



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Оригинальная статья

УДК 616.711-021

<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2026-1-10-25>

Амидный протонный перенос в дифференциальной диагностике диффузных астроцитом и олигодендроглиом

Е. А. Ключев¹, М. Б. Сухова², М. В. Растеряева³, А. С. Гришин⁴, К. С. Яшин⁵

¹⁻⁵ ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород, Россия

² Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

¹ <https://orcid.org/0000-0003-2069-1710>

² <https://orcid.org/0000-0002-0504-1421>

³ <https://orcid.org/0000-0002-8462-3824>

⁴ <https://orcid.org/0000-0001-7885-8662>

⁵ <https://orcid.org/0000-0002-5723-7389>

Автор, ответственный за переписку: Евгений Александрович Ключев,
eugenekluev@yandex.ru

Аннотация

Актуальность. Астроцитомы и олигодендроглиомы в совокупности составляют около половины всех случаев диффузных глиом взрослого типа. Данные опухоли имеют разную чувствительность к лучевой терапии и фармацевтическому лечению. Несмотря на наличие специфических лучевых паттернов, дифференциальная диагностика этих опухолей с помощью магнитно-резонансной томографии остается достаточно трудной, и они нередко неотличимы на стандартных МР-изображениях.

Цель. Определение возможностей МР-изображений, взвешенных по амидному протонному переносу (АПП-ВИ), в дифференциальной диагностике диффузных астроцитом и олигодендроглиом.

Материалы и методы. МРТ-исследование выполнено 26 пациентам в возрасте от 22 до 71 года с гистологически подтвержденными диффузными астроцитомами и олигодендроглиомами Grade 2 и Grade 3. Исследования выполнены на аппарате Philips Elition X 3T. МРТ-протокол исследования включал стандартные последовательности и изображения, взвешенные по амидному протонному переносу (АПП-ВИ). Получены средние, минимальные и максимальные значения сигнала АПП-ВИ (относительная концентрация свободных амидных групп (КСА)) в центральных и периферических отделах опухоли (абсолютные и нормализованные по белому веществу), а также в неизменном белом веществе.

© Ключев Е. А., Сухова М. Б., Растеряева М. В., Гришин А. С., Яшин К. С., 2026

Результаты. Различий между абсолютными числовыми значениями сигнала АПП-взвешенных изображений выявлено не было. Астроцитомы Grade 2 и Grade 3 имели более высокие нормализованные максимальные значения КСА в периферической части опухоли — 3,42 [2,82; 4,15] по сравнению с олигодендроглиомами — 2,49 [2,05; 2,65] ($p = 0,009$, критерий Манна — Уитни). При отсекающем значении нормализованных максимальных значений в периферической части 2,99 чувствительность в определении у пациента наличия астроцитомы Grade 2–3 составила 76,9 %, специфичность — 84,6 %, площадь под кривой — 0,799.

Заключение. Применение изображений, взвешенных по амидному протонному переносу, повышает эффективность МР-исследования в дифференциальной диагностике между астроцитомами и олигодендроглиомами Grade 2–3.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, амидный протонный перенос, амидный протонный трансфер, астроцитомы, олигодендроглиомы, Grade 2, Grade 3, дифференциальный диагноз, головной мозг

Для цитирования: Клюев Е. А., Сухова М. Б., Растеряева М. В., Гришин А. С., Яшин К. С. Амидный протонный перенос в дифференциальной диагностике диффузных астроцитом и олигодендроглиом // Радиология — практика. 2026;1:10-25. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2026-1-10-25>

Источники финансирования

Работа выполнена за счет гранта РФФ № 23-75-10068.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Соответствие принципам этики

Работа соответствует этическим нормам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2008 года и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003.

ORIGINAL RESEARCH

Original article

Amide Proton Transfer in the Differential Diagnosis of Diffuse Astrocytomas and Oligodendrogliomas

**Evgenii A. Kliuev¹, Marina B. Sukhova², Marina V. Rasteryaeva³,
Artem S. Grishin⁴, Konstantin S. Yashin⁵**

^{1–5} Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Privolzhsky Research Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Nizhny Novgorod, Russia

² Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

¹ <https://orcid.org/0000-0003-2069-1710>

² <https://orcid.org/0000-0002-0504-1421>

³ <https://orcid.org/0000-0002-8462-3824>

⁴ <https://orcid.org/0000-0001-7885-8662>

⁵ <https://orcid.org/0000-0002-5723-7389>

Corresponding author: Evgeniy A. Klyuev, eugenekluev@yandex.ru

Abstract

Background. Astrocytomas and oligodendrogliomas together account for about half of all cases of adult-type diffuse gliomas. These tumors differ in their sensitivity to radiation therapy and pharmaceutical treatment. Despite the presence of specific radiological patterns, differential diagnosis of these tumors by magnetic resonance imaging (MRI) remains quite challenging, and they are often indistinguishable on standard MR images.

Objective. To assess the potential of magnetic resonance imaging weighted by amide proton transfer (APT-weighted imaging) in the differential diagnosis of diffuse astrocytomas and oligodendrogliomas.

Materials and Methods. MRI scans were performed on 26 patients aged 22 to 71 years with histologically confirmed diffuse astrocytomas and oligodendrogliomas Grade 2 and Grade 3. The examinations were conducted on a Philips Elition X 3T scanner. The MRI protocol included standard sequences and images weighted by amide proton transfer (APT-weighted imaging). Mean, minimum, and maximum values of APT-signal were obtained in the central and peripheral tumor regions (both absolute and normalized to white matter), as well as in normal white matter.

Results. No differences were found in the absolute numerical values of the APT-weighted signal. Astrocytomas Grade 2 and Grade 3 had higher normalized maximum RCAG values in the peripheral part of the tumor with an index of attenuation of minimal APT signal values of 3.42 [2.82; 4.15] compared to oligodendrogliomas – 2.49 [2.05; 2.65] ($p = 0.009$, Mann – Whitney test). At a cutoff value of 2.99 for normalized maximum values in the peripheral area, the sensitivity for detecting astrocytoma Grade 2–3 was 76.9 %, specificity was 84.6 %, and area under the curve was 0.799.

Conclusion. The use of images weighted by amide proton transfer improves the effectiveness of MRI in the differential diagnosis between astrocytomas and oligodendrogliomas Grade 2–3.

Keywords: magnetic resonance imaging, amide proton transfer, astrocytomas, oligodendrogliomas, Grade 2, Grade 3, differential diagnosis, brain

For citation: Kliuev E. A., Sukhova M. B., Rasteryaeva M. V., Grishin A. S., Yashin K. S. Amide Proton Transfer in the Differential Diagnosis of Diffuse Astrocytomas and Oligodendrogliomas. *Radiology – Practice*. 2026;1:10-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2026-1-10-25>

Funding

This research was funded by Russian Science Foundation grant № 23-75-10068.

Conflicts of Interest

The authors state that this work, its topic, subject and content do not affect competing interests. The opinions expressed in the article belong to the authors of the manuscript. The authors confirm the compliance of their authorship with the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, the preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Compliance with Ethical Standards

The work complies with the ethical standards of the Helsinki Declaration of the World Medical Association «Ethical Principles of conducting scientific medical research with human participation» as amended in 2008 and the «Rules of Clinical Practice in the Russian Federation» approved by the Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated 06/19/2003.

Актуальность

Диффузные астроцитомы и олигодендроглиомы в соответствии с классификацией опухолей ЦНС ВОЗ 2021 г. являются подтипами диффузных глиом взрослого типа с наличием мутации гена изоцитратдегидрогеназы (IDH). Различия между этими опухолями обнаружены на разных уровнях: гистологическом — заключаются в особенностях морфологии клеток астроцитарной и олигодендроглиальной природы, молекулярном — в наличии коделеции 1p/19q у олигодендроглиом. Наиболее важны клинические различия, в частности, олигодендроглиомы являются более чувствительными к терапии, а значит, и имеют более благоприятный прогноз [5]. Эффективная дифференциальная диагностика на дооперационном этапе достаточно важна и реализуется современными методами магнитно-резонансной томографии.

В рутинной практике для решения данной задачи стандартом являются изображения базового МР-протокола, в ходе которого можно выявить наличие феномена T2-FLAIR несоответствия, характерного преимущественно для астроцитом, и кальцинаты, характерные для олигодендроглиом [13]. Однако выявление только этих дифференциальных рентгенологических симптомов опухолей имеет невысокую чувствительность [12] и не является исчерпывающим, в том числе за счет момента субъективности интерпретации. Ежегодно повышается интерес к специализированным МР-методикам, одной из которых является методика амидного протонного переноса (АПП, amide proton transfer,

АРТ). Методика является современной неинвазивной, направлена на определение уровня опухолевого метаболизма за счет возможности определения относительной концентрации мобильных амидных групп [3] и в ряде исследований сравнима по эффективности с позитронно-эмиссионной томографией [10].

Цель: определение возможностей МР-изображений, взвешенных по амидному протонному переносу (АПП-ВИ) в дифференциальной диагностике диффузных астроцитом и олигодендроглиом.

Материалы и методы

Исследование было одобрено локальным Комитетом ФГБОУ ВО ПИМУ Минздрава России по этике (протокол № 12 от 03.11.2023). Информированное согласие было получено от всех участников, включенных в исследование, или их законных представителей.

В исследование включено 26 пациентов, прошедших оперативное лечение по поводу глиом головного мозга в университетской клинике ПИМУ с 2023 по 2025 г. Пациенты были разделены на две группы: астроцитомы (n = 13; 5 женщин, 8 мужчин в возрасте от 22 до 58 лет), включавшую диффузные астроцитомы Grade 2 (n = 7) и Grade 3 (n = 6); олигодендроглиомы (n = 13; 7 женщин и 6 мужчин в возрасте от 24 до 71 года), включавшую диффузные олигодендроглиомы Grade 2 (n = 8) и Grade 3 (n = 5).

Всем пациентам на дооперационном этапе выполнено МРТ-исследование головного мозга. МРТ выполняли на томографе с индукцией магнитного

поля 3 Тл (Ingenia X, Philips Healthcare, Best, Нидерланды) с использованием 32-канальной катушки для головы. Протокол включал стандартные последовательности (T2, T1 до и после контрастного усиления, T2-FLAIR, DWI), SWI (для оценки наличия кальцинатов) и изображения, взвешенные по переносу амидных групп (АПП-ВИ).

Использовались следующие параметры АПП-ВИ: 3D Turbo Spin Echo (TSE), время повторения (TR) = 6306 мс; время эхо-сигнала (TE) = 8,3 мс, угол поворота (FA) = 90°, поле обзора = 230 × 180 мм, размер вокселя сбора данных = 1,8 мм × 1,8 мм × 6 мм, количество срезов = 10, коэффициент параллельного ускорения (SENSE) = 1,6, время сбора данных = 3 мин 53 с. Сбор данных АПП-взвешенных изображений выполнялся до введения контрастного препарата.

Получены карты распределения относительной концентрации свободных амидных групп (КСА) для каждого пациента.

Количественный анализ изображений проводился на рабочей станции Philips (IntelliSpace Portal V10 Philips Healthcare, Бест, Нидерланды). Нами были определены пять круглых областей интереса (площадь ~ 0,2 см²) в каждой зоне головного мозга, определяемой при визуальном осмотре: центральная часть

(ЦЧ) опухоли — область, накапливающая контрастный препарат или с самым низким значением ИКД (при отсутствии накопления) (рис. 1); периферическая часть (ПЧ) опухоли — краевые отделы зоны повышенного на FLAIR сигнала на границе с окружающим, визуально неизменным белым веществом (рис. 2), и контралатеральное неизменное белое вещество (КНБВ). Области интереса были размещены, избегая кистозных, крупных некротических или геморрагических компонентов опухоли, а также кальцинатов, выявленных на стандартных последовательностях. Размещение областей интереса выполнялось на скорегистрированных изображениях. Для статистической обработки отбирались следующие значения как для центральных отделов опухоли, так и для периферической области: среднее, максимальное, минимальное. Кроме того, данные значения были нормализованы по среднему значению в контралатеральном неизменном белом веществе.

Статистическая обработка данных

Статистическая обработка проводилась в программе IBM SPSS v21 statistical software (IBM SPSS, Chicago, IL). Учитывая количественные особенности набора данных, для статистической обработки полученных данных применен

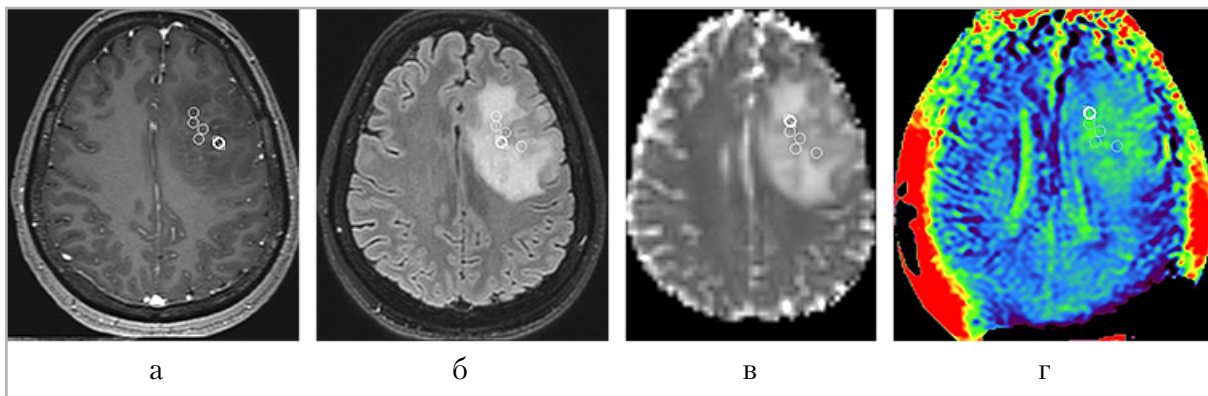


Рис. 1. Пример размещения областей интереса в центральной части опухоли: *а* — T1-взвешенные изображения после контрастного усиления; *б* — T2-FLAIR взвешенные изображения; *в* — ИКД-карта; *г* — изображения, взвешенные по амидному протонному переносу

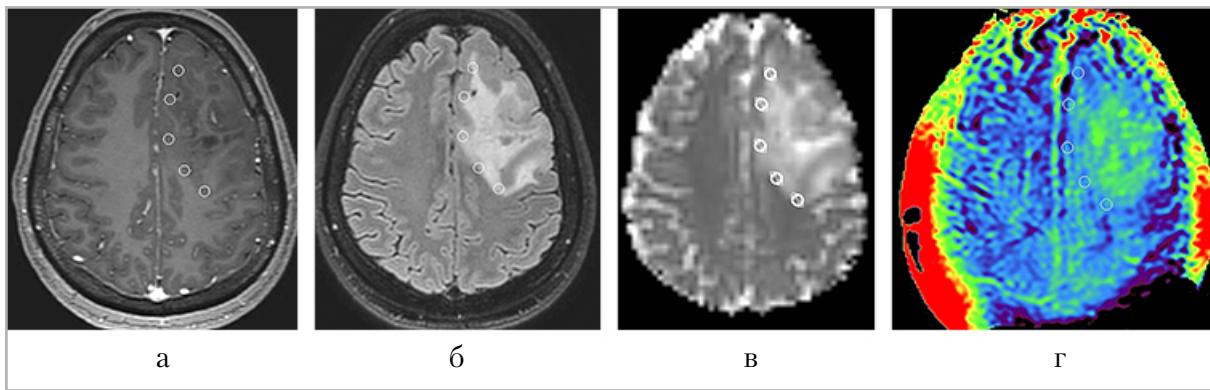


Рис. 2. Пример размещения областей интереса в периферической части опухоли, *а* – T1-взвешенные изображения после контрастного усиления; *б* – T2-FLAIR взвешенные изображения; *в* – ИКД-карта; *г* – изображения, взвешенные по амидному протонному переносу

критерий Манна – Уитни (непараметрический аналог t-критерия) со стандартным для медико-биологических исследований уровнем значимости – 0,05 ($p \leq 0,05$), что соответствует достоверности различий 95 %. Данные статистической обработки представлены в виде Me [Q1; Q3], где Me – медиана, Q1 – 25-й процентиль, Q3 – 75-й процентиль.

Оценка предиктивной способности методом ROC-кривой проводилась [на сайте Center for diagnostics & telemedicine](#), где формировалась кривая, рассчитывались значения чувствительности и специфичности, площадь под кривой (AUC) и отсекающее значение (cutoff).

Результаты

Было проанализировано распределение основных лучевых паттернов, определяемых на стандартных МР-последовательностях, среди пациентов разных групп. Оценивались локализация, наличие интракортикального распространения, кальцинатов (на основании последовательности SWI) и феномена T2/T2-FLAIR несоответствия (T2/T2-FLAIR mismatch) (табл. 1).

Были проанализированы числовые значения сигнала изображений, взвешенных по амидному протонному переносу. Олигодендроглиомы характеризовались несколько более низкими показателями

Таблица 1

Распределение основных рентгенологических симптомов между опухолями разных групп

Рентгенологический симптом	Астроцитомы Grade 2–3, n = 13 (100 %)	Олигодендроглиомы Grade 2–3, n = 13 (100 %)	Результаты ROC-анализа
Локализация (доля)	Лобная – 7 (53 %); височная – 2 (15 %); теменная – 3 (23 %); затылочная – 1 (7 %)	Лобная – 12 (93 %); лобно-теменная – 1 (7 %)	–
Интракортикальное распространение	10 (76 %)	13 (100 %)	AUC 0,615 Sp 23 % Se 100 %

Продолжение таблицы 1

Рентгенологический симптом	Астроцитомы Grade 2–3, n = 13 (100 %)	Олигодендроглиомы Grade 2–3, n = 13 (100 %)	Результаты ROC-анализа
Наличие кальцинатов (по данным SWI)	1 (7 %)	4 (30 %)	AUC 0,628 Sp 92 % Se 33 %
T2/FLAIR несоответствие	6 (46 %)	1 (7 %)	AUC 0,692 Sp 92 % Se 46 %
Накопление контрастного препарата	5 (38 %)	1 (7 %)	AUC 0,654 Sp 92 % Se 38 %

Примечание: Sp – специфичность, Se – чувствительность, AUC – площадь под кривой.

как в центральной части, так и в периферической. Аналогичная тенденция наблюдалась при сравнении нормализованных по белому веществу значений (табл. 2).

Статистически значимые различия были обнаружены между максимальными нормализованными значениями АПП-сигнала в периферической части, $p = 0,009$ (рис. 3).

Для оценки эффективности диагностической способности разброса нормализованных значений сигнала в периферической части и индекса ослабления минимальных значений сигнала АПП-взвешенных изображений в дифференциации астроцитом и олигодендроглиом был проведен анализ ROC-кривой.

Таблица 2

Значения относительной концентрации свободных амидных групп в разных отделах астроцитом и олигодендроглиом

Значение относительной концентрации свободных амидных групп	Астроцитомы Grade 2–3, n = 13	Олигодендроглиомы Grade 2–3, n = 13
Среднее; минимальное; максимальное в ЦЧ (%)	1,85 [1,64; 1,96]; 1,61 [1,32; 1,83]; 2,08 [1,82; 2,14]	1,43 [1,27; 2,55]; 1,23 [0,98; 2,13]; 1,68 [1,40; 2,80]
Среднее; минимальное; максимальное в ПЧ (%)	1,15 [0,84; 1,40]; 0,57 [0,34; 0,75]; 1,76 [1,47; 1,92]	1,08 [0,90; 1,30]; 0,75 [0,48; 0,99]; 1,52 [1,18; 1,95]
Нормализованные среднее; минимальное; максимальное в ЦЧ	3,41 [2,48; 4,70]; 2,71 [2,11; 4,25]; 3,80 [2,75; 5,24]	2,35 [1,98; 3,63]; 1,89 [1,48; 3,45]; 2,71 [2,25; 3,86]
Нормализованные среднее; минимальное; максимальное в ПЧ	2,09 [1,62; 2,85]; 1,19 [0,75; 1,73]; 3,42 [2,82; 4,15]*	1,80 [1,34; 1,97]; 1,08 [0,77; 1,59]; 2,49 [2,05; 2,65]*

Примечание: * – отмечены статистически значимые различия ($p < 0,05$), критерий Манна – Уитни; ЦЧ – центральная часть опухоли; ПЧ – периферическая часть опухоли.

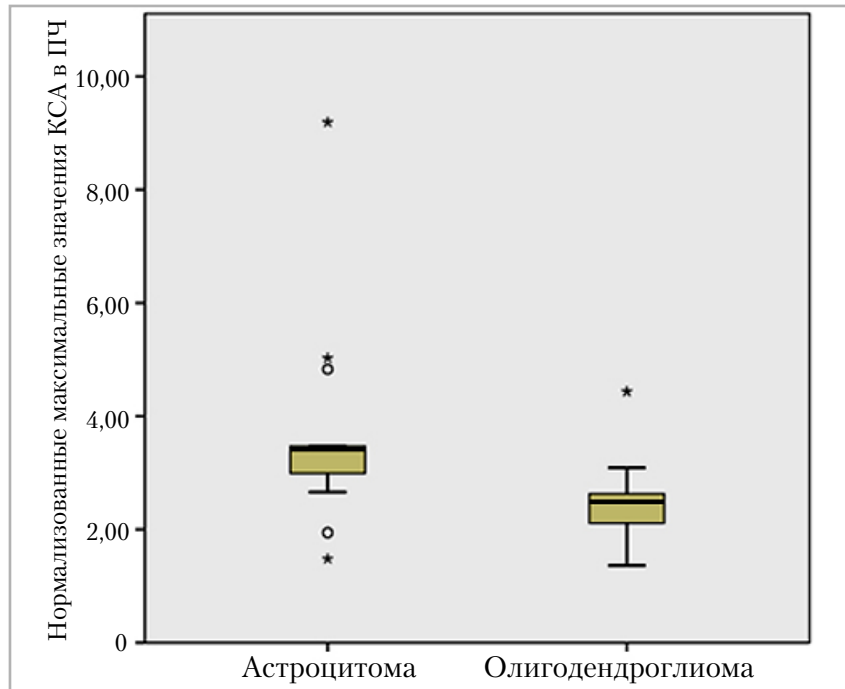


Рис. 3. Диаграммы размаха, демонстрирующие нормализованный разброс значений в периферической части опухолей разных групп

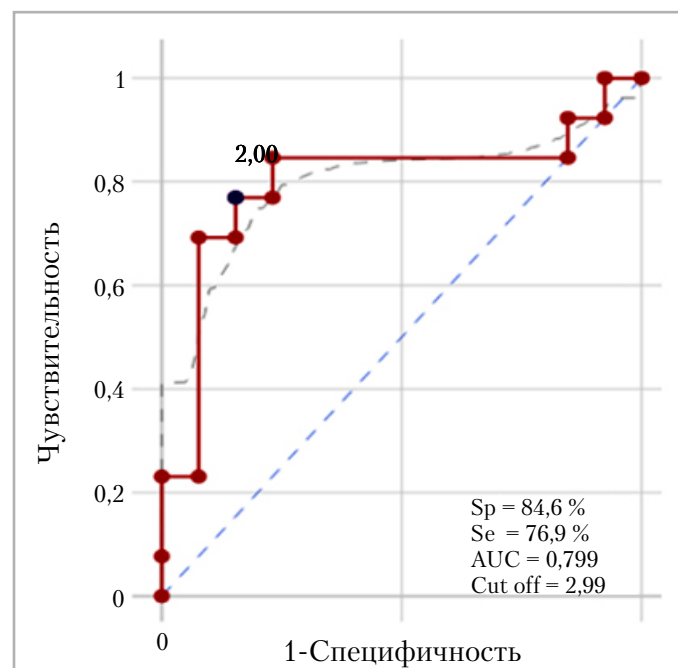


Рис. 4. ROC-анализ: сравнение разброса нормализованных значений сигнала в периферической части опухоли у пациентов с астроцитомами и олигодендроглиомами Grade 2 и 3

Примечание: *Sp* – специфичность; *Se* – чувствительность; *AUC* – площадь под кривой; *Cut off* – пороговое значение.

Пороговое значение нормализованных максимальных значений в периферической части составило 2,99; чувствительность – 76,9 %, специфич-

ность – 84,6 %; площадь под кривой – 0,799 (рис. 4).

Возможности применения амидного протонного переноса в диффе-

ренциальной диагностике астроцитом и олигодендроглиом представлены на примере клинических случаев: опухоли практически неотличимы по сигнальным характеристикам как на стандартных последовательностях, так и на изображениях, взвешенных по амидному протонному переносу, но отличаются показателями нормализованных максимальных значений АПП-сигнала в периферической части опухоли и индекса ослабления минимальных значений АПП-сигнала (рис. 5–8).

Обсуждение

Дифференциальная диагностика внутримозговых опухолей является актуальной задачей нейровизуализации. Наиболее важна дифференциация опухолей с разной тактикой лечения. Считается, что олигодендроглиомы характеризуются более высокой чувствительностью к химиотерапии и лучевой терапии [5, 14].

Ряд исследований также указывают на различную тактику хирургического лечения, в частности, объем резекции олигодендроглиом, как правило, не вли-

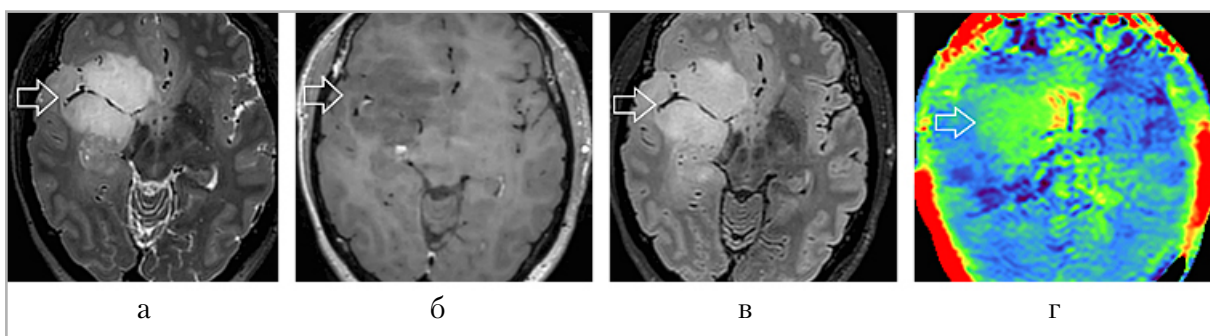


Рис. 5. Женщина, 42 года. МР-изображения головного мозга: *a* – T2-взвешенные изображения; *б* – T1-взвешенные изображения после контрастного усиления; *в* – T2-FLAIR-взвешенные изображения пациента; *г* – изображения, взвешенные по амидному протонному переносу; объемное образование правой лобно-височно-островковой области (*стрелка*), астроцитома IDH-mutant, ICD-O code 9400/3, Grade 2, без признаков симптома T2/T2-FLAIR несоответствия, не накапливающее контрастный препарат, со слабым повышением сигнала на АПП-взвешенных изображениях; нормализованное максимальное значение КСА в периферической части – 3,41

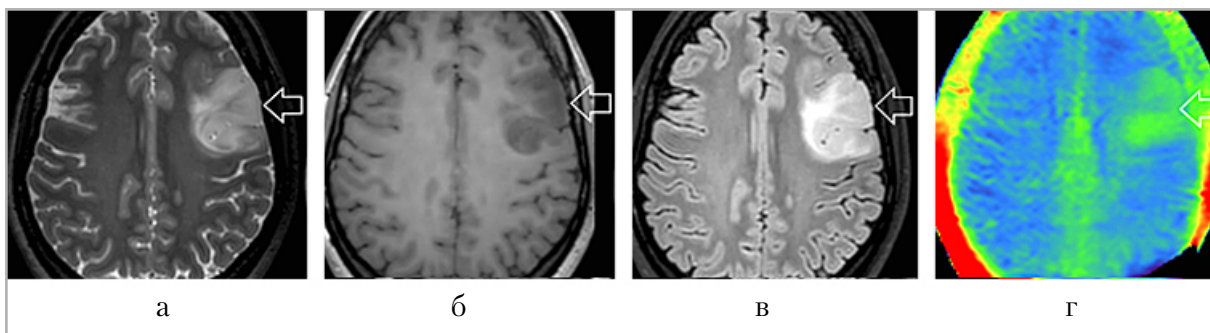


Рис. 6. Женщина, 25 лет. МР-изображения головного мозга: *a* – T2-взвешенные изображения; *б* – T1-взвешенные изображения после контрастного усиления; *в* – T2-FLAIR-взвешенные изображения пациента; *г* – изображения, взвешенные по амидному протонному переносу; объемное образование в левой лобной доле (*стрелка*), олигодендроглиома Grade 2, IDH-mutant, коделеция 1p/19q+, ICD-O code 9450/3, без признаков симптома T2/T2-FLAIR несоответствия, не накапливающее контрастный препарат, со слабым повышением сигнала на АПП-взвешенных изображениях; нормализованное максимальное значение КСА в периферической части – 2,65

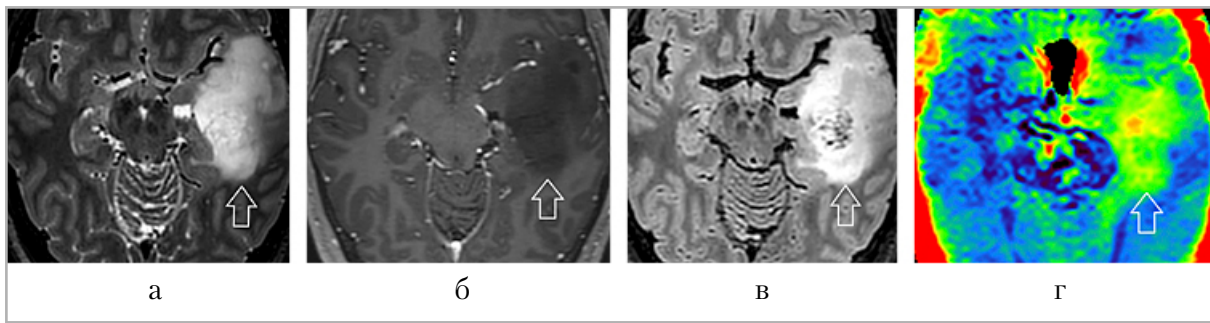


Рис. 7. Мужчина, 23 года. МР-изображения головного мозга: *а* — T2-взвешенные изображения; *б* — T1-взвешенные изображения после контрастного усиления; *в* — T2-FLAIR-взвешенные изображения пациента; *г* — изображения, взвешенные по амидному протонному переносу; объемное образование в левой височной доле (*стрелка*), астроцитома IDH-mutant, ICD-O code 9400/3, Grade 3, без признаков симптома T2/T2-FLAIR несоответствия, не накапливающее контрастный препарат, с умеренным, неоднородным повышением сигнала на АПП-взвешенных изображениях; нормализованное максимальное значение КСА в периферической части — 3,41

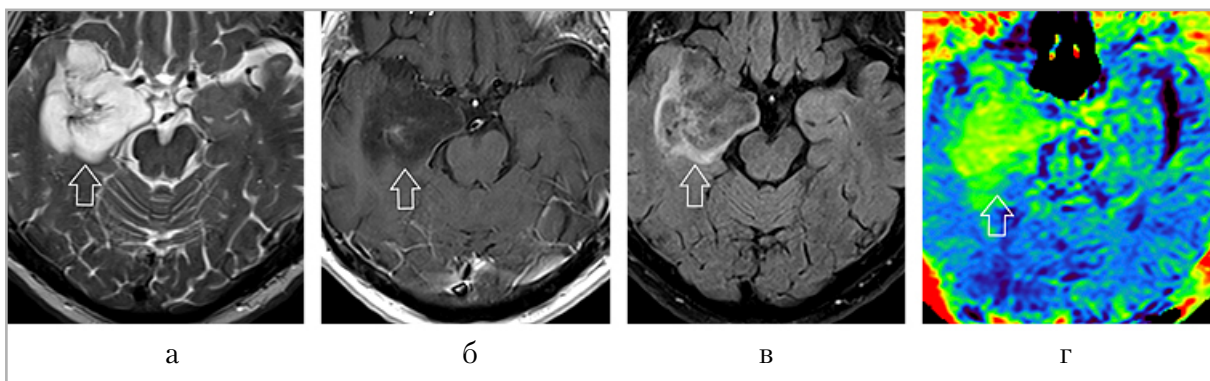


Рис. 8. Мужчина, 70 лет. МР-изображения головного мозга: *а* — T2-взвешенные изображения; *б* — T1-взвешенные изображения после контрастного усиления; *в* — T2-FLAIR-взвешенные изображения пациента; *г* — изображения, взвешенные по амидному протонному переносу. На МР-изображениях головного мозга объемное образование в правой височной доле (*стрелка*) — олигодендроглиома Grade 3, IDH-mutant, коделеция 1p/19q+, ICD-O code 9450/3, с симптомом T2/T2-FLAIR несоответствия, с неоднородным накоплением контрастного препарата в центральных отделах, умеренным неоднородным повышением сигнала на АПП-взвешенных изображениях; нормализованное максимальное значение КСА в периферической части — 2,53

яет на общую выживаемость, в отличие от астроцитом [14]. Поэтому задача предоперационной дифференциальной диагностики астроцитом и олигодендроглиом методами нейровизуализации решается на разных уровнях. На сегодняшний момент по данным стандартного МР-протокола описан ряд рентгенологических особенностей, характерных для того или иного гистологического подтипа [13, 16].

Для олигодендроглиом наиболее характерны интракортимальное распространение, гетерогенный сигнал на T2-взвешенных изображениях, наличие кальцинатов. В исследованной нами группе опухолей наблюдается схожая тенденция — интракортимальное распространение и кальцинаты действительно были выявлены у большей доли олигодендроглиом по сравнению с астроцитами, однако данные ROC-ана-

лиза показывают недостаточную эффективность данных симптомов. Для выявления кальцинатов мы использовали последовательность SWI, чувствительность которой определено ниже по сравнению с МСКТ, поэтому окончательно говорить о роли этого лучевого симптома в дифференциальной диагностике по данным текущего исследования затруднительно.

Астроцитомы характеризуются наличием симптома T2/T2-FLAIR несоответствия [13]. Данный симптом рассматривается как высокоспецифичный, но в то же время встречается лишь у половины астроцитом [12]. Между исследованными нами группами не было выявлено статистически значимых различий, специфичность феномена составила 92,3 % при чувствительности 46,2 %, что в целом укладывается в описанные в литературе пределы [12].

Данный факт, а также отсутствие количественной оценки и сложность интерпретации, возникающая в ряде случаев и требующая коллегиальной оценки [1], являются несомненными минусами и не позволяют использовать симптом T2/T2-FLAIR несоответствия как основной в дифференциальной диагностике астроцитом и олигодендроглиом. В качестве вариантов повышения эффективности оценки МР-изображений стандартного протокола рядом исследователей были предложены методики текстурного анализа и радиомики [11, 18].

Другим направлением в дифференциальной диагностике различных типов опухолей является применение мультипараметрического МР-протокола [4]. Исследование Youn продемонстрировало повышение эффективности МР-исследования при сочетании «стандартного протокола» с T2*-перфузией [16]. Однако проведение МР-перфузии требует наличия дополнительного оборудования и является инвазивной методикой. С другой стороны, более совре-

менные работы [8] свидетельствуют о неэффективности МР-перфузии в дифференциальной диагностике этих двух типов опухолей.

В последнее время научный интерес сфокусирован на МР-методике амидного протонного переноса, которая позволяет достаточно эффективно дифференцировать глиомы с разной степенью злокачественности [7]. В доступной литературе нами была обнаружена одна работа, посвященная теме дифференциальной диагностики гистологических подтипов диффузных глиом взрослого типа на основании данных изображений, взвешенных по амидному протонному переносу. В работе Wu и соавт. использовался анализ изображений с помощью радиомики, однако достаточного уровня эффективности достигнуто не было, площадь под кривой составила 0,63 [15].

В нашей работе при анализе исходных числовых значений АПП-взвешенных изображений достоверных различий между двумя подтипами опухолей также выявлено не было. Причины данных результатов, вполне вероятно, можно объяснить тем, что метаболический фенотип астроцитом и олигодендроглиом в значительной мере пересекается, что в том числе обусловлено некоторыми сходными крупными молекулярными событиями, такими как мутация IDH [5]. Исходные числовые значения АПП-сигнала используются в большей части научных работ, однако ряд исследователей предлагают нормировать значения по неизменному белому веществу по аналогии с МР-перфузией [9].

Целью применения нормализованных значений может являться преодоление индивидуальных факторов пациента, вносящих определенные погрешности в АПП-сигнал, например, возраст, пол, уровень питания, влияющие на уровень метаболизма в целом и церебрального в частности, а значит, и на уровень активности амидных групп, который лежит в основе АПП-сигнала.

Вполне возможно, что нивелирование данных факторов посредством нормирования значений позволило выявить различия между опухолями разных групп, тогда как применение исходных значений оказалось безрезультатным.

Известен факт распространения глиальных опухолевых клеток по всему мозгу, в том числе единичных, и в визуально неизменном белом веществе, что может ставить под сомнение возможность использования контралатерального белого вещества в качестве референсной точки. Однако достаточно крупный воксель сканирования АПП-взвешенных изображений, составляющий в нашем исследовании $1,8 \times 1,8 \times 6,0$ мм, обуславливает достаточно большой объем усреднения сигнала, что позволяет пренебречь теоретическим вкладом в интенсивность от единичных опухолевых клеток. Данное предположение подтверждается тем, что полученный нами уровень АПП-сигнала в КНБВ заметно ниже, чем сигнал в опухоли, а также не различается между опухолями исследованных групп.

Различия были выявлены при использовании нормализованных максимальных значений в периферической части. Они продемонстрировали приемлемые значения чувствительности — 76,9 % и специфичности — 84,6 % при высоком уровне эффективности AUC — 0,799. Учитывая инфильтративный характер роста глиом, периферические отделы как возможный источник прогрессирования, несомненно, должны быть в центре внимания.

Дифференцированный подход к различным компонентам опухоли, основанный на определении характеристик отдельно в центральной части и перитуморальной зоне глиом, применяемый в последнее время в ряде исследований, дает достаточно интересные результаты, направленные как на дифференциальную диагностику глиом, так и на определение границ опухолевой

инфильтрации. Так, с помощью анализа распределения релаксационных характеристик в центральной части опухоли, перифокальной и неизменном белом веществе были выявлены различия между опухолями с разным IDH-статусом [6]. В определении же границ инфильтрации может использоваться диффузионно-куртозисная МРТ. С ее помощью можно выявить признаки наличия опухолевых клеток не только в различных областях опухоли, видимых на стандартных последовательностях, но и в визуально неизменном перитуморальном белом веществе [17].

Проецируя данную информацию на результаты нашего исследования, можно предположить, что АПП-сигнал в периферических отделах изученных опухолей может отражать уровень клеточной инфильтрации и тенденции к распространению. Астроцитомы имели более высокие значения сигнала, что перекликается с клинически более агрессивным течением в сравнении с олигодендроглиомами. В то же время уровень сигнала в центральной части опухолей обоих типов различий не имел, что объяснимо схожим уровнем гистологических характеристик, так как сравнивались идентичные грейды — 2-й и 3-й.

Важно отметить, что использование амидного протонного переноса в вопросе оценки границ опухолевой инфильтрации может быть обусловлено патофизиологическими процессами, происходящими в перитуморальной области, а именно повышенной концентрацией аминокислот [2], то есть ключевым источником сигнала АПП-взвешенных изображений, а значит, является перспективным и требует дальнейшего изучения.

Ограничение нашего исследования — это небольшая выборка пациентов, что пока не позволяет оценить возможности амидного протонного переноса в дифференцировке астроцитом и олигодендроглиом 2-го и 3-го грейда по отдельности.

Заключение

Применение методики амидного протонного переноса (АПП, amide proton transfer, АРТ) может рассматриваться как эффективное дополнение стандартного МР-протокола для дифференциальной диагностики астроцитом и олигодендроглиом 2-й и 3-й степени злокачественности.

Список источников

1. Беляев А. Ю., Усачев Д. Ю., Пронин И. Н., Баталов А. И., Афандиев Р. М., Галстян С. Г. Феномен «несоответствия» режимов T2 и T2-FLAIR как нейровизуализационный биомаркер генетического профиля анапластических астроцитом // Медицинская визуализация. 2021. Т. 25, № 1. С. 147–158. [DOI](#)
2. Гришин А. С., Ачкасова К. А., Кухнина Л. С., Шарова В. А., Остапюк М. В., Яшин К. С. Перитуморальная область астроцитом головного мозга: морфология, молекулярно-генетические особенности и клинические проявления (обзор) // Современные технологии в медицине. 2024. Т. 16, № 2. С. 79–89. [DOI](#)
3. Ключев Е. А., Сухова М. Б., Растеряева М. В., Кухнина Л. С., Зинатуллин Р. Д., Гришин А. С., Остапюк М. В., Медяник И. А., Яшин К. С. Применение изображений, взвешенных по амидному протонному переносу, в стадировании диффузных глиом: проспективное исследование // Лучевая диагностика и терапия. 2025 Т. 16, № 3 С. 46–53. [DOI](#)
4. Талыбов Р. С., Трофимова Т. Н. Дифференциальная диагностика первичных лимфом центральной нервной системы по данным мультипараметрического МРТ-картирования // Лучевая диагностика и терапия. 2022. Т. 13, № 2. С. 36–49. [DOI](#)
5. Antonelli M., Poliani P. L. Adult Type Diffuse Gliomas in the New 2021 WHO Classification. *Pathologica*. 2022;114(6):397-409. [DOI](#)
6. Auer T. A., Kern M., Fehrenbach U., Tanyldizi Y., Misch M., Wiener E. T2 mapping of the Peritumoral Infiltration Zone of Glioblastoma and Anaplastic Astrocytoma. *Neuroradiol. J.* 2021;34(5): 392-400. [DOI](#)
7. Borges De Almeida G., Pascuzzo R., Mambrin F., Aquino D., Verri M., Moscatelli M., Del Bene M., DiMeco F., Silvani A., Pollo B., Grisoli M., Doniselli F. M. The Role of Amide Proton Transfer (APT)-Weighted Imaging in Glioma: Assessment of Tumor Grading, Molecular Profile and Survival in Different Tumor Components. *Cancers*. 2024;16(17):3014. [DOI](#)
8. Gupta M., Gupta A., Yadav V., Parvaze S. P., Singh A., Saini J., Patir R., Vaishya S., Ahlawat S., Gupta R. K. Comparative Valuation of Intracranial Oligodendroglioma and Astrocytoma of Similar Grades Using Conventional and T1-weighted DCE-MRI. *Neuroradiology*. 2021;63(8):1227-1239. [DOI](#)
9. Hou H., Chen W., Diao Y., Wang Y., Zhang L., Wang L., Xu M., Yu J., Song T., Liu Y., Yuan Z. 3D Amide Proton Transfer-Weighted Imaging for Grading Glioma and Correlating IDH Mutation Status: Added Value to 3D Pseudocontinuous Arterial Spin Labelling Perfusion. *Mol. Imaging Biol.* 2023;25(2):343-352. [DOI](#)
10. Inoue A., Watanabe H., Kusakabe K., Nishikawa M., Ohtsuka S., Shiraishi Y., Taniwaki M., Takimoto Y., Matsumoto M., Miyoshi M., Shigekawa S., Kitazawa R., Kido T., Ohnishi T., Takahashi H., Kunieda T. Three-Dimensional Amide Proton Transfer (APT) Imaging Applicable to Navigation Surgery Can Present Comparable Metabolic Activity of Glioblastoma to 11C-Methionine PET. *Acta Neurochir.* 2025;167(1):49. [DOI](#)
11. Kihira S., Derakhshani A., Leung M., Mahmoudi K., Bauer A., Zhang H., Polson J., Arnold C., Tsankova N. M., Hormigo A., Salehi B., Pham N., Ellingson B. M., Cloughesy T. F., Nael K. Multi-Parametric Radiomic Model to Predict 1p/19q Co-Deletion in Patients with IDH-1 Mutant Glioma: Added Value to the T2-

- FLAIR Mismatch Sign. *Cancers*. 2023; 15(4):1037. [DOI](#)
12. Park S. I., Suh C. H., Guenette J. P., Huang R. Y., Kim H. S. The T2-FLAIR Mismatch Sign as a Predictor of IDH-Mutant, 1p/19q-Noncodeleted Lower-Grade Gliomas: A Systematic Review and Diagnostic Meta-Analysis. *Eur. Radiol.* 2021;31(7):5289-5299. [DOI](#)
 13. Van den Bent M. J., Smits M., Kros J. M., Chang S. M. Diffuse Infiltrating Oligodendroglioma and Astrocytoma. *J. Clin. Oncol.* 2017;35(21):2394-2401. [DOI](#)
 14. Van Der Vaart T., Wijnenga M. M. J., Van Garderen K., Dubbink H. J., French P. J., Smits M., Dirven C. M. F., Kros J. M., Vincent A. J. P. E., Van Den Bent M. J. Differences in the Prognostic Role of Age, Extent of Resection, and Tumor Grade between Astrocytoma IDHmt and Oligodendroglioma: A Single-Center Cohort Study. *Clin. Cancer Res.* 2024;30(17):3837-3844. [DOI](#)
 15. Wu M., Jiang T., Guo M., Duan Y., Zhuo Z., Weng J., Xie C., Sun J., Li J., Cheng D., Liu X., Du J., Zhang X., Zhang Y., Liu Y. Amide Proton Transfer-Weighted Imaging and Derived Radiomics in the Classification of Adult-Type Diffuse Gliomas. *Eur. Radiol.* 2023;34(5):2986-2996. [DOI](#)
 16. Yoon H. J., Ahn K. J., Lee S., Jang J. H., Choi H. S., Jung S. L., Kim B. S., Jeun S. S., Hong Y. K. Differential Diagnosis of Oligodendroglial and Astrocytic Tumors Using Imaging Results: The Added Value of Perfusion MR Imaging. *Neuroradiology.* 2017;59(7):665-75. [DOI](#)
 17. Zakharova N. E., Batalov A. I., Pogosbekian E. L., Chekhonin I. V., Goryaynov S. A., Bykanov A. E., Tyurina A. N., Galstyan S. A., Nikitin P. V., Fadeeva L. M., Usachev D. Yu., Pronin I. N. Perifocal Zone of Brain Gliomas: Application of Diffusion Kurtosis and Perfusion MRI Values for Tumor Invasion Border Determination. *Cancers*. 2023;15(10):2760. [DOI](#)
 18. Zhang S., Chiang G. C. Y., Magge R. S., Fine H. A., Ramakrishna R., Chang E. W., Pulisetty T., Wang Y., Zhu W., Kovanlikaya I. MRI Based Texture Analysis to Classify Low Grade Gliomas into Astrocytoma and 1p/19q Codeleted Oligodendroglioma. *Magn. Reson. Imaging.* 2019;57:254-258. [DOI](#)

References

1. Belyaev A. Yu., Usachev D. Yu., Pronin I. N., Batalov A. I., Afandiev R. M., Galstyan S. G. T2/T2-FLAIR Mismatch Sign as a Predictive Biomarker for Anaplastic Astrocytoma Genetic Profile. *Medical Visualization.* 2021;25(1):147-158. (In Russ.). [DOI](#)
2. Grishin A. S., Achkasova K. A., Kukhnina L. S., Sharova V. A., Ostapyuk M. V., Yashin K. S. Peritumoral Brain Zone in Astrocytoma: Morphology, Molecular Aspects, and Clinical Manifestations (Review). *Sovremennye tehnologii v medicine.* 2024;16(2):79-89. (In Russ.). [DOI](#)
3. Kliuev E. A., Sukhova M. B., Rasteryaeva M. V., Kukhnina L. S., Zinatullin R. D., Grishin A. S., Ostapiuk M. V., Medianik I. A., Yashin K. S. Using of Amide Proton Transfer-Weighted Images in the Staging of Diffuse Gliomas: A Prospective Study. *Diagnostic radiology and radiotherapy.* 2025;16(3):46-53. (In Russ.). [DOI](#)
4. Talybov R. S., Trofimova T. N. Differential Diagnosis of Primary Central Nervous System Lymphomas Based on Multiparametric MRT Mapping. *Diagnostic radiology and radiotherapy.* 2022; 13(2):36-49. (In Russ.). [DOI](#)
5. Antonelli M., Poliani P. L. Adult Type Diffuse Gliomas in the New 2021 WHO Classification. *Pathologica.* 2022;114(6): 397-409. [DOI](#)
6. Auer T. A., Kern M., Fehrenbach U., Tanyldizi Y., Misch M., Wiener E. T2 mapping of the Peritumoral Infiltration Zone of Glioblastoma and Anaplastic Astrocytoma. *Neuroradiol. J.* 2021;34 (5):392-400. [DOI](#)
7. Borges De Almeida G., Pascuzzo R., Mambrin F., Aquino D., Verri M., Moscatelli M., Del Bene M., DiMeco F,

- Silvani A., Pollo B., Grisoli M., Doniselli F. M. The Role of Amide Proton Transfer (APT)-Weighted Imaging in Glioma: Assessment of Tumor Grading, Molecular Profile and Survival in Different Tumor Components. *Cancers*. 2024;16(17):3014. [DOI](#)
8. Gupta M., Gupta A., Yadav V., Parvaze S. P., Singh A., Saini J., Patir R., Vaisya S., Ahlawat S., Gupta R. K. Comparative Valuation of Intracranial Oligodendroglioma and Astrocytoma of Similar Grades Using Conventional and T1-weighted DCE-MRI. *Neuroradiology*. 2021;63(8):1227-1239. [DOI](#)
 9. Hou H., Chen W., Diao Y., Wang Y., Zhang L., Wang L., Xu M., Yu J., Song T., Liu Y., Yuan Z. 3D Amide Proton Transfer-Weighted Imaging for Grading Glioma and Correlating IDH Mutation Status: Added Value to 3D Pseudocontinuous Arterial Spin Labelling Perfusion. *Mol. Imaging Biol.* 2023;25(2):343-352. [DOI](#)
 10. Inoue A., Watanabe H., Kusakabe K., Nishikawa M., Ohtsuka S., Shiraishi Y., Taniwaki M., Takimoto Y., Matsumoto M., Miyoshi M., Shigekawa S., Kitazawa R., Kido T., Ohnishi T., Takahashi H., Kunieda T. Three-Dimensional Amide Proton Transfer (APT) Imaging Applicable to Navigation Surgery Can Present Comparable Metabolic Activity of Glioblastoma to ¹¹C-Methionine PET. *Acta Neurochir.* 2025;167(1):49. [DOI](#)
 11. Kihira S., Derakhshani A., Leung M., Mahmoudi K., Bauer A., Zhang H., Polson J., Arnold C., Tsankova N. M., Hormigo A., Salehi B., Pham N., Ellingson B. M., Cloughesy T. F., Nael K. Multi-Parametric Radiomic Model to Predict 1p/19q Co-Deletion in Patients with IDH-1 Mutant Glioma: Added Value to the T2-FLAIR Mismatch Sign. *Cancers*. 2023;15(4):1037. [DOI](#)
 12. Park S. I., Suh C. H., Guenette J. P., Huang R. Y., Kim H. S. The T2-FLAIR Mismatch Sign as a Predictor of IDH-Mutant, 1p/19q-Noncodeleted Lower-Grade Gliomas: A Systematic Review and Diagnostic Meta-Analysis. *Eur. Radiol.* 2021;31(7):5289-5299. [DOI](#)
 13. Van den Bent M. J., Smits M., Kros J. M., Chang S. M. Diffuse Infiltrating Oligodendroglioma and Astrocytoma. *J. Clin. Oncol.* 2017;35(21):2394-2401. [DOI](#)
 14. Van Der Vaart T., Wijnenga M. M. J., Van Garderen K., Dubbink H. J., French P. J., Smits M., Dirven C. M. F., Kros J. M., Vincent A. J. P. E., Van Den Bent M. J. Differences in the Prognostic Role of Age, Extent of Resection, and Tumor Grade between Astrocytoma IDHmt and Oligodendroglioma: A Single-Center Cohort Study. *Clin. Cancer Res.* 2024;30(17):3837-3844. [DOI](#)
 15. Wu M., Jiang T., Guo M., Duan Y., Zhuo Z., Weng J., Xie C., Sun J., Li J., Cheng D., Liu X., Du J., Zhang X., Zhang Y., Liu Y. Amide Proton Transfer-Weighted Imaging and Derived Radiomics in the Classification of Adult-Type Diffuse Gliomas. *Eur. Radiol.* 2023;34(5):2986-2996. [DOI](#)
 16. Yoon H. J., Ahn K. J., Lee S., Jang J. H., Choi H. S., Jung S. L., Kim B. S., Jeun S. S., Hong Y. K. Differential Diagnosis of Oligodendroglial and Astrocytic Tumors Using Imaging Results: The Added Value of Perfusion MR Imaging. *Neuroradiology*. 2017;59(7):665-75. [DOI](#)
 17. Zakharova N. E., Batalov A. I., Pogosbekian E. L., Chekhonin I. V., Goryaynov S. A., Bykanov A. E., Tyurina A. N., Galstyan S. A., Nikitin P. V., Fadeeva L. M., Usachev D. Yu., Pronin I. N. Perifocal Zone of Brain Gliomas: Application of Diffusion Kurtosis and Perfusion MRI Values for Tumor Invasion Border Determination. *Cancers*. 2023;15(10):2760. [DOI](#)
 18. Zhang S., Chiang G. C. Y., Magge R. S., Fine H. A., Ramakrishna R., Chang E. W., Pulisetty T., Wang Y., Zhu W., Kovanlikaya I. MRI Based Texture Analysis to Classify Low Grade Gliomas into Astrocytoma and 1p/19q Codeleted Oligodendroglioma. *Magn. Reson. Imaging*. 2019;57:254-258. [DOI](#)

Сведения об авторах / Information about the authors

Клюев Евгений Александрович, врач-рентгенолог ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Нижний Новгород, Россия.

Вклад автора: концепция и план исследования, сбор и анализ данных, написание текста статьи и подготовка к публикации.

Kliuev Evgenii Aleksandrovich, radiologist, FSBEI HE «Privolzhsky Research Medical University» MOH Russia, Nizhny Novgorod, Russia.

Author's contribution: conceptualization, writing the text draft, aided in the concept and plan of the study; preparation of the manuscript.

Сухова Марина Борисовна, доктор медицинских наук, и. о. заведующей кафедрой лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; профессор кафедры ядерной и экспериментальной медицины Института биологии и биомедицины ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского», Нижний Новгород, Россия.

Вклад автора: концепция и план исследования, написание текста статьи и подготовка к публикации.

Sukhova Marina Borisovna, Dr. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radiology of FSBEI HE «Privolzhsky Research Medical University» MOH Russia; Professor of the Department of Nuclear and Experimental Medicine at the Institute of Biology and Biomedicine the Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia.

Author's contribution: conceptualization; writing the text draft, preparation of the manuscript.

Растеряева Марина Вячеславовна, кандидат медицинских наук, заведующая отделением рентгенологии ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Нижний Новгород, Россия.

Вклад автора: концепция и план исследования, сбор и анализ данных.

Rasteryaeva Marina Viacheslavovna, Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radiology (University Clinic) FSBEI HE «Privolzhsky Research Medical University» MOH Russia, Nizhny Novgorod, Russia.

Author's contribution: conceptualization, aided in the concept and plan of the study.

Гришин Артем Сергеевич, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры патологической анатомии ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Нижний Новгород, Россия.

Вклад автора: сбор и анализ данных, написание текста статьи.

Grishin Artyom Sergeevich, Cand. of Sci. (Med.), Assistant of the Department of Pathological Anatomy FSBEI HE «Privolzhsky Research Medical University» MOH Russia, Nizhny Novgorod, Russia.

Author's contribution: writing the text draft, aided in the concept and plan of the study.

Яшин Константин Сергеевич, кандидат медицинских наук, врач-нейрохирург ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Нижний Новгород, Россия.

Вклад автора: концепция и план исследования, написание текста статьи и подготовка к публикации.

Yashin Konstantin Sergeevich, Cand. of Sci. (Med.), neurosurgeon FSBEI HE «Privolzhsky Research Medical University» MOH Russia, Nizhny Novgorod, Russia.

Author's contribution: conceptualization; writing the text draft, preparation of the manuscript.

Статья поступила в редакцию 30.10.2025;
одобрена после рецензирования 30.12.2025;
принята к публикации 30.12.2025.

The article was submitted 30.10.2025;
approved after reviewing 30.12.2025;
accepted for publication 30.12.2025.