), 19 – в правой (46,3%). По отношению к средней линии преобладала медиальная локализация: 25 опухолей (61,0%) против 16 латеральных (39,0%).

При детализации установлено, что в левой лобной доле медиально располагались 9 опухолей, латерально – 13, тогда как в правой лобной доле медиальная локализация встретилась у 16 пациентов при всего 3 латеральных очагах. Это подчёркивает преимущественно медиальное расположение лобных опухолей, особенно в правом полушарии, что важно при интерпретации их влияния на форму и объём желудочковой системы.

В *таблице 3* средний диаметр образования составил 3,79 ± 1,23 см (медиана 3,6 см), тогда как средний диаметр очага с учётом перифокального отёка был 4,77 ± 1,43 см (медиана 4,5 см). Отношение «диаметр с отёком/диаметр опухоли» в среднем равнялось 1,29 ± 0,27 (медиана 1,22), то есть перифокальный отёк увеличивал линейный размер очага примерно в 1,3 раза; при этом в 95 % наблюдений отёк приводил к увеличению размеров образования. Между диаметром опухоли и размером очага с

Таблица 3

Линейные размеры внутримозговых опухолей лобной доли и очага с перифокальным отёком

Table 3

Linear dimensions of intracerebral tumors of the frontal lobe and foci with perifocal edema

Показатель	Среднее ± SD, см	Медиана, см	Min–Max, см
Диаметр опухоли	3,79 ± 1,23	3,60	1,90 – 6,30
Диаметр очага с отёком	4,77 ± 1,43	4,50	2,60 – 8,10
Отношение «отёк/опухоль»	1,29 ± 0,27	1,22	1,00 – 2,17

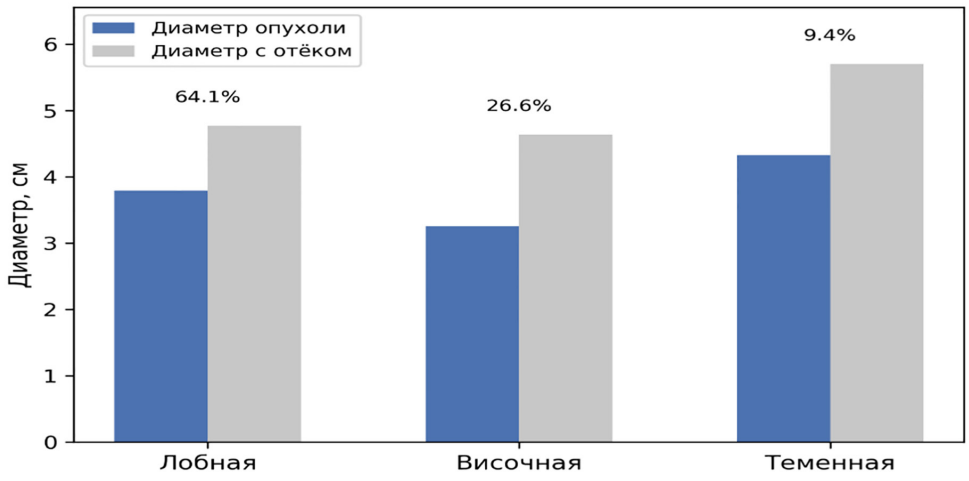


Рисунок 5. Размеры опухолей по долям мозга и их частота (%)
Figure 5. Tumor sizes by brain lobes and their frequency (%)

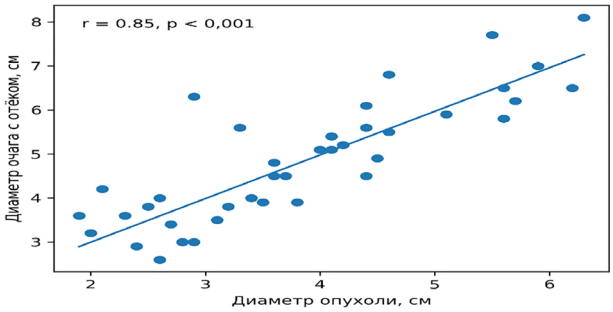


Рисунок 6. Корреляция размера опухоли и общего размера опухоли с отеком.
Figure 6. Correlation between tumor size and total tumor size with edema.

отёком выявлена выраженная положительная корреляционная связь (r = 0,85; p < 0,001) *(Рисунок 6)*.

Поскольку различия размеров опухоли и протяжённости перифокального отёка между латеральными и медиальными сегментами не достигали статистической значимости, далее анализ был выполнен с разделением пациентов на группы по величине диаметра образования и ширины отёка, независимо от сегментарной локализации.

В медиальном сегменте по сравнению с латеральным опухоли в среднем были крупнее (диаметр больше примерно на 0,5 см) и сопровождались более выраженным перифокальным отёком (на ~0,7 см больше). Диапазоны значений как диаметра, так и отёка в медиальной группе также смещены в сторону больших размеров, что указывает на более выраженный объёмный эффект при медиальной фронтальной локализации *(таблица 4)*.

При сравнении образований в группе умеренных по размеру (до 3 см) фронтальных опухолей статистически значимых изменений объёмов боковых, III и IV желудочков не отмечено (p > 0,05); значимым оказалось лишь небольшое увеличение суммарного объёма ликвора (ЦСЖ, p ≈ 0,047) *(таблица 5)*.

При крупных образованиях лобной доли с выраженным перифокальным отёком (более 5 см) наблюдается отчётливое уменьшение объёмов латеральных желудочков и III желудочка, а также общего объёма ликвора, что сопровождается снижением индекса асимметрии до субнормальных значений. Изменения объёма IV желудочка носят минимальный характер и не играют ведущей роли в общей динамике вентрикулярной системы. В совокупности это отражает эффективную декомпрессию прилежащих отделов желудочков за счёт устранения масс-эффекта опухоли и отёка *(таблица 6)*.

При крупных образованиях и умеренном отёке отмечается незначимое увеличение объёмов боковых и III желудочков и общего объёма ЦСЖ после операции (p<0,001), без выраженной динамики IV желудочка (p≈0,074), в отличие от случая с крупным очагом и массивным отёком (8,1 см), где после операции преобладало снижение объёмов желудочков и общего ликвора *(таблица 7)*.

В *таблице 8* показано, что при опухолях среднего размера медиальных отделов лобной доли без выраженного перифокального отёка после операции происходит статистически значимое увеличение объёмов обоих боковых желудочков, III желудочка и общего объёма ЦСЖ (p < 0,001), что отражает декомпрессию вентрикулярной системы. Объём IV желудочка увеличивается лишь тенденциозно (p = 0,074), что указывает на преимущественное вовлечение передних отделов желудочков при такой локализации очагов.

В нашем исследовании показано, что характер влияния внутримозговых опухолей лобной доли на желудочковую систему определяется прежде всего их медио-латеральным расположением и размером, тогда как роль перифокального отёка носит модифицирующий, но не ведущий характер [10]. Наиболее выраженные изменения отмечены при медиальной локализации очагов в проекции тел и передних от-

Таблица 4

Средний диаметр опухоли и перифокального отека в латеральных и медиальных отделах лобной доли

Table 4

Average diameter of the tumor and perifocal edema in the lateral and medial sections of the frontal lobe

Сегмент	n	Диаметр, среднее ± SD, см	Min–Max, см	Отёк, среднее ± SD, см	Min–Max, см
Латеральный	16	**3,48 ± 1,15**	1,9–5,7	**4,35 ± 1,21**	2,6–6,2
Медиальный	25	**4,00 ± 1,26**	2,1–6,3	**5,04 ± 1,52**	2,9–8,1

Таблица 5

Изменения объемов желудочков до и после операции при мелких образованиях лобной доли

Table 5

Changes in ventricular volumes before and after surgery in small frontal lobe lesions

Показатель	До операции, M ± SD	После операции, M ± SD	ΔV (post – pre), мл	P
Латеральный Ж слева	11,76 ± 0,77 мл	11,86 ± 0,84 мл	+0,10	0,086
Латеральный Ж справа	12,74 ± 0,77 мл	12,69 ± 0,83 мл	–0,05	0,781
III желудочек	0,89 ± 0,11 мл	0,89 ± 0,08 мл	–0,00	0,960
IV желудочек	3,18 ± 0,46 мл	3,16 ± 0,38 мл	–0,03	0,720
Общий объём ЦСЖ	326,67 ± 11,27 мл	330,15 ± 9,65 мл	+3,48	0,047

*p – по парному t-тесту для связанных выборок (сравнение «после» против «до» операции).
*p – in the paired t-test for linked samples (“after” vs. «before» the surgery).

Таблица 6

Объёмы желудочков и общий объём ЦСЖ при крупных медиальных опухолях с выраженным перифокальным отеком лобной доли

Table 6

Ventricular volumes and the total CSF volume in large medial tumors with the pronounced perifocal edema of the frontal lobe

Показатель	До операции, мл (M±SD)	После операции, мл (M±SD)	ΔV, мл (M±SD)	p*
Латеральный желудочек слева	16,19 ± 1,05	13,85 ± 1,01	–2,35 ± 0,51	<0,001
Латеральный желудочек справа	6,36 ± 1,09	5,53 ± 0,92	–0,83 ± 0,37	<0,001
III желудочек	2,32 ± 0,66	2,08 ± 0,59	–0,24 ± 0,11	<0,001
IV желудочек	2,60 ± 0,63	1,86 ± 0,40	–0,74 ± 0,47	0,0028
Общий объём ЦСЖ	299,35 ± 34,61	235,82 ± 29,94	–63,53 ± 19,51	<0,001

*p – по парному t-тесту для связанных выборок (сравнение «после» против «до» операции)
*p – in the paired t-test for linked samples (“after” vs. «before» the surgery).

Таблица 7

Объёмы желудочков и общий объём ЦСЖ при крупных размерах образований лобной доли без выраженного перифокального отека

Table 7

Ventricular volumes and the total CSF volume in large frontal lobe lesions without any pronounced perifocal edema

Показатель	До операции, мл (M ± SD)	После операции, мл (M ± SD)	ΔV (post – pre), мл (M ± SD)	p*
Латеральный желудочек слева	12,82 ± 1,15	17,51 ± 1,04	+4,69 ± 0,74	0,0001
Латеральный желудочек справа	11,98 ± 1,01	17,83 ± 0,94	+5,85 ± 0,84	< 0,0001
III желудочек	1,66 ± 0,22	2,06 ± 0,19	+0,40 ± 0,16	< 0,0001
IV желудочек	1,79 ± 0,12	1,86 ± 0,10	+0,07 ± 0,05	0,0005
Общий объём ЦСЖ	347,47 ± 26,22	334,99 ± 26,19	–12,48 ± 7,79	0,0008

*p – по парному t-тесту для связанных выборок (сравнение «после» против «до» операции)
*p – in the paired t-test for linked samples (“after” vs. «before» the surgery).

Таблица 8

Изменения объемов желудочков и общего объёма ЦСЖ при образованиях среднего размера медиальных отделов лобной доли без выраженного перифокального отека

Table 8

Changes in ventricular volumes and in the total CSF volume in medium-sized medial frontal lobe lesions without any pronounced perifocal edema

Показатель	До операции, мл (M±SD)	После операции, мл (M±SD)	ΔV (post–pre), мл (M±SD)	p*
Латеральный желудочек слева	11,76 ± 0,77	13,17 ± 0,76	+1,41 ± 0,49	p = 0,00008
Латеральный желудочек справа	12,74 ± 0,77	15,58 ± 1,22	+2,84 ± 0,49	p = 0,0000007
III желудочек	0,89 ± 0,11	1,06 ± 0,10	+0,17 ± 0,02	p = 0,0000002
IV желудочек	3,18 ± 0,46	3,30 ± 0,44	+0,12 ± 0,16	p = 0,074
Общий объём ЦСЖ	326,67 ± 11,27	338,42 ± 13,98	+11,75 ± 2,71	p = 0,0000055

*p – по парному t-тесту для связанных выборок (сравнение «после» против «до» операции).
*p – in the paired t-test for linked samples (“after” vs. «before» the surgery).

делов боковых желудочков: опухоли диаметром более 3 см во всех случаях сопровождались значимой компрессией боковых и III желудочков с увеличением Asym IDX и формированием выраженного масс-эффекта [11].

После радикального удаления опухоли регистрировалось частичное восстановление объёмов желудочков и снижение индекса асимметрии до субнормальных величин, что указывает на преимущественно обратимый характер ликвородинамических нарушений при своевременном вмешательстве. Напротив, при небольших фронтальных очагах (≈2–3 см), даже при наличии перифокального отёка сопоставимой протяжённости, компрессия желудочковой системы была минимальной: объёмы боковых, III и IV желудочков и относительные показатели V/ICV практически не изменялись, а Asym IDX оставался в пределах физиологического диапазона. Аналогичная картина наблюдалась и при латеральном расположении опухолей: при размерах до 2,5–3 см и умеренном отёке форма и размеры желудочковой системы клинически значимо не страдали, признаки дислокационного или окклюзионного синдрома отсутствовали. В то же время крупные солидные опухоли (5–6 см и более), даже без выраженного отёка, закономерно вызывали сужение прилежащих отделов боковых и III желудочка с последующей нормализацией их объёмов в послеоперационном

периоде, что подчёркивает ведущую роль объёма опухолевой массы в формировании компрессии ликворных пространств. Латерально расположенные очаги сопоставимых размеров, включая случаи с перифокальным отёком, существенно реже приводили к значимому снижению объёма желудочков и общего объёма ЦСЖ, что указывает на меньшую клиническую значимость латеральных опухолей для развития окклюзионно-дислокационного синдрома.

Полученные результаты хорошо укладываются в современные представления о преимущественном смещении срединных структур и окклюзии ликворных путей при медиально расположенных опухолях. В ряде работ показано, что опухоли, контактирующие с передними рогами и телами боковых желудочков, чаще ассоциируются с окклюзионной гидроцефалией и выраженным смещением срединной линии по данным МРТ, тогда как кортикальные и субкортикальные очаги без вовлечения перивентрикулярных зон существенно реже приводят к критическим изменениям ликвородинамики [12]. Исследования, посвящённые роли перифокального отёка (в том числе при глиобластомах и менингиомах), подчёркивают значение суммарного объёма «опухоль + отёк» и степени масс-эффекта как предикторов неблагоприятного течения и выраженного неврологического дефицита. В этом контексте наши данные частично согласуются с опубликованными: мы подтверждаем, что увеличение размеров очага и наличие перифокального отёка усиливают масс-эффект, но показываем, что для риска вентрикулярной компрессии определяющим является именно медиальное расположение опухоли в непосредственной близости от боковых и III желудочков. При медиальной фронтальной локализации очагов >3 см компрессия боковых и III желудочков носит практически закономерный характер, тогда как при латеральной локализации даже крупные опухоли с отёком значительно реже приводят к клинически значимой деформации желудочковой системы. Это дополняет данные нейрохирургических серий, где медиальные опухоли лобной доли и опухоли мозолистого тела рассматриваются как ключевой фактор развития вторичной гидроцефалии и чаще требуют раннего хирургического вмешательства или комбинированного подхода с ликворошунтирующими процедурами [9,13].

Важным отличием нашей работы от большинства опубликованных исследований является применение автоматизированной технологии Brain Parcellation для количественной оценки объёмов каждого желудочка и общего объёма ликвора. В рутинной практике и в значительной части литературных данных оценка масс-эффекта и гидроцефалии основывается на линейных показателях (индекс Эванса, бикаудатный индекс), полуколичественном описании отёка и смещения срединных структур [11,14]. Использование Brain Parcellation позволило получить воспроизводимые трёхмерные объёмы латеральных, III и IV желудочков, нормировать их относительно внутричерепного объёма (V/ICV), а также рассчитывать индекс асимметрии в динамике до и после операции. Это дало возможность количественно продемонстрировать пороговый характер влияния: при фронтальных образованиях до 3 см, вне зависимости от наличия отёка, риск значимой компрессии желудочков остаётся минимальным, в то время как при медиальной локализации очагов более 3 см уменьшение объёмов боковых и III желудочков и рост Asym IDX становятся закономерными и клинически значимыми. Таким образом, применение автоматизированной сегментации не только уточняет субъективную оценку масс-эффекта, но и позволяет формализовать критерии риска окклюзионно-дислокационного синдрома.

Сопоставляя наши результаты с данными других авторов, можно отметить, что опубликованные работы по менингиомам и глиомам убедительно демонстрируют связь между объёмом опухоли, выраженностью перифокального отёка и клинической симптоматикой, однако редко детализируют количественные изменения именно желудочковой системы [10,12,15]. В наших наблюдениях показано, что у пациентов с крупными медиальными фронтальными опухолями после удаления очага происходит частичное восстановление объёмов боковых и III желудочков и снижение Asym IDX, что отражает обратимость структурных изменений при своевременной декомпрессии. В то же время при небольших и латерально расположенных очагах, несмотря на наличие отёка, выраженной динамики желудочковых объёмов не наблюдается. Эти данные, на наш взгляд, уточняют роль перифокального отёка: он усиливает масс-эффект, но сам по себе, при периферическом расположении опухоли, редко приводит к критической окклюзии ликворных путей; ключевым фактором остаётся топография очага по отношению к желудочковой системе [8,10,11,12,16].

Таким образом, результаты настоящего исследования подтверждают, что при планировании тактики ведения пациентов с фронтальными внутримозговыми опухолями и оценке риска окклюзионно-дислокационного синдрома принципиальное значение имеют: 1) медиальное расположение очага в непосредственной близости от тел боковых и III желудочков; 2) его максимальный диаметр (более 3 см) и суммарный объём, а не только выраженность перифокального отёка; 3) количественная оценка изменений объёмов желудочков и индекса асимметрии по данным автоматизированной постобработки Brain Parcellation. Это создаёт предпосылки для разработки прогностических моделей риска гидроцефалии и более точного отбора пациентов для раннего оперативного вмешательства и применения ликвородренирующих или шунтирующих процедур.

Выводы. Автоматическая Brain Parcellation по данным стандартных 3D T1-ВИ обеспечивает объективную количественную оценку объёмов желудочковой системы и ЦСЖ у пациентов с глиальными опухолями в пред- и послеоперационном периодах. В общей когорте после операции выявлено умеренное расширение отдельных отделов желудочковой системы (правый боковой, III и IV желудочки) при стабильном общем объёме ЦСЖ и без значимого изменения индекса асимметрии. Для лобных опухолей показана зависимость вентрикулярной динамики от

размеров и, особенно, сочетания «крупный размер + медиальная локализация + выраженный отёк», что сопровождается более выраженной перестройкой ликворных пространств. Количественные параметры желудочков и ЦСЖ, полученные автоматически, целесообразно рассматривать как дополнение к визуальной оценке МРТ для стандартизации предоперационного заключения и стратификации риска масс-эффекта/дислокации.

Прозрачность исследования. *Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.*

Декларация о финансовых и других взаимоотношениях. *Все авторы принимали участие в разработке концепции, дизайна исследования и в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Авторы не получали гонорар за исследование.*

Благодарности. *Авторы выражают искреннюю благодарность лаборантам отделения МРТ- и КТ-диагностики Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра хирургии имени академика В. Вахидова за неоценимую помощь при сборе клинического материала.*

Вклад авторов: Джураева Н.М. – концепция и дизайн исследования, научное руководство, интерпретация результатов; Икрамов А.И. – научное редактирование; Абдухалимова Х.В. – сбор и анализ МРТ-данных, подготовка рукописи; Баталов А.И. – анализ и интерпретация нейрорадиологических данных, статистическая обработка; Лебеденко А.В. – анализ МРТ-данных, интерпретация результатов, редактирование рукописи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Dorfner FJ, Patel JB, Kalpathy-Cramer J, Gerstner ER, Bridge CP. A review of deep learning for brain tumor analysis in MRI. J Precision Oncology. 2025;9(1): 2.
   DOI: 10.1038/s41698-024-00789-2
2. Satushe V, Vyas V, Metkar S, Singh DP. AI in MRI brain tumor diagnosis: A systematic review of machine learning and deep learning advances (2010–2025). J Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2025; 263:105-14.
   DOI: 10.1016/j.chemolab.2025.105414
3. Lee M, Kim JH, Choi W, Lee KH. AI-assisted Segmentation Tool for Brain Tumor MR Image Analysis. Journal of Imaging Informatics in Medicine. 2025; 38(1):74–83.
   DOI: 10.1007/s10278-024-01187-7
4. Evangelou K, et al. Artificial Intelligence in the Diagnosis and Treatment of Brain Gliomas. J Biomedicines. 2025; 13(9): 2285.
   DOI: 10.3390/biomedicines13092285
5. Al-Rahbi A, Al-Habsi T, Al-Suli A, Al-Saadi T. Artificial intelligence use in diagnosis, grading, and segmentation of neuro-oncology: a narrative review. Egyptian Journal of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery. 2025; 61(1): 54.
   DOI: 10.1186/s41983-025-00980-7
6. Ullah F, Nadeem M, Abrar M, et al. Brain Tumor Segmentation from MRI Images Using Handcrafted Convolutional Neural Network. Diagnostics (Basel). 2023;13(16):2650.
   DOI: 10.3390/diagnostics13162650
7. Huang J, et al. Brain tumor segmentation using deep learning: high performance with minimized MRI data. J Frontiers in Radiology. 2025; 5.
   DOI: 10.3389/fradi.2025.1616293
8. Bhandari A, Koppen J, Agzarian M. Convolutional neural networks for brain tumour segmentation. J nsights Imaging. 2020; 11(1): P. 77.
   DOI: 10.1186/s13244-020-00869-4
9. Xiong Z. ResSAXU-Net for multimodal brain tumor segmentation from brain MRI. Sci Rep.2025; 15: 241-79.
   DOI:org/10.1038/s41598-025-09539-1
10. Rosenstock P, et al. Association between tumor size and peritumoral brain edema in patients with convexity and parasagittal meningiomas. J PLOS ONE. 2021; 16 (6). P. e025-45.
    DOI: 10.1371/journal.pone.0252945
11. Thammaroj J, Wongwichit N, Boonrod A. Evaluation of Perienhancing Area in Differentiation between Glioblastoma and Solitary Brain Metastasis. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention. 2020; 21(9): 2525–2530.
    DOI: 10.31557/APJCP.2020.21.9.2525
12. Tsygankov VA, et al. Modern approaches to segmentation and analysis of brain structures: problems and solutions. Doctor and Information Technologies. 2025; 1: 42–57.
    DOI: 10.25881/18110193_2025_1_42
13. Ranjbarzadeh R, Zarbakhsh P, Caputo A, et al. Brain tumor segmentation based on optimized convolutional neural network and improved chimp optimization algorithm. Comput Biol Med. 2024; 168:107723.
    DOI: 10.1016/j.compbiomed.2023.107723
14. Wu W, Li D, Du J, et al. An Intelligent Diagnosis Method of Brain MRI Tumor Segmentation Using Deep Convolutional Neural Network and SVM Algorithm. Comput Math Methods Med. 2020; 2020:6789306
    DOI: 10.1155/2020/6789306. PMID: 32733596; PMCID: PMC7376410.
15. Cui S, Mao L, Jiang J, et al. Automatic Semantic Segmentation of Brain Gliomas from MRI Images Using a Deep Cascaded Neural Network. J Healthc Eng. 2018; 2018:4940593.
    DOI: 10.1155/2018/4940593

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ДЖУРАЕВА НИГОРА МУХСУМОВНА*, ORCID: 0000-0002-2232-8264, докт. мед. наук, профессор, e-mail: nika.kt@rambler.ru ; заведующая отделением компьютерной и магнитно-резонансной томографии, ГУ «Республиканский специализированный научно-практический центр хирургии имени академика В. Вахидова», Узбекистан, г. Ташкент, ул. Кичик Халка Йули, 10.*

ИКРАМОВ АДХАМ ИЛЬХАМОВИЧ*, ORCID: 0000-0002-7985-7757, докт. мед. наук, профессор, e-mail: medschool.uz@gmail.com ; заведующий кафедрой клинической радиологии Центра развития профессиональной квалификации медицинских работников, Узбекистан, 100000, Ташкент, ул. Паркентская, 51.*

ABOUT THE AUTHOR(S):

NIGORA M. DJURAEVA*, ORCID: 0000-0002-2232-8264, Dr. sc. med., Professor, e-mail: nika.kt@rambler.ru ; Head of the Department of Computed and Magnetic Resonance Tomography, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Surgery named after Academician V. Vakhidov, 10 Kichik Khalka Yuli Street, Chilanzar District, 100115 Tashkent, Uzbekistan.*

ADHAM I. IKRAMOV*, ORCID: 0000-0002-7985-7757, Dr. sc. med., Professor, e-mail: medschool.uz@gmail.com ; Head of the Department of Clinical Radiology, Center for the Development of Professional Qualifications of Medical Professionals, 51 Parkentskaya str., 100000 Tashkent, Uzbekistan.*

***АБДУХАЛИМОВА ХАНУМ ВАЛЕНТИНОВНА*,**
ORCID: 0000-0002-3294-4183, канд. мед. наук, врач-радиолог, e-mail: xanummuzik@yandex.ru ;
старший научный сотрудник отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии, ГУ «Республиканский специализированный научно-практический центр хирургии имени академика В. Вахидова», Узбекистан, г. Ташкент, ул. Кичик Халка Йули, 10.
***БАТАЛОВ АРТЕМ ИГОРЕВИЧ,** ORCID: 0000-0002-8924-7346, канд. мед. наук, старший научный сотрудник, e-mail: medschool.uz@gmail.com ;*
ассистент кафедры нейрохирургии и нейронаук, врач-рентгенолог отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России, 125047, г. Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16.
***ЛЕБЕДЕНКО АЛИСА ВАСИЛЬЕВНА**, ORCID: 0000-0002-2441-6436, врач-рентгенолог, e-mail: medschool.uz@gmail.com ;*
врач-рентгенолог отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России, 125047, г. Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16.

***KHANUM V. ABDUKHALIMOVA**, ORCID: 0000-0002-3294-4183, Cand. med. sci., e-mail: xanummuzik@yandex.ru ;*
Senior Researcher, Department of Computed and Magnetic Resonance Tomography, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Surgery named after Academician V. Vakhidov, 10 Kichik Khalka Yuli Street, Chilanzar District, 100115 Tashkent, Uzbekistan.
***ARTEM I. BATALOV**, ORCID: 0000-0002-8924-7346, PhD, Senior Researcher, e-mail: medschool.uz@gmail.com ;*
Assistant Professor at the Department of Neurosurgery and Neurosciences, Radiologist at the Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, 16 4th Tverskaya-Yamskaya str., 125047 Moscow, Russia.
***ALISA V. LEBEDENKO,** ORCID: 0000-0002-2441-6436, Radiologist, e-mail: medschool.uz@gmail.com ;*
Radiologist at the Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, 16 4th Tverskaya-Yamskaya str., 125047 Moscow, Russia.