

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННОСТИ ГЛИАЛЬНЫХ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Д.К. ТОЛЕШБАЕВ^{1,2}, А.С. АЙНАКУЛОВА^{1,2}, Ж.К. ЖАКЕНОВА², К.А. АКИМТАЙ²,
Г.Б. МЫРЗАБАЕВА², А.Б. РАМАЗАН², Ж.Ж. ЖОЛДЫБАЙ²

¹АО «Казахский научно-исследовательский институт онкологии и радиологии», Алматы, Республика Казахстан;

²НАО «Казахский национальный медицинский университет им. С. Д. Асфендиярова», Алматы, Республика Казахстан

АННОТАЦИЯ

Актуальность: Глиомы представляют собой основную группу первичных опухолей центральной нервной системы и составляют около 80% от всех злокачественных новообразований головного мозга. Современные достижения в области молекулярной диагностики, включая идентификацию мутаций в гене изоцитратдегидрогеназы (IDH), открывают новые возможности для улучшения классификации глиом и понимания механизмов их развития. Мутации IDH, обнаруженные в значительной части глиом, связаны с лучшим прогнозом и представляют собой важный биомаркер, способствующий разработке целенаправленных терапевтических стратегий. Также важную роль играют методы диагностики, в частности магнитно-резонансная томография (МРТ), которые обеспечивают дополнительные возможности для оценки морфологических и биологических характеристик глиом, способствуя более точному определению степени злокачественности опухолей и их молекулярного профиля, что имеет ключевое значение для принятия решений о лечении.

Цель исследования – изучить возможности магнитно-резонансной томографии в оценке степени злокачественности глиальных опухолей головного мозга.

Методы: Проведен литературный обзор по ключевым словам: глиома, мутация IDH, дикий тип IDH, МРТ, магнитно-резонансная спектроскопия (MRS), аппаратный коэффициент диффузии (ADC), диффузионно-взвешенная визуализация (DWI), диффузионно-тензорная визуализация (DTI), диффузионное куртозное изображение (DKI), взвешенность по магнитной восприимчивости (SWI) в базах данных PubMed, BMC Medicine и Google Scholar. Обзор включает результаты анализа 45 литературных источников, рассматривающих диагностические возможности молекулярной диагностики и МРТ для оценки степени злокачественности глиом.

Результаты: В данном обзоре подчеркивается значимость современных подходов к диагностике глиом. Отмечается, что различные степени злокачественности и мутационный статус IDH ассоциируются с уникальными особенностями на МРТ-изображениях, включая различия в локализации, сигналах и паттернах усиления. DTI и DWI расширяют возможности МРТ для оценки микроструктуры ткани, позволяя точнее определять характеристики опухоли. Исследования, сочетающие морфологические характеристики МРТ, параметры ADC и DTI, предлагают неинвазивный подход к прогнозированию глиом, подчеркивая важность интегрированного использования методов визуализации для улучшения диагностики и терапии.

Заключение: Применение магнитно-резонансной томографии позволяет более точно определять морфологические и метаболические характеристики глиом в оценке степени злокачественности, позволяя врачам делать более точные прогностические оценки и выбирать наиболее подходящую стратегию лечения.

Ключевые слова: глиома, мутация IDH, дикий тип IDH, МРТ, магнитно-резонансная спектроскопия, ADC, DWI, DTI, DKI, SWI.

Введение: Глиомы представляют собой основную группу первичных опухолей центральной нервной системы (ЦНС) [1]. Эти опухоли классифицируются на основании гистопатологической оценки на глиомы низкой степени (LGG) и глиомы высокой степени (HGG), где LGG обычно демонстрируют хорошую дифференциацию, в отличие от HGG, которые характеризуются плохой дифференциацией и, как следствие, более неблагоприятным прогнозом [2]. Однако, недавние исследования подчеркивают ограничения традиционной гистопатологической классификации, выявляя значительную гетерогенность глиом, что усложняет их точную диагностику посредством стандартных методов, таких как анализ маркеров пролиферации и морфологии клеток [3].

В значительной реформе классификации опухолей ЦНС Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) 2007 года была представлена градация глиом от I до IV

степени в зависимости от их гистологии, включая такие основные типы, как астроцитомы, олигодендроглиомы и эпендимомы [4]. Революционным шагом стало введение в 2016 году результатов молекулярной диагностики в качестве важного диагностического критерия классификации глиом, что было еще более развито в последующем руководстве 2021 года, подчеркнувшем ценность молекулярной диагностики для определения подгрупп глиом [4, 5]. Это изменение подтверждает важность молекулярной диагностики в классификации опухолей ЦНС, дополняя традиционные методы, такие как гистология и иммуногистохимия.

Исследования с 2008 года подчеркивают значимость изоцитратдегидрогеназы (IDH) как важного молекулярного маркера в онкологии, особенно после обнаружения мутаций IDH1 у пациентов с глиобластомой, а затем и мутаций IDH1 и IDH2 в глиомах второй и третьей степени. Наличие мутаций IDH ассоциируется с более благоприятным

ятным прогнозом в сравнении с глиомами без этих мутаций, что делает их значимым элементом для определения клинической тактики и выбора метода лечения [6].

Тем не менее точное предоперационное различие между степенями и подтипами глиом остается сложной задачей, ограниченной чувствительностью и специфичностью существующих методов [7]. В этом контексте, методы визуализации, особенно МРТ, представляют собой ценный инструмент для дополнительной диагностики и молекулярной классификации глиом, предлагая возможности для более точного прогнозирования исходов заболевания и планирования лечения [8].

Цель исследования – изучить возможности магнитно-резонансной томографии в оценке степени злокачественности глиальных опухолей головного мозга.

Материалы и методы: В данный литературный обзор включены статьи и литературные обзоры, посвященные возможностям современных методик МРТ в нейровизуализации. Поиск данных проводился в системах PubMed, BMC medicine, google scholar с использованием ключевых слов глиома, мутация IDH, дикий тип IDH, MPT, MRS, ADC, DWI, DTI, DKI, SWI в базе данных. Всего было найдено 116 публикаций, из них 45 источников включены в данный обзор (рисунок 1).

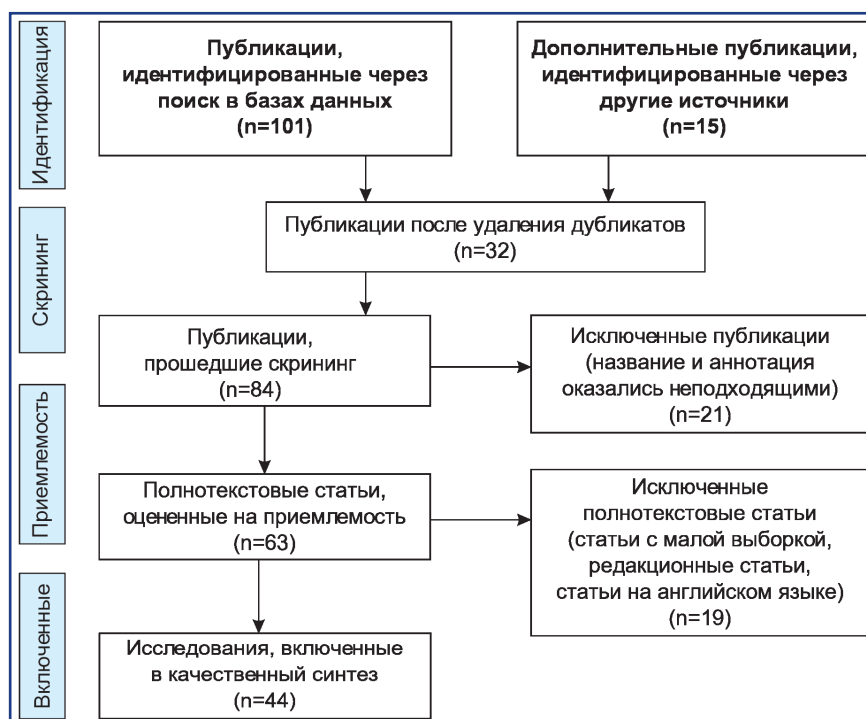


Рисунок 1 – Алгоритм отбора источников

Результаты: МРТ остается методом выбора для визуализации глиом, позволяя получить детальные морфологические характеристики и данные усиления опухоли. Исследования подтверждают, что глиомы разной степени злокачественности и с различным мутационным статусом IDH демонстрируют уникальные особенности на МРТ-изображениях, включая различия в локализации, сигналах и усилениях, которые могут служить важными диагностическими маркерами [9]. Например, специфичность несоответствия сигналов на T2-FLAIR для астроцитом с мутацией IDH достигает почти 100% в некоторых исследованиях, однако количественная оценка морфологических характеристик остается сложной задачей для точного предсказания степени глиом и их молекулярных подтипов [10].

Исследования, объединяющие морфологические характеристики МРТ и значения с ADC для прогнозирования степеней глиом и мутационного статуса IDH, подчеркивают значимость возраста пациентов в диагностическом процессе [11]. Определено, что глиомы с диким типом IDH преимущественно встречаются у более старших пациентов, при этом возраст связан с худшим прогнозом для глиомы. Некоторые авторы указывают, что пациенты HGG в среднем старше, чем те, кто страдает от LGG [12]. В частности, возраст от 60 лет и

старше был идентифицирован как независимый фактор риска для прогнозирования HGG и глиом дикого типа IDH, подчеркивая, что возраст может сыграть ключевую роль в определении стратегий лечения [13].

Патофизиологические изменения, связанные с нарушением гематоэнцефалического барьера, являются причиной контрастного усиления на МРТ-изображениях глиом [14, 15]. Уровень этого усиления в значительной степени зависит от степени повреждения барьера, что делает МРТ-особенности усиления важным индикатором злокачественности глиом [16]. Исследования показали, что большинство HGG и глиом дикого типа IDH проявляют кольцевое усиление, тогда как LGG и с мутацией IDH чаще характеризуются гиповаскулярностью [11, 13, 17]. Эти различия в усилении могут служить дополнительным критерием для дифференциации между подтипами глиом.

Расположение опухоли и ее распределение влияют на прогноз и планирование лечения пациентов с глиомой. Было обнаружено, что LGG чаще затрагивают одну долю мозга, в то время как HGG могут распространяться на несколько долей, включая мозолистое тело и островок [13]. Особенно интересно, что глиомы с мутацией IDH предпочитают определенные локализации, такие как лобная и височная доли, и реже раз-

виваются в высокорисковых областях [18, 19]. Qi S. с соавторами проанализировали ген-фенотип 193 астроцитом и обнаружили, что глиомы с мутацией IDH в основном локализованы в одной доле, такой как височная доля, лобная доля или мозжечок. Опухоли дикого типа IDH располагались в комбинированных долях, таких как ствол мозга или диэнцефалон ($p < 0,001$) [17]. Wang Y. с соавторами показали, что расположение опухоли в лобной доле односторонне высоко коррелировало с глиомами с мутацией IDH ($p < 0,001$) [18]. Gozè C. с соавторами обнаружили, что 100% LGG с центрами в островке были с мутациями IDH [19].

DWI выделяется как важная МРТ-последовательность, обеспечивающая ценные сведения для идентификации и дифференциальной диагностики различных форм рака, включая глиомы. Этот метод основан на измерении ограничения диффузии воды в тканях, которое увеличивается с ростом клеточности опухоли. Расчет ADC из DWI предоставляет быструю и эффективную оценку, способствующую классификации глиом и даже типированию их по наличию мутации IDH. Однако использование единичных DWI-параметров часто недостаточно для определения степени опухоли или ее молекулярных подтипов без дополнительного контекста.

Исследования, проведенные Du N. и Chen L., показали, что значение ADC инверсно коррелирует с количеством опухолевых клеток в глиомах, при этом значения ADC у глиом высокой степени злокачественности оказались ниже, чем у глиом низкой степени [12, 20]. Это свидетельствует о повреждении структуры белого вещества и ограничении диффузии воды в более агрессивных опухолях. В свою очередь, глиомы дикого типа IDH демонстрировали более низкие значения ADC по сравнению с глиомами с мутацией IDH, подчеркивая различия в клеточной плотности и структуре [21]. Patel S. с соавторами отметили, что гистологически наблюдаемые микрокисты, как правило, увеличивались в случаях LGG с мутацией IDH, что могло объяснить более высокие значения ADC в этих случаях, но патофизиологический механизм необходимо было дополнительно изучить [22].

Применение многовариантных логистических регрессионных моделей, включающих возраст, параметры ADC и качественные характеристики МРТ, позволило достичь более высокой точности в различении LGG и HGG, а также в идентификации мутационного статуса IDH [13]. Таким образом, DWI представляет собой мощный инструмент количественной визуализации, способный неинвазивно отражать клеточную структуру через измерение коэффициента диффузии ADC. Исследования демонстрируют, что отек, некроз и кровоизлияния в глиомах тесно связаны с неблагоприятным прогнозом [23]. Морфологические особенности глиом на МРТ, включая степени и мутационный статус IDH, могут значительно варьироваться, влияя на прогностическую оценку. HGG чаще демонстрируют кистозные поражения и кровоизлияния, что может быть обусловлено повышенной микрососудистой плотностью и инвазивностью этих опухолей [13]. Исследование Du N. с соавторами указывает на отсутствие существенной разницы между глиомами с мутацией IDH и глиомами дикого типа по показателям кистозного поражения, кровоизлияния и перитуморального отека [13]. Однако другое исследование, проведенное Lasocki A. с соавторами, подчеркивает статистически значимую разницу в степени

отека между глиомами с мутацией IDH и без неё, обнаруживая, что у пациентов с мутацией IDH степень отека составляла 5-33%, в то время как у большинства пациентов дикого типа IDH степень отека была $> 33\%$ (44% пациентов дикого типа IDH имели степень отека 34-67% и 14% имели степень отека 68-95%) [24]. Интересно, что у пациентов с диким типом IDH1 была тенденция к кровоизлиянию по сравнению с пациентами с мутацией IDH1 (15 против 5; $p = 0,286$) [25]. Это может указывать на биологические различия между этими группами глиом и их влияние на клинические исходы.

Исследования подчеркивают, что мутации IDH могут влиять на активацию фактора, индуцируемого гипоксией 1-альфа (HIF-1 α), приводя к подавлению ангиогенеза [26]. Анализ характеристик перфузии крови может способствовать оценке прогноза для глиом с разным мутационным статусом IDH. Применение динамической контрастной перфузионной визуализации (DSC-PWI) для измерения относительного объема крови (rCBV) предоставляет важную неинвазивную информацию о микроциркуляции в опухолях [27, 28].

Исследования показали, что показатель rCBV в мозге существенно различается между глиомами с мутацией IDH и диким типом. Xing Z. с соавторами выявили, что rCBV в глиобластомах с мутацией IDH значительно меньше по сравнению с опухолями дикого типа IDH [28]. Отмечается, что опухоли без мутации IDH связаны с более высоким rCBV [27]. Эти данные подчеркивают значительный потенциал rCBV в оценке ангиогенной активности опухолей с различными фенотипами IDH, где более высокие показатели коррелируют с усиленной васкуляризацией.

DTI, расширяющая возможности DWI, позволяет измерять диффузию воды в нескольких направлениях, что важно для прогнозирования прогрессирования и рецидивов глиом. Исследование Xiong J. с соавторами на образцах олигодендроглиом показало, что минимальный ADC и максимальные значения дробной анизотропии могут различать глиомы по статусу IDH [29].

Считается, что DKI может более точно отражать сложность диффузии воды и гетерогенность ткани опухоли по сравнению с DTI, благодаря чему DKI показывает лучшие результаты в выявлении микроструктурных изменений в глиомах разных степеней и генотипов [30]. Исследование, проведенное Tan Y. с соавторами по 58 случаям астроцитом, показало, что показатели DKI, такие как аксиальная, радиальная и средняя куртоза, были значительно ниже у астроцитом с мутацией IDH по сравнению с опухолями дикого типа, что указывает на их полезность в оценке прогноза заболевания [31]. Аналогичные исследования Zhao J. с соавторами, со сравнением параметров DKI у HGG и LGG также выявили более низкие значения этих параметров у LGG глиом, подчеркивая их диагностическую значимость, особенно аксиальной куртозы, в определении статуса IDH с высокой чувствительностью и специфичностью [32]. Эти параметры также показали положительную корреляцию с уровнем Ki-67, что подтверждает их важность в оценке агрессивности опухоли [33].

MRS выявляет, что 2-гидроксиглутарат (2-ГГ), сигнальный метаболит, ассоциированный с мутациями IDH, коррелирует с пролиферацией опухолевых клеток. Этот метод предоставляет возможность неинвазивного определения мутационного статуса IDH и измерения уровня 2-ГГ, что важно для генотипирования глиом.

Наблюдается, что мутированный IDH2 может производить больше 2-ГГ, чем мутированный IDH1 [34]. Однако сложность спектрального анализа *in vivo* может вести к диагностическим затруднениям [35]. Исследование Choi C. с соавторами показало, что снижение уровня 2-ГГ может свидетельствовать об эффективности лечения, особенно в случаях олигодендроглиом [35]. Также в исследовании, проведенном Yano H. с соавторами, отношения холина (Cho)/креатина (Cr), Cho/N-ацетиласпартата (NAA) значительно различались между группой мутированной IDH и группой IDH дикого типа. Снижение соотношения Cho/Cr или Cho/NAA при глиомах с нечеткими границами позволяет предположить наличие IDH-дикого типа [36].

SWAN/SWI – это метод МРТ, который используется для визуализации кровеносных сосудов и кровоизлияний с высоким разрешением. SWI без контрастных веществ может неинвазивно указывать нормальную или внутриопухолевую интенсивность сигнала чувствительности (ITSS), связанную со степенью опухоли. Исследование Yang X. и соавторов показало, что показатели ITSS имели значительную разницу между астроцитомами с мутацией IDH 2 + 3 и 4 степени, что позволяет предположить, что ITSS может служить потенциальным биомаркером для классификации астроцитарных глиом с мутацией IDH [37]. Аналогичным образом, результаты исследования Lin Y. и соавторов указывают на значительную разницу в ITSS между классами, предполагая, что ITSS могут быть ценным биомаркером для точной диагностики HGG [38].

Радиомика, представляющая собой инновационное направление в медицинской науке, фокусируется на прогнозировании и извлечении медицинских знаний путем анализа количественных данных из медицинских изображений. Этот подход выделяется как ценный дополнительный клинический инструмент благодаря его неинвазивности и способности к комплексной оценке трехмерной структуры опухоли, включая её пространственную гетерогенность. В то время как МРТ традиционно используется для первичной диагностики и оценки после лечения, радиомика расширяет возможности этой технологии, внося вклад в предоперационную градацию и прогнозирование мутационных фенотипов IDH [39]. Были разработаны многочисленные радиомические модели, специфично связанные со статусом мутации IDH в LGG и HGG [24, 40, 41]. Отмечено, что глиомы дикого типа IDH демонстрируют большее постконтрастное усиление по сравнению с глиомами, имеющими мутацию IDH [24]. Дальнейшие исследования, например, работа Liu X. с соавторами, углубились в анализ этих различий, рассматривая количественные характеристики изображений МРТ в 158 случаях LGG и HGG с разным мутационным статусом IDH, где 14 характеристик изображений были ключевыми для прогнозирования мутационного статуса [42]. Несмотря на текущие достижения, значение радиомики как прогностического фактора для пациентов с глиомами продолжает изучаться. Исследования, такие как работы Li Z. и Reeken J., подчеркивают потенциал радиомики в улучшении прогностической модели для глиом, интегрируя патологические, клинические и радиомические данные [43, 44]. В будущем ожидается, что дальнейшее развитие радиомики, увеличение объемов данных и усовершенствование математических моделей значительно улучшат точность диагностики и индивидуализи-

зированного подхода к лечению глиом, внося вклад в более точное прогнозирование исходов заболевания.

Обсуждение: В данном обзоре освещены современные подходы к диагностике и классификации глиом, акцентируя внимание на значении молекулярной диагностики и прогрессивных методах визуализации. Глиомы, составляющие основную долю первичных опухолей ЦНС, представляют собой гетерогенную группу заболеваний с различной степенью агрессивности и прогнозом. Традиционная классификация, основанная на гистопатологии, в последнее время дополняется молекулярными исследованиями, что значительно улучшило стратификацию пациентов и планирование лечения [4].

Важность молекулярных маркеров, таких как мутации IDH, для прогноза исхода заболевания и реакции на лечение уже хорошо документирована [6]. Мутации IDH служат не только важным прогностическим индикатором, но и определяют новую подгруппу глиом с относительно благоприятным исходом. Таким образом, интеграция молекулярной диагностики в клиническую практику является ключевым шагом в направлении персонализированной медицины для пациентов с глиомами.

МРТ играет центральную роль в диагностике глиом, предоставляя ценную информацию о размере, форме, местоположении опухоли и ее отношении к критически важным структурам головного мозга. Развитие технологий визуализации, включая DWI и MRS, расширило возможности МРТ в оценке биологических характеристик опухоли, таких как клеточная плотность и метаболический профиль [45]. Эти методы могут обеспечить дополнительную информацию, помогающую различать глиомы разной степени злокачественности и определять их молекулярный статус.

Применение радиомики к МРТ-данным позволяет не только улучшить точность диагностики, но и способствует разработке прогностических моделей, способных предсказывать исход заболевания на основе неинвазивной визуализации [45].

Таким образом, интеграция молекулярной диагностики и современных методов визуализации представляет собой многообещающий подход к улучшению управления пациентами с глиомами. Это сочетание позволяет не только более точно классифицировать опухоли, но и предоставляет важную информацию для выбора наиболее подходящего лечения, учитывая индивидуальные характеристики опухоли и пациента. В будущем, благодаря продолжающемуся развитию в области молекулярной биологии и медицинской визуализации, можно ожидать дальнейшего совершенствования стратегий лечения глиом, в том числе через разработку новых целевых терапий, основанных на специфических биомаркерах опухоли.

Заключение: Характеристики МРТ были связаны со степенями злокачественности глиом и статусом мутации IDH. Множественные логистические регрессионные модели, сочетающие морфологические характеристики МРТ и параметры ADC, могут предоставить неинвазивный и предоперационный подход для предсказания степеней злокачественности глиом и статуса мутации IDH. МРТ широко используется для предоперационной оценки и последующего наблюдения за глиомами, предоставляет информацию, важную для определения степени злокачественности опухоли. Злокачественность глиомы определяет выбор плана хирургического лечения и прогноз для пациентов.

Список использованных источников:

- Weller M., van den Bent M., Tonn J.C., Stupp R., Preusser M., Cohen-Jonathan-Moyal E., Henriksson R., Le Rhun E., Balana C., Chinot O., Bendszus M., Reijneveld J.C., Dhermain F., French P., Marosi C., Watts C., Oberg L., Pilkington G., Baumert B.G., Taphoorn M.J.B., Hegi M., Westphal M., Reifenberger G., Soffietti R., Wick W. European Association for Neuro-Oncology (EANO) Task Force on Gliomas. European Association for Neuro-Oncology (EANO) guideline on the diagnosis and treatment of adult astrocytic and oligodendroglial gliomas // *Lancet Oncol.* - 2017. - Vol. 18, № 6. - P. 315-329. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30194-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30194-8)
- Eckel-Passow J.E., Lachance D.H., Molinaro A.M., Walsh K.M., Decker P.A., Sicotte H., Pekmezci M., Rice T., Kosel M.L., Smirnov I.V., Sarkar G., Caron A.A., Kollmeier T.M., Praska C.E., Chada A.R., Halder C., Hansen H.M., McCoy L.S., Bracci P.M., Marshall R., Zheng S., Reis G.F., Pico A.R., O'Neill B.P., Buckner J.C., Giannini C., Huse J.T., Perry A., Tihan T., Berger M.S., Chang S.M., Prados M.D., Wiemels J., Wiencke J.K., Wrensch M.R., Jenkins R.B. Glioma Groups Based on 1p/19q, IDH, and TERT Promoter Mutations in Tumors // *N. Engl. J. Med.* - 2015. - Vol. 372, №26. - P. 2499-2508. <https://doi.org/10.1056/NEJ-Moa1407279>
- Louis D.N., Perry A., Burger P., Ellison D.W., Reifenberger G., von Deimling A., Aldape K., Brat D., Collins V.P., Eberhart C., Figarella-Branger D., Fuller G.N., Giangaspero F., Giannini C., Hawkins C., Kleihues P., Korshunov A., Kros J.M., Beatriz Lopes M., Ng H.K., Ohgaki H., Paulus W., Pietsch T., Rosenblum M., Rushing E., Soylemezoglu F., Wiestler O., Wesseling P. International Society Of Neuropathology-Haarlem consensus guidelines for nervous system tumor classification and grading // *Brain Pathol.* - 2014. - Vol. 24, № 5. - P. 429-435. <https://doi.org/10.1111/bpa.12171>
- Louis D.N., Perry A., Reifenberger G., von Deimling A., Figarella-Branger D., Cavenee W.K., Ohgaki H., Wiestler O.D., Kleihues P., Ellison D.W. The 2016 World Health Organization Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary // *Acta Neuropathol.* - 2016. - Vol. 131, № 6. - P. 803-820. <https://doi.org/10.1007/s00401-016-1545-1>
- Louis D.N., Perry A., Wesseling P., Brat D.J., Cree I.A., Figarella-Branger D., Hawkins C., Ng H.K., Pfister S.M., Reifenberger G., Soffietti R., von Deimling A., Ellison D.W. The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary // *Neuro Oncol.* - 2021. - Vol. 23, № 8. - P. 1231-1251. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noab106>
- Delgado-López P.D., Corrales-García E.M., Martino J., Lastra-Aras E., Dueñas-Polo M.T. Diffuse low-grade glioma: a review on the new molecular classification, natural history and current management strategies // *Clin. Transl. Oncol.* - 2017. - Vol. 19, № 8. - P. 931-944. <https://doi.org/10.1007/s12094-017-1631-4>
- Lee M.K., Park J.E., Jo Y., Park S.Y., Kim S.J., Kim H.S. Advanced imaging parameters improve the prediction of diffuse lower-grade gliomas subtype, IDH mutant with no 1p19q codeletion: added value to the T2/FLAIR mismatch sign // *Eur. Radiol.* - 2020. - Vol. 30, № 2. - P. 844-854. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06395-2>
- Song S.S., Yu F., Yan X.T., Pu Y.S., Xu J.X., Lu J. Value of MRI in Prediction of Glioma Isocitrate Dehydrogenase 1 mutation Status // *Chin. J. Med. Imaging Technol.* - 2019. - Vol. 35, № 11. - P. 1632-1637. <https://doi.org/10.13929/j.1003-3289.201901063>
- Broen M.P.G., Smits M., Wijnenga M.M.J., Dubbink H.J., Anten M.H.M.E., Schijns O.E.M.G., Beckervordersandforth J., Postma A.A., van den Bent M.J. The T2-FLAIR mismatch sign as an imaging marker for non-enhancing IDH-mutant, 1p/19q-intact lower-grade glioma: a validation study // *Neuro Oncol.* - 2018. - Vol. 20, № 10. - P. 1393-1399. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noy048>
- Maynard J., Okuchi S., Wastling S., Busaidi A.A., Almossawi O., Mbatha W., Brandner S., Jaunmuktane Z., Koc A.M., Mancini L., Jäger R., Thust S. World Health Organization Grade II/III Glioma Molecular Status: Prediction by MRI Morphologic Features and Apparent Diffusion Coefficient // *Radiology.* - 2020. - Vol. 296, № 1. - P. 111-121. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020191832>
- Zhang G., Chen W.S., Chen F., Zhao Y.M. Relationship Between Multimodal MRI and Pathology on Diagnosis of Grade II-IV Supratentorial Glioma // *Radiol Pract.* - 2021. - Vol. 36, № 07. - P. 837-842. <https://doi.org/10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.07.003>
- Du N., Zhou X., Mao R., Shu W., Xiao L., Ye Y., Xu X., Shen Y., Lin G., Fang X., Li S. Preoperative and Noninvasive Prediction of Gliomas Histopathological Grades and IDH Molecular Types Using Multiple MRI Characteristics // *Front Oncol.* - 2022. - Vol. 12. - P. 873839. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.873839>
- Wang Y.Y., Wang K., Li S.W., Wang J.F., Ma J., Jiang T., Dai J.P. Patterns of Tumor Contrast Enhancement Predict the Prognosis of Anaplastic Gliomas with IDH1 Mutation // *AJNR Am J Neuroradiol.* - 2015. - Vol. 36, № 11. - P. 2023-2029. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A4407>
- Толешбаев Д.К., Жолдыбай Ж.Ж., Ахметова Г.С., Бекбосынов Н.Н. Магнитно-резонансная томография в диагностике метастатических опухолей головного мозга // *Онко. и Рад. Каз. - Алматы, 2016. - Т. 3, № 41. - С. 159-161. [Toleshbaev D.K., Zholdybay Zh.Zh., Akhmetova G.S., Bekbosynov N.N. Magnetic resonance imaging in the diagnosis of metastatic brain tumors // Onco. And Rad. Kaz. - Almaty, 2016. - T. 3, № 41. - S. 159-161. (in Russ., Kaz., En.)].* https://oncojournal.kz/wp-content/uploads/2016/2016.3.41_09.pdf
- Alkanhal H., Das K., Poptani H. Diffusion- and Perfusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging Methods in Nonenhancing Gliomas // *World Neurosurg.* - 2020. - Vol. 141. - P. 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.05.278>
- Lasocki A., Anjari M., Örs Kukurcan S., Thust S.C. Conventional MRI Features of Adult Diffuse Glioma Molecular Subtypes: A Systematic Review // *Neuroradiology.* - 2021. - Vol. 63, № 3. - P. 353-362. <https://doi.org/10.1007/s00234-020-02532-7>
- Qi S., Yu L., Li H., Ou Y., Qiu X., Ding Y., Han H., Zhang X. Isocitrate dehydrogenase mutation is associated with tumor location and magnetic resonance imaging characteristics in astrocytic neoplasms // *Oncol Lett.* - 2014. - Vol. 7, № 6. - P. 1895-1902. <https://doi.org/10.3892/ol.2014.2013>
- Wang Y., Zhang T., Li S., Fan X., Ma J., Wang L., Jiang T. Anatomical localization of isocitrate dehydrogenase 1 mutation: a voxel-based radiographic study of 146 low-grade gliomas // *Eur J Neurol.* - 2015. - Vol. 22, № 2. - P. 348-354. <https://doi.org/10.1111/ene.12578>
- Gozé C., Mansour L., Rigau V., Duffau H. Distinct IDH1/IDH2 Mutation Profiles in Purely Insular Versus Paralimbic WHO Grade II Gliomas // *J Neurosurg.* - 2013. - Vol. 118, № 4. - P. 866-872. <https://doi.org/10.3171/2012>
- Chen L., Liu M., Bao J., Xia Y., Zhang J., Zhang L., Huang X., Wang J. The correlation between apparent diffusion coefficient and tumor cellularity in patients: a meta-analysis // *PLoS One.* - 2013. - Vol. 8, № 11. - P. 79008. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079008>
- Xing Z., Yang X., She D., Lin Y., Zhang Y., Cao D. Noninvasive Assessment of IDH Mutational Status in World Health Organization Grade II and III Astrocytomas Using DWI and DSC-PWI Combined With Conventional MR Imaging // *AJNR Am J Neuroradiol.* - 2017. - Vol. 38, № 6. - P. 1138-1144. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5171>
- Patel S.H., Poisson L.M., Brat D.J., Zhou Y., Cooper L., Snuderl M., Thomas C., Franceschi A.M., Griffith B., Flanders A.E., Golfino J.G., Chi A.S., Jain R. T2-FLAIR Mismatch, an Imaging Biomarker for IDH and 1p/19q Status in Lower-grade Gliomas: A TCGA/TICIA Project // *Clin Cancer Res.* - 2017. - Vol. 23, № 20. - P. 6078-6085. <https://doi.org/10.1158/1078-0432>
- Wang K., Wang Y., Fan X., Wang J., Li G., Ma J., Jiang T., Dai J. Radiological features combined with IDH1 status for predicting the survival outcome of glioblastoma patients // *Neuro Oncol.* - 2016. - Vol. 18, № 4. - P. 589-597. <https://doi.org/10.1093/neuonc/nov239>
- Lasocki A., Tsui A., Gaillard F., Tacey M., Drummond K., Stuckey S. Reliability of Noncontrast-Enhancing Tumor as a Biomarker of IDH1 Mutation Status in Glioblastoma // *J Clin Neurosci.* - 2017. - Vol. 39. - P. 170-175. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2017.01.007>
- Suchorska B., Schüller U., Biczok A., Lenski M., Albert N.L., Giese A., Kreth F.W., Ertl-Wagner B., Tonn J.C., Ingrisch M. Contrast enhancement is a prognostic factor in IDH1/2 mutant, but not in wild-type WHO grade II/III glioma as confirmed by machine learning // *Eur. J. Cancer.* - 2019. - Vol. 107. - P. 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2018.10.019>
- Losman J.A., Looper R.E., Koivunen P., Lee S., Schneider R.K., McMahon C., Cowley G.S., Root D.E., Ebert B.L., Kaelin W.G. Jr. (R)-2-hydroxyglutamate is sufficient to promote leukemogenesis and its effects are reversible // *Science.* - 2013. - Vol. 339, № 6127. - P. 1621-1625. <https://doi.org/10.1126/science.1231677>
- Kickingereeder P., Sahn F., Radbruch A., Wick W., Heiland S., Deimling A., Bendszus M., Wiestler B. IDH mutation status is associated with a distinct hypoxia/angiogenesis transcriptome signature which is non-invasively predictable with rCBV imaging in human glioma // *Sci Rep.* - 2015. - Vol. 5. - P. 16238. <https://doi.org/10.1038/srep16238>
- Xing Z., Zhang H., She D., Lin Y., Zhou X., Zeng Z., Cao D. IDH genotypes differentiation in glioblastomas using DWI and DSC-PWI in the enhancing and peri-enhancing region // *Acta Radiol.* - 2019. - Vol. 60, № 12. - P. 1663-1672. <https://doi.org/10.1177/0284185119842288>
- Xiong J., Tan W.L., Pan J.W., Wang Y., Yin B., Zhang J., Geng D.Y. Detecting isocitrate dehydrogenase gene mutations in oligodendroglial tumors using diffusion tensor imaging metrics and their correlations with proliferation and microvascular density // *J Magn Reson Imaging.* - 2016. - Vol 43, № 1. - P. 45-54. <https://doi.org/10.1002/jmri.24958>
- Zheng W., Wu C., Huang L., Wu R. Diffusion Kurtosis Imaging of Microstructural Alterations in the Brains of Paediatric Patients with Congenital Sensorineural Hearing Loss // *Sci Rep.* - 2017. - Vol. 7, № 1. - P. 1543. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01263-9>
- Tan Y., Zhang H., Wang X., Qin J., Wang L., Yang G., Yan H. Comparing the value of DKI and DTI in detecting isocitrate dehydrogenase genotype of astrocytomas // *Clin Radiol.* - 2019/ - Vol. 74, № 4. - P. 314-320. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2018.12.004>
- Zhao J., Wang Y.L., Li X.B., Hu M.S., Li Z.H., Song Y.K., Wang J.Y., Tian Y.S., Liu D.W., Yan X., Jiang L., Yang Z.Y., Chu J.P. Comparative analysis of the diffusion kurtosis imaging and diffusion tensor imaging in grading gliomas, predicting tumour cell proliferation and IDH-1 gene mutation status // *J Neurooncol.* - 2019. - Vol. 141, № 1. - P. 195-203. <https://doi.org/10.1007/s11060-018-03025-7>
- Emir U.E., Larkin S.J., de Pennington N., Voets N., Plaha P., Stacey R., Al-Qahtani K., McCullagh J., Schofield C.J., Clare S., Jezzard P., Cadoux-Hudson T., Ansorge O. Noninvasive Quantification of 2-Hydroxyglutamate in Human Gliomas with IDH1 and IDH2 Mutations // *Cancer Res.* - 2016. - Vol. 76, № 1. - P. 43-49. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-15-0934>

34. Leather T., Jenkinson M.D., Das K., Poptani H. Magnetic Resonance Spectroscopy for Detection of 2-Hydroxyglutarate as a Biomarker for IDH Mutation in Gliomas // *Metabolites*. - 2017. - Vol. 7, № 2. - P. 29. <https://doi.org/10.3390/metabo7020029>
35. Choi C., Raisanen J.M., Ganji S.K., Zhang S., McNeil S.S., An Z., Madan A., Hatanpaa K.J., Vemireddy V., Sheppard C.A., Oliver D., Hulsek K.M., Tiwari V., Mashimo T., Battiste J., Barnett S., Madden C.J., Patel T.R., Pan E., Malloy C.R., Mickey B.E., Bachoo R.M., Maher E.A. Prospective Longitudinal Analysis of 2-Hydroxyglutarate Magnetic Resonance Spectroscopy Identifies Broad Clinical Utility for the Management of Patients With IDH-Mutant Glioma // *J. Clin. Oncol.* - 2016. - Vol. 34, № 33. - P. 4030-4039. <https://doi.org/10.1200/JCO.2016.67.1222>
36. Yano H., Ikegami Y., Miwa K., Nakayama N., Maruyama T., Ikuta S., Yokoyama K., Muragaki Y., Iwama T., Shinoda J. Radiological Prediction of Isocitrate Dehydrogenase (IDH) Mutational Status and Pathological Verification for Lower-Grade Astrocytomas // *Cureus*. - 2022. - Vol. 14, № 7. - P. 27157. <https://doi.org/10.7759/cureus.27157>
37. Yang X., Xing Z., She D., Lin Y., Zhang H., Su Y., Cao D. Grading of IDH-mutant astrocytoma using diffusion, susceptibility and perfusion-weighted imaging // *BMC Med Imaging*. - 2022. - Vol. 22, № 1. - P. 105. <https://doi.org/10.1186/s12880-022-00832-3>
38. Lin Y., Xing Z., She D., Yang X., Zheng Y., Xiao Z., Wang X., Cao D. IDH mutant and 1p/19q co-deleted oligodendrogliomas: tumor grade stratification using diffusion-, susceptibility-, and perfusion-weighted MRI // *Neuro-radiology*. - 2017. - Vol. 59, № 6. - P. 555-562. <https://doi.org/10.1007/s00234-017-1839-6>
39. Gutman D.A., Cooper L.A., Hwang S.N., Holder C.A., Gao J., Aurora T.D., Dunn W.D. Jr., Scarpace L., Mikkelsen T., Jain R., Wintermark M., Jilwan M., Raghavan P., Huang E., Clifford R.J., Mongkolwat P., Kleper V., Freymann J., Kirby J., Zinn P.O., Moreno C.S., Jaffe C., Colen R., Rubin D.L., Saltz J., Flanders A., Brat D.J. MR imaging predictors of molecular profile and survival: multi-institutional study of the TCGA glioblastoma data set // *Radiology*. - 2013. - Vol. 267, № 2. - P. 560-569. <https://doi.org/10.1148/radiol.13120118>
40. Chang K., Bai H.X., Zhou H., Su C., Bi W.L., Agbodza E., Kavouridis V.K., Senders J.T., Boaro A., Beers A., Zhang B., Capellini A., Liao W., Shen Q., Li X., Xiao B., Cryan J., Ramkissoon S., Ramkissoon L., Ligon K., Wen P.Y., Bindra R.S., Woo J., Arnaout O., Gerstner E.R., Zhang P.J., Rosen B.R., Yang L., Huang R.Y., Kalpathy-Cramer J. Residual Convolutional Neural Network for the Determination of IDH Status in Low- and High-Grade Gliomas from MR Imaging // *Clin Cancer Res.* - 2018. - Vol. 24, № 5. - P. 1073-1081. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-17-2236>
41. Yu J., Shi Z., Lian Y., Li Z., Liu T., Gao Y., Wang Y., Chen L., Mao Y. Non-invasive IDH1 mutation estimation based on a quantitative radiomics approach for grade II glioma // *Eur. Radiol.* - 2017. - Vol. 27, № 8. - P. 3509-3522. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4653-3>
42. Liu X., Li Y., Li S., Fan X., Sun Z., Yang Z., Wang K., Zhang Z., Jiang T., Liu Y., Wang L., Wang Y. IDH mutation-specific radiomic signature in lower-grade gliomas // *Aging (Albany NY)*. - 2019. - Vol. 11, № 2. - P. 673-696. <https://doi.org/10.18632/aging.101769>
43. Li Z.C., Bai H., Sun Q., Zhao Y., Lv Y., Zhou J., Liang C., Chen Y., Liang D., Zheng H. Multiregional radiomics profiling from multiparametric MRI: Identifying an imaging predictor of IDH1 mutation status in glioblastoma // *Cancer Med.* - 2018. - Vol. 7, № 12. - P. 5999-6009. <https://doi.org/10.1002/cam4.1863>
44. Peeken J.C., Hesse J., Haller B., Kessel K.A., Nüsslin F., Combs S.E. Semantic imaging features predict disease progression and survival in glioblastoma multiforme patients // *Strahlenther Onkol.* - 2018. - Vol. 194, № 6. - P. 580-590. <https://doi.org/10.1007/s00066-018-1276-4>
45. Gillies R.J., Kinahan P.E., Hricak H. Radiomics: Images Are More than Pictures, They Are Data // *Radiology*. - 2016. - Vol. 278, № 2. - P. 563-577. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015151169>

АНДАТПА

ГЛИАЛЬДЫ МИ ІСІКТЕРІНІҢ ҚАТЕРЛІ ІСІК ДӘРЕЖЕСІН БАҒАЛАУДАҒЫ ЗАМАНАУИ БЕЙНЕЛЕУ ӘДІСТЕРІ: ӘДЕБИЕТКЕ ШОЛУ

Д.К. Толешбаев^{1,2}, А.С. Айнакулова^{1,2}, Ж.К. Жақенова², К.А. Акимтай², Г.Б. Мырзабаева², А.Б. Рамазан², Ж.Ж. Жолдыбай²

¹«Қазақ онкология және радиология ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Алматы, Қазақстан Республикасы;

²«С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ Ұлттық Медицина Университеті» КЕАҚ, Алматы, Қазақстан Республикасы

Өзектілігі: Глиомалар мидың барлық қатерлі ісіктерінің шамамен 80% алып жатқан орталық жүйке жүйесінің бастапқы ісіктерінің негізгі тобы болып табылады. Молекулалық диагностикадағы заманауи жетістіктер, соның ішінде изоцитратдегидрогеназа (IDH) геніндегі мутацияларды анықтау глиомалардың жіктелуін жақсартуға және олардың даму механизмдерін түсінуге және мүмкіндіктер ашады. Глиомалардың көп бөлігінде кездесетін IDH мутациялары анық болжаммен байланысты және мақсатты терапевтік стратегияларды әзірлеуге ықпал ететін маңызды биомаркер болып табылады. Сондай-ақ, диагностика әдістері, атап айтқанда МРТ маңызды рөл атқарады, олар глиомалардың морфологиялық және биологиялық сипаттамаларын бағалауға қосымша мүмкіндіктер береді, ісіктердің қатерлі ісік дәрежесін және олардың молекулалық профилін дәлірек анықтауға ықпал етеді, бұл емдеу туралы шешім қабылдауда маңызды.

Зерттеудің мақсаты – мидың глиальды ісіктерінің қатерлік дәрежесін бағалауда магнитті-резонанстық томографияның мүмкіндіктерін зерттеу.

Әдістері: PubMed, BMC Medicine және Google Scholar мәліметтер базасында глиома, IDH мутациясы, IDH жабайы түрі, МРТ, магниттік резонансты спектроскопиясы (MRS), аппараттық диффузия коэффициенті (ADC), диффузиялық өшіенген бейнелеу (DWI), диффузиялық тензорлық бейнелеу (DTI), диффузиялық куртозды бейнелеу (DKI), магниттік сезімталдық өлшемі (SWI) сияқты түйін сөздер бойынша әдеби шолу жасалды. Шолу глиоманың қатерлі ісігін бағалау үшін молекулалық диагностика мен МРТ-ның мүмкіндіктерін қарастыратын 45 әдеби дереккөздердің талдау нәтижелерін қамтиды.

Нәтижелер: Бұл әдебиеттер шолуында глиомаларды диагностикалаудың ағымдағы тәсілдерінің өзектілігі көрсетілген, әртүрлі қатерлік дәрежелері мен IDH мутациялық статусы MR кескіндерінде соның ішінде орналасу, сигнал және күшею паттеріндегі айырмашылықтармен байланысты бірегей мүмкіндіктер көрсетеді. (DTI) және (DWI) тіндердің микроқұрылымын бағалау үшін МРТ мүмкіндіктерін кеңейтіп, ісік сипаттамасын дәлірек анықтауға мүмкіндік береді. МРТ морфологиялық ерекшеліктерін, ADC параметрлерін және DTI параметрлерін біріктіретін зерттеулер глиоманың болжамына инвазивті емес тәсілді ұсынады, диагностика мен терапияны жақсарту үшін бейнелеу әдістерін кеңейтіп пайдаланудың маңыздылығын көрсетеді.

Қорытынды: Магнитті-резонансты бейнелеуді қолдану глиомалардың морфологиялық және метаболикалық сипаттамаларын дәлірек анықтауға мүмкіндік береді, бұл дәрігерлерге дәл болжамды бағалауға және тиісті емдеу стратегиясын таңдауға тиімді етеді.

Түйінді сөздер: глиома, IDH мутациясы, IDH жабайы түрі, МРТ, магниттік резонанстық спектроскопия, ADC, DWI, DTI, DKI, SWI.

ABSTRACT

MODERN IMAGING TECHNIQUES IN THE ASSESSMENT OF MALIGNANCY IN GLIAL BRAIN TUMORS: LITERATURE REVIEW

D.K. Toleshbaev^{1,2}, A.S. Ainakulova^{1,2}, Zh.K. Zhakenova², K.A. Akimtay², G.B. Myrzabaeva², A.B. Ramazan², Zh.Zh. Zholdybay²

¹Kazakh Institute of Oncology and Radiology» JSC, Almaty, the Republic of Kazakhstan;

²«Asfendiyarov Kazakh National Medical University» NCJSC, Almaty, Kazakhstan Republic

Relevance: Gliomas represent a major group of primary central nervous system tumors, accounting for approximately 80% of all malignant brain neoplasms. Recent advances in molecular diagnostics, including the identification of mutations in the isocitrate dehydrogenase

(IDH) gene, offer new opportunities to improve the classification of gliomas and to understand the mechanisms of their development. IDH mutations, which are found in a large proportion of gliomas, are associated with a better prognosis and represent an important biomarker for the development of targeted therapeutic strategies. Diagnostic techniques, particularly magnetic resonance imaging (MRI), also play an important role, providing additional ways to assess the morphological and biological characteristics of gliomas, contributing to a more accurate determination of tumor malignancy and molecular profile, which is key to treatment decisions.

The purpose: To study the possibilities of magnetic resonance imaging in assessing the degree of malignancy of glial brain tumors.

Method: A literature review was performed using the keywords: glioma, IDH mutation, IDH wild-type, MRI, magnetic resonance spectroscopy (MRS), apparent diffusion coefficient (ADC), diffusion-weighted imaging (DWI), diffusion tensor imaging (DTI), diffusion kurtosis image (DKI), Susceptibility Weighted Imaging (SWI) in PubMed, BMC Medicine, and Google Scholar databases. The review includes the results of an analysis of 45 literature reviews on the diagnostic capabilities of molecular diagnostics and MRI to assess the malignancy of gliomas.

Results: This review highlights the importance of current approaches to the diagnosis of gliomas, demonstrating that different grades of malignancy and IDH mutation status are associated with unique features on MR imaging, including differences in localization, signal, and enhancement patterns. DTI and DWI extend the ability of MRI to assess tissue microstructure, allowing for more precise tumor characterization. Studies combining MRI morphologic features, ADC and DTI parameters offer a non-invasive approach to glioma prognosis, highlighting the importance of integrated use of imaging modalities to improve diagnosis and therapy.

Conclusion: The use of magnetic resonance imaging allows for more accurate morphologic and metabolic characterization of gliomas in assessing the degree of malignancy, allowing physicians to make more accurate prognostic assessments and select the most appropriate treatment strategy.

Keywords: Glioma, IDH mutation, wild-type IDH, MRI, magnetic resonance spectroscopy, ADC, DWI, DTI, DKI, SWI.

Прозрачность исследования: Авторы несут полную ответственность за содержание данной статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии финансирования исследования.

Вклад авторов: вклад в концепцию – Толешбаев Д.К., Айнакулова А.С., Жолдыбай Ж.Ж., Жакенова Ж.К.; научный дизайн – Айнакулова А.С., Толешбаев Д.К.; исполнение заявленного научного исследования – Айнакулова А.С., Толешбаев Д.К., Акимтай К.А., Рамазан А.Б.; интерпретация заявленного научного исследования – Айнакулова А.С., Толешбаев Д.К., Мырзабаева Г.Б.; создание научной статьи – Айнакулова А.С., Толешбаев Д.К., Акимтай К.А.

Сведения об авторах:

Толешбаев Диас Кайратович – врач лучевой диагностики отд. Радиологии и Ядерной медицины АО «Казахский научно-исследовательский институт онкологии и радиологии», докторант PhD, ассистент кафедры «Визуальная диагностика», НАО «Казахский Национальный Медицинский Университет имени С. Д. Асфендиярова», Алматы, Республика Казахстан, тел. +77475574025, e-mail: d1sk.88@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7010-8776;

Айнакулова Акмарал Сериковна – PhD, доцент кафедры «Визуальная диагностика», НАО «Казахский Национальный Медицинский Университет имени С. Д. Асфендиярова», врач лучевой диагностики отд. Радиологии и Ядерной медицины АО «Казахский научно-исследовательский институт онкологии и радиологии», Алматы, Республика Казахстан, тел. +77017242429, e-mail: ar89@list.ru, ORCID ID: 0000-0003-1773-5145;

Жакенова Жанара Кабдуалиевна – к.м.н., проф. каф. «Визуальная диагностика», НАО «Казахский Национальный Медицинский Университет имени С. Д. Асфендиярова», Алматы, Республика Казахстан, тел. +77754983950, e-mail: jja18@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-6764-6821;

Акимтай Касиет Абусейтовна (корреспондирующий автор) – резидент кафедры «Визуальная диагностика», НАО «Казахский национальный медицинский университет имени С. Д. Асфендиярова», Алматы, Республика Казахстан, тел. +7076444255, e-mail: a_akimtayeva@mail.ru, ORCID ID: 0009-0000-1475-731X;

Мырзабаева Гулнур Боскымбаевна – ассистент кафедры «Визуальная диагностика» НАО «Казахский Национальный Медицинский Университет имени С. Д. Асфендиярова», Алматы, Республика Казахстан, тел. +77759474578, e-mail: gulnur_myrzabaeva@mail.ru, ORCID ID: 0009-0009-7627-276X;

Рамазан Ардақ Булатұлы – магистр медицинских наук, ассистент кафедры «Визуальная диагностика» НАО «Казахский Национальный Медицинский Университет имени С. Д. Асфендиярова», Алматы, Республика Казахстан, тел. +77758888567, e-mail: baksuleimenov@yandex.kz, ORCID ID: 0009-0008-9804-0970;

Жолдыбай Жамила Жолдыбаевна – д.м.н., проф., зав. каф. «Визуальная диагностика», НАО «Казахский Национальный Медицинский Университет имени С. Д. Асфендиярова», Алматы, Республика Казахстан, тел. +77772101612, e-mail: joldybay.j@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0553-9016.

Адрес для корреспонденции: Акимтай К.А., Таугуль-1, дом 70, кв. 62, г. Алматы, 050052, Республика Казахстан.