

DOI: 10.33266/1024-6177-2022-67-4-49-56

А.В. Капишников¹, Е.Н. Суровцев^{1,2}, Ю.Д.Удалов³

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ ПЕРВИЧНЫХ ВНЕМОЗГОВЫХ ОПУХОЛЕЙ: ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАДИОМИКИ

¹ Самарский государственный медицинский университет Минздрава России, Самара, Россия.² Лечебно-диагностический центр Международного института биологических систем имени Сергея Березина, Тольятти, Россия.³ Федеральный научно-клинический центр медицинской радиологии и онкологии ФМБА России, Дмитровград, Россия.

Контактное лицо: Капишников Александр Викторович, e-mail: a.kapishnikov@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

МРТ семиотика в дифференциальной диагностике первичных внеозговых опухолей (ПВО)

Локализация опухоли и её связь с анатомическими структурами

Неоднородность (гетерогенность) опухоли

Границы опухоли и перитуморальный отек

Измеряемый коэффициент диффузии (ИКД)

Дуральный «хвост»

Информационные технологии анализа МРТ изображений и радиомика

Радиомика в дифференциальной диагностике ПВО

Заключение

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, первичные внеозговые опухоли, менингиомы, радиомика, информационные технологии**Для цитирования:** Капишников А.В., Суровцев Е.Н., Удалов Ю.Д. Магнитно-резонансная томография первичных внеозговых опухолей: проблемы диагностики и перспективы радиомики // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2022. Т. 67. № 4. С. 49–56. DOI: 10.33266/1024-6177-2022-67-4-49-56

DOI: 10.33266/1024-6177-2022-67-4-49-56

Magnetic Resonance Imaging of Primary Extra-Axial Intracranial Tumors: Diagnostic Problems and Prospects of Radiomics

A.V. Kapishnikov¹, E.N. Surovcev^{1,2}, Yu.D.Udalov³¹ Samara State Medical University, Samara, Russia.² Treatment and Diagnostic Center of the International Institute of Biological Systems named after Sergey Berezin, Tolyatti, Russia.³ Federal Scientific Clinical Center for Medical Radiology and Oncology, Dimitrovgrad, Russia.

Contact person: Kapishnikov Aleksandr Viktorovich: a.kapishnikov@gmail.com

CONTENTS

Introduction

MRI semiotics in the differential diagnosis of primary extra-axial intracranial tumors (PEIT)

Localization of the tumor and its relationship with the anatomical structures

Heterogeneity (heterogeneity) of the tumor

Tumor margins and peritumoral edema

Apparent diffusion coefficient (ADC)

Dural tail sign

Information technology for MRI analysis and radiomics

Radiomics in differential diagnosis of PEIT

Conclusion

Keywords: magnetic resonance imaging, primary extra-axial intracranial tumors, meningiomas, radiomics, information technology.**For citation:** Kapishnikov AV, Surovcev EN, Udalov YuD. Magnetic Resonance Imaging of Primary Extra-Axial Intracranial Tumors: Diagnostic Problems and Prospects of Radiomics. Medical Radiology and Radiation Safety. 2022;67(4):49-56. DOI: 10.33266/1024-6177-2022-67-4-49-56

Введение

Первичные внемозговые опухоли (ПВО) – гетерогенная группа новообразований, представленная опухолями нервов и мозговых оболочек. Суммарная их доля составляет более 40% от всех внутрочерепных объемных образований [1]. Менингиомы являются наиболее распространенными ПВО (более 80%), невриномами составляют около 10% [2, 3]. Мезенхимальные опухоли – редкий тип интракраниальных опухолей, а наиболее распространенная среди них солитарная фиброзная опухоль занимает менее 1% от первичных опухолей ЦНС [1, 4].

Большинство (80–90%) ПВО представлены доброкачественными новообразованиями (Grade 1 ВОЗ) [5]. Злокачественными (Grade 2–3 ВОЗ) являются 12% менингиом [6].

Около половины Grade 3 менингиом (М3) диагностируются *de novo*, а оставшаяся доля этого типа опухолей формируется у пациентов в результате малигнизации ранее выявленных менингиом Grade 1 (М1) и Grade 2 (М2) [6]. Малигнизированные мезенхимальные образования составляют 0,5–2,7% от всех внутрочерепных образований [1, 7]. Злокачественные опухоли нервов встречаются крайне редко и практически не обнаруживаются в полости черепа [8].

Большинство как доброкачественных, так и злокачественных ПВО бессимптомны [9]. Клиническую манифестацию имеют лишь 10% менингиом, а большая их часть обнаруживается случайно при проведении томографической нейровизуализации [7, 10]. Общая выживаемость в течение десяти лет для менингиом Grade 1 составляет 80–90%, 50–79% для Grade 2 и 14–34% для Grade 3 [7, 11].

МРТ с визуальной оценкой характеристик опухоли является методом выбора для диагностики первичных внемозговых опухолей [2–4]. В то же время, применение только визуального анализа изображений не всегда позволяет достоверно дифференцировать вид и степень злокачественности ПВО, особенно при атипичных МРТ признаках [6, 12]. Необходимо учитывать и тот факт, что доминирование среди ПВО менингиом может привести к отвлечению внимания рентгенолога от альтернативных опухолей со схожими рентгенологическими проявлениями (невриномы и солитарные фиброзные опухоли) [13].

Актуальность разработки надежных визуализационных биомаркеров для дифференциальной диагностики ПВО, в том числе на основе современной концепции радиомики, определяется существенными различиями в прогнозе и подходах к лечению этих новообразований, которые требуют в ряде случаев своевременного хирургического вмешательства и адьювантной лучевой терапии [2, 14, 15].

МРТ семиотика в дифференциальной диагностике первичных внемозговых опухолей

Магнитно-резонансная томография (МРТ) с визуальной оценкой опухоли на последовательностях, T₂-ВИ, T₁-ВИ FLAIR, DWI, и постконтрастных T₁-ВИ изображениях (T₁-CE), является оптимальным методом диагностики ПВО [2, 16, 17]. Общим рентгенологическим проявлением всех ПВО является их преимущественно экстрацеребральное расположение. Для дифференциальной диагностики ПВО с помощью МРТ используется ряд признаков.

Локализация опухоли и её связь с анатомическими структурами

В большинстве случаев дифференциальная диагностика между менингиомами и невриномами не представляет сложности и основана на определении локализации опухоли, а также наличия ее связи с мозговыми оболочками или черепными нервами соответственно.

Менингиомы связаны с оболочками головного мозга и локализуются преимущественно супратенториально и только 8–10% расположены инфратенториально. Необходимо учитывать, что до 5% менингиом могут располагаться в желудочках мозга, на оболочке зрительного нерва, в эпифизарной области, и крайне редко встречаются внутривентрикулярные (не связанные с мозговыми оболочками) менингиомы [7].

До 80–90% невриномами связаны с преддверно-улитковыми нервами и, соответственно, локализуются в мозжечковых углах (ММУ), и только менее 12% невриномами связаны с вестибулярными черепными нервами [7]. Пятая пара вовлекается в патологический процесс в 0,2–0,4% [18], далее в порядке убывания захватываются IX, X, VII, XI и XII пары черепных нервов [7].

Невриномами составляют до 75–90% от всех опухолей ММУ, вторыми по частоте опухолями ММУ (до 10%) являются менингиомы [7, 13]. При локализации опухоли в ММУ не всегда возможно четко установить взаимосвязь новообразования с мозговыми оболочками или вестибулярными нервами, как это показано на рис. 1. Локализация солитарных фиброзных опухолей аналогична типичному расположению менингиом [7, 19].

Таким образом, признак локализации не позволяет разграничить менингиомы различной степени злокачественности между собой, а также дифференцировать их с солитарными фиброзными опухолями, а в ряде случаев, и с невриномами [3, 7, 19].

Неоднородность (гетерогенность) опухоли

Увеличение степени злокачественности менингиом приводит к нарастанию неоднородности опухоли как на нативных, так и на постконтрастных изображениях.

Для злокачественных менингиом, в отличие от высококодифференцированных, характерно наличие зон некроза [7, 20] и неоднородное (иногда только капсулярное) контрастирование [21, 22]. Доброкачественные менингиомы, напротив, имеют однородную структуру на бесконтрастных МР-томограммах и гомогенно повышают сигнальные характеристики при контрастировании [7].

Однако в 8–23% случаев доброкачественные менингиомы могут иметь гетерогенную структуру [7, 20]. Неоднородность МР-сигнала чаще всего обусловлена наличием кист (в 10–15% случаев) и кровоизлияний. Кисты и кровоизлияния могут наблюдаться и при невриномах [7], что очевидным образом затрудняет их дифференциальную диагностику, особенно при локализации вне ММУ.

Границы опухоли и перитуморальный отек

Нечеткость границы между опухолью и веществом головного мозга с участками отсутствия ликворной щели является признаком инвазии новообразования в мозговую ткань [1, 7, 22] и злокачественности менингиомы [7, 20, 21]. В то же время, непрерывность ликворной щели может не прослеживаться у 20% пациентов с доброкачественными менингиомами [7].

Другим признаком инвазии в вещество головного мозга является наличие перитуморального отека, который считается нетипичным для высококодифференцированных менингиом [7, 22, 23]. Однако его развитие возможно и при доброкачественных менингиомах (рис. 2) и, вероятно, зависит от размера опухоли [24]. Развитие отека характерно также для солитарных фиброзных опухолей [7].

Измеряемый коэффициент диффузии (ИКД)

Литературные данные относительно роли диффузионно-взвешенных изображений с построением карт измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) для диффе-

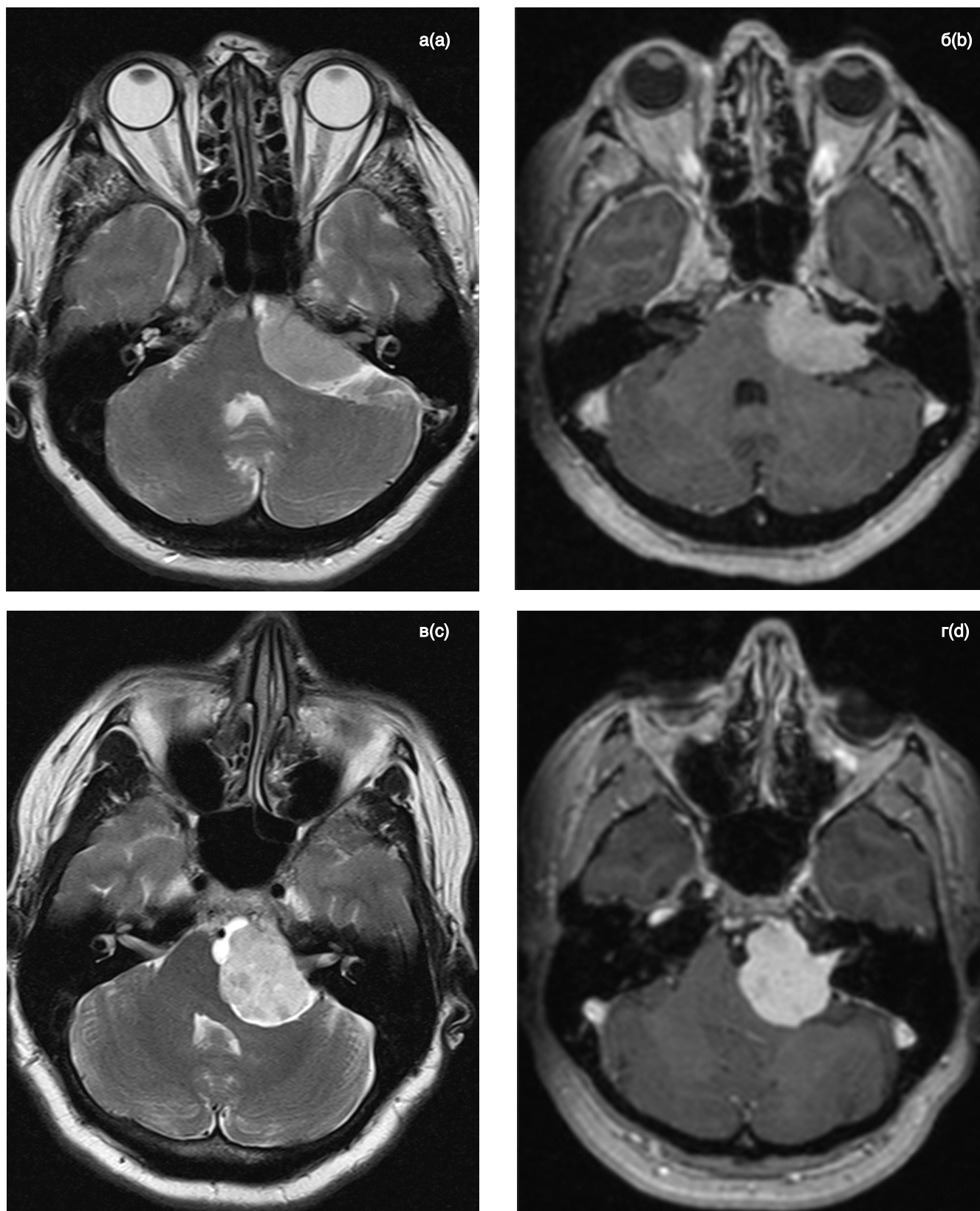


Рис. 1. МРТ головного мозга в аксиальных проекциях двух пациентов с гистологически верифицированными менингиомой Grade 1 (а, б) и вестибулярной шванномой (в, г), расположенными в мостомозжечковых углах.
 T₂-ВИ – слева (а, в); T₁-ВИ с контрастным усилением – справа (б, г).
 Визуальная дифференцировка представленных новообразований между менингиомой и невриномой затруднительна, так как обе опухоли расположены эксцентрично по отношению к слуховым нервам, связаны с нервами и широко прилежат к мозговым оболочкам
 Fig. 1. Brain MRI of two patients with histologically verified: Grade 1 meningioma (a, b) and vestibular schwannoma (c, d) located in the cerebellopontine angles
 T₂-WI – on the left (a, c); T₁-WI with contrast enhancement – on the right (b, d).
 Visual differentiation of the presented tumors between meningioma and neuroma is difficult, since both tumors are located eccentrically with respect to the vestibular nerves, connected with nerves and widely adjacent to the meninges

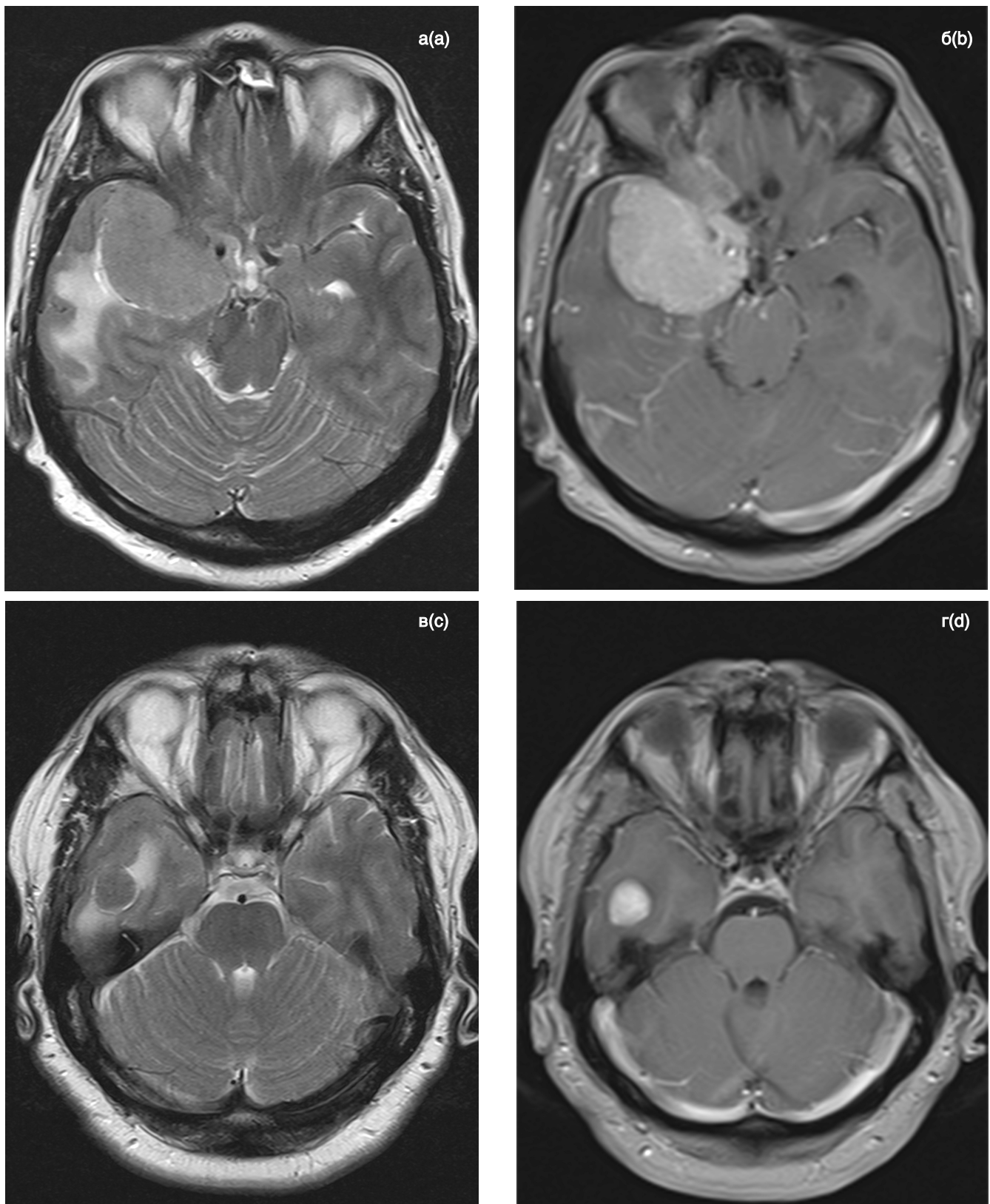


Рис. 2. МРТ головного мозга двух пациентов с гистологически верифицированными менингиомами Grade 1, расположенными на основании средних черепных ямок. Первый пациент – а, б; второй пациент – в, г. T₂-ВИ – слева (а, в); T₁-ВИ с контрастным усилением – справа (б, г).

В обоих случаях определяется периферический отёк, нехарактерный для данного типа опухоли. Обращает на себя внимание то, что, несмотря на существенно больший размер образования у первого пациента (а, б), по сравнению со вторым (в, г), объёмы зон периферического отёка в этих наблюдениях сопоставимы

Fig. 2. Brain MRI of two patients with histologically verified Grade 1 meningiomas located at the base of the middle cranial fossa. The first patient – а, б; the second patient – в, г. T₂-WI - on the left (а, в); T₁-WI with contrast enhancement – on the right (б, г). In both cases, peripheral edema, uncharacteristic for this type of tumor, is determined. It is noteworthy that, despite the significantly larger size of the formation in the first patient (а, б), compared to the second (в, г), the volumes of the zones of peripheral edema in both cases are comparable

ренициальной диагностики менингиом противоречивы. Отмечается более низкий уровень ИКД при атипичных (M2) и злокачественных (M3) менингиомах относительно типичных (M1) [7]. В то же время, имеются работы, где показано, что значения ИКД не является надежным критерием для определения малигнизации менингиом [21, 24].

Солитарные фиброзные опухоли имеют более высокое значение ИКД по сравнению менингиомами [25, 26]. Пороговое значения нормализованного ИКД более 1,3 показало высокую специфичность (96%), но низкую чувствительность (35%) при диагностике солитарных фиброзных опухолей [27].

Дуральный «хвост»

Наличие такого, казалось бы, специфического визуального симптома менингиом как дуральный «хвост», представляющий собой линейное контрастное усиление в прилежащей к опухоли твердой мозговой оболочке, также нельзя признать надежным ориентиром в дифференциальной диагностике. Данный признак встречается у 35–80% менингиом [28], однако может наблюдаться и при невриномах, а также в 50% случаев солитарных фиброзных опухолей [7].

Таким образом, анализ особенностей МРТ-семиотики первичных внемозговых опухолей показывает, что в ряде случаев провести надёжную дифференциальную диагностику злокачественности менингиом, а также менингиом с невриномами и солитарными фиброзными опухолями только на основе визуальных признаков затруднительно. Нередко даже одновременное присутствие нескольких, казалось бы, наглядных критериев на

МР-томограмме не позволяет достоверно установить вид новообразования, что демонстрирует клиническое наблюдение, представленное на рис. 3.

Информационные технологии анализа МРТ-изображений и радиомика

Радиомика (radiomics или radiomic) – новое направление анализа медицинских изображений, которое сформировалось в последние годы. Задачей радиомики является трансформация диагностических изображений в биомаркеры и выявление фенотипов визуализации путем комплексного изучения методами гистограммного, текстурного, и морфометрического анализа в сочетании с многомерными клиническими данными [29].

Извлечение количественных и качественных данных из мультимодальных медицинских изображений с использованием достижений в области интеллектуального анализа данных и машинного обучения позволяет выявлять взаимосвязь между цифровыми свойствами медицинских изображений и клиническими данными для использования в системах поддержки принятия диагностических решений [30, 31].

Радиомический анализ включает в себя несколько последовательных этапов: сбор и предварительная обработка изображений, сегментация зоны интереса (ROI), извлечение признаков и построение математической модели, отображающей взаимосвязь признаков изображения с клиническими данными. Эти этапы могут быть выполнены последовательно с ручным отбором данных для конечной модели. В случае применения методологии искусственного интеллекта на основе глубокого обучения,

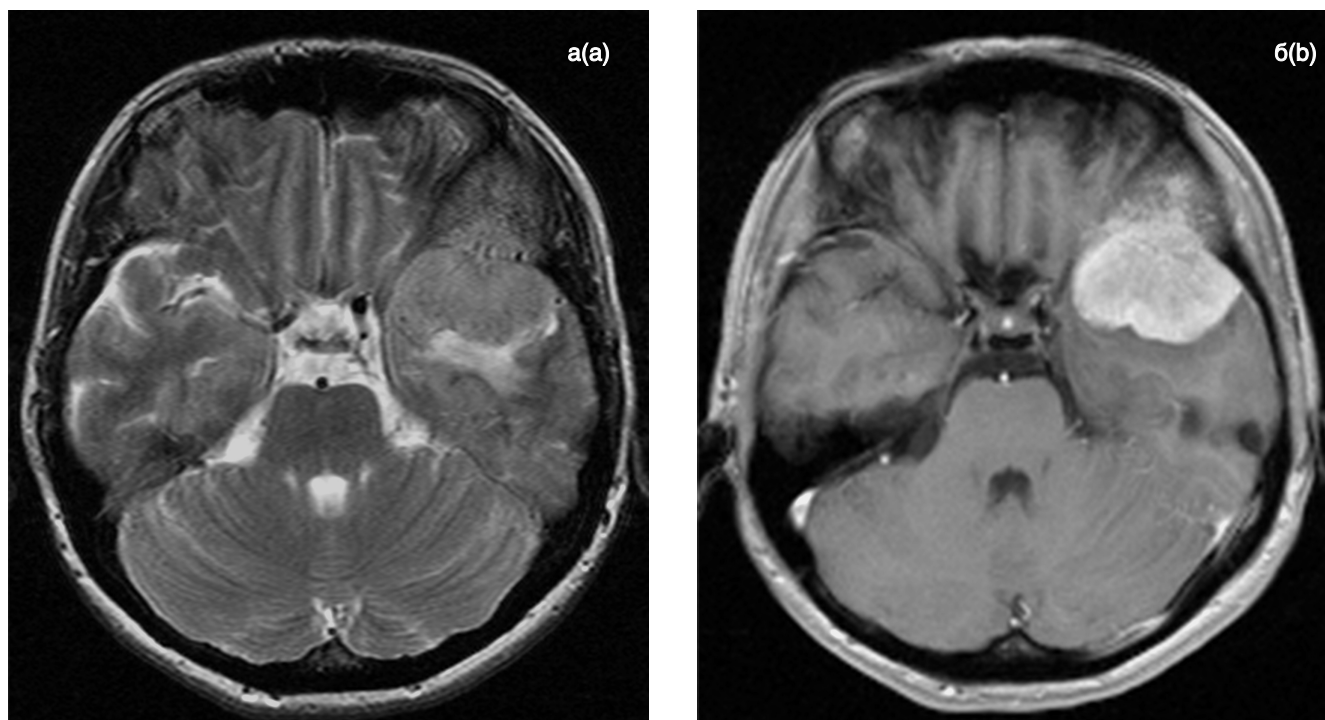


Рис. 3. МРТ головного мозга пациента с гистологически верифицированной менингиомой Grade 1. T₂-ВИ – а; T₁-ВИ с контрастным усилением – б.

При визуальной оценке можно ошибочно заподозрить злокачественный характер опухоли, так как имеются признаки её инвазии в прилежащую кость, неоднородность структуры новообразования на постконтрастных T₁-ВИ и наличие зоны периферического отёка вещества головного мозга. Единственным проявлением доброкачественности процесса является гиперостоз подлежащей кости

Fig. 3. Brain MRI of a patient with histologically verified Grade 1 meningioma.

T₂-WI - a; T₁-WI with contrast enhancement – b.

Based on visual assessment, it is possible to mistakenly suspect the malignant nature of the tumor, since there are signs of its invasion into the adjacent bone, heterogeneity of the structure of the neoplasm on post-contrast T₁-WI, and the presence of a zone of peripheral edema of the brain substance. The only sign of a benign process is hyperostosis of the underlying bone

моделирование происходит без предварительного разделения этапов. Информативность радиомных признаков должна пройти оценку на валидированной выборке и только тогда может быть использована для диагностики и прогнозирования.

Анализ радиомических параметров опухоли должен включать всю ткань опухоли без вовлечения окружающих структур и возможной зоны отека. Следовательно, первым и во многом определяющим этапом анализа диагностического изображения является качественная сегментация (оконтуривание). Сегментация может быть осуществлена как вручную, так и полуавтоматическими или автоматическими методами. При сегментации, выполненной вручную, вариативность интерпретации границы образования разными специалистами может быть весьма значительной [32], при этом конечные параметры анализа зависят от того, насколько качественно проведено выделение опухоли [33]. Полуавтоматическая сегментация может обеспечить значительное снижение вариативности по сравнению с ручным методом [34].

После сегментации ROI из выбранной области извлекают количественные и качественные данные. К ним относятся: признаки формы, гистограммные, текстурные параметры и признаки высокого порядка, описывающие статистические особенности изображения, полученные с использованием преобразований Фурье и вейвлет-анализа [29, 36, 37, 38]. Построение прогностической модели чаще всего выполняется на основе глубокого обучения с применением нейронных сетей. Кроме того, распространенными информационными технологиями в радиомике являются логистическая регрессия, различные виды решающих деревьев [31].

Поскольку для достижения достоверности полученных статистических моделей необходим большой объем данных, то исследования в области радиомики нередко являются многоцентровыми. Однако при этом МРТ-изображения могут отличаться параметрами сканирования, влияние которых на конечные результаты необходимо учитывать [39]. Влияние протоколов визуализации на извлекаемые радиомические признаки было проанализировано в ряде исследований [40–43]. Эти работы показали, что фильтрация изображений способна нивелировать технологические особенности, а различия в параметрах сбора данных и умеренные расхождения в толщине среза при МРТ не влияют на результаты текстурного анализа.

Радиомика в дифференциальной диагностике ПВО

Эффективность радиомных характеристик МРТ-изображений для дифференциальной диагностики ПВО изучена в относительно небольшом объеме исследований. Большинство из них касалось определения степени злокачественности менингиом [44–50]. В других работах обсуждалась возможность дифференциальной диагностики менингиом с солитарными фиброзными опухолями [51–53], а одно исследование было посвящено дифференцировке менингиом от невриноме [54]. Однако только три из перечисленных выше работ включали проверку полученных дифференциально-диагностических моделей на валидационной выборке [44, 49, 50].

Текстурный анализ постконтрастных T₁-ВИ МРТ-изображений использован в двух исследованиях, касающихся дифференцировки степени злокачественности менингиом. В одном из них, включавшем 98 пациентов, разделенных на обучающую (70) и валидированную (28) группы, было показано, что модель логистической регрессии обеспечивала чувствительность определения малигнизации менин-

гиом равную 91,7% и специфичность – до 100% при AUC 0,948 [50]. В исследовании Chen C. et al. [48] оптимальный диагностический результат машинного обучения получен на основе линейного дискриминантного анализа (LDA). Точность лучшей из моделей LDA составила 75,6%, против 59% у лучшей из моделей метода опорных векторов.

Целесообразность учета формы опухоли, наряду с текстурными признаками, продемонстрирована в исследовании Laukamp K.R. et al [45]. Авторы установили, что для модели, построенной с помощью логистической регрессии на основе четырех текстурных и морфометрических признаков, AUC составила 0,91, в то время как этот параметр для модели на основе только одиночных параметров не превышал 0,8. Схожие выводы получены Yan P.F. et al [47] при исследовании текстурных параметров постконтрастных T₁-изображений 131 пациента, которые были дополнены оценкой формы опухоли. В этой работе показано, что ряд признаков текстуры и формы достоверно отличались у менингиом высокой и низкой степени злокачественности: чувствительность, специфичность для модели на основе опорных векторов (SVM) составили 86% и 87% соответственно (AUC 0,87).

В исследовании Lu Y. et al [46], включавшего 152 пациента, для дифференциальной диагностики менингиом различной степени злокачественности использованы клинические данные, визуальные особенности опухоли и текстурные характеристики карт истинного коэффициента диффузии. Было показано, что значение ИКД и визуальная оценка не позволяли дифференцировать менингиомы по уровню злокачественности (точность составила 62,96% и 62,04% соответственно). Включение признаков текстуры ИКД карт опухоли в статистическую модель позволило повысить ее точность до 79,5%.

Park Y.W. et al [44] показали, что морфометрические, гистограммные и текстурные параметры постконтрастных T₁-СЕ, DWI и DTI значительно различались у менингиом M1, M2 и M3. Среди морфометрических характеристик злокачественные менингиомы от доброкачественных отличали большой объем опухоли и максимальный диаметр, а также высокое соотношение объема к площади поверхности. Лучшая модель SVM для валидационной группы была получена на основе совокупности морфометрических, гистограммных и текстурных признаков (AUC 0,86; чувствительность 75,0% и специфичность 93,5%). Ke C. et al. [49] сравнили между собой модели для дифференциации доброкачественных и злокачественных менингиом, построенные на основе текстурных признаков при раздельном анализе T₁-ВИ, T₂-ВИ и T₁-СЕ, с моделью, включающей параметры текстуры изображений всех трех типов. Последняя показала максимальные чувствительность, специфичность и AUC для валидированной группы 84%, 78% и 0,83 соответственно.

Дифференциальной диагностике ангиоматозных M1 со злокачественными солитарными фиброзными опухолями на основе метода SVM посвящено исследование Li X. et al [51]. Авторами было показано, что лучшая модель формируется с использованием текстурных характеристик постконтрастных T₁-ВИ (AUC 0,90), что значительно выше, чем у классификаторов на основе FLAIR или DWI изображений (максимальная AUC 0,77). Следует отметить, что в данном исследовании значение AUC при дифференцировке этих опухолей на основе визуальной оценки тремя нейрорадиологами не превысило 0,73.

Kanazawa T. et al [52] исследовали возможность дифференциальной диагностики ангиоматозных менингиом M1 и солитарных фиброзных опухолей на основе гистограммных и текстурных параметров T₁-ВИ, T₂-ВИ, DWI и постконтрастных T₁-ВИ. Авторы показали, что пара-

метры текстуры при всех типах взвешенности достоверно отличались у солитарных фиброзных опухолей от менингиом при максимальной чувствительности и специфичности у ИКД-изображений, превосходя по информативности асимметрию гистограммы и среднее значение измеряемого коэффициента диффузии. Сходные результаты при текстурном анализе ИКД-карт получены He W. et al. [53], которые установили, что величина AUC для дифференцировки ангиоматозных менингиом от солитарных фиброзных опухолей по признакам текстуры достигала 0,86 при чувствительности 81,3% и специфичности 83,3%. Высокая информативность гистограммного анализа карт ИКД для дифференцировки менингиом и шванном показана в работе Nagano H. et al. [54].

Отмечается, что использование прогностических возможностей радиомики может способствовать преодолению недостатков выжидательной стратегии у пациентов с менингиомами, при которой можно упустить оптимальный период для оперативного вмешательства у лиц с агрессивными опухолями и высоким риском рецидива после хирургической резекции или лучевой терапии [55].

Заключение

Возможности дифференциальной диагностики ПВО путем визуальной оценки МРТ-изображений детально изучены, однако надежное разграничение этих новообразований на основе МРТ-семиотики нередко затруднено. Это связано с недостаточной информативностью ряда признаков, а также с наличием одинаковых или сходных томографических особенностей при различных видах опухолей.

Интерес к изучению проблемы распознавания ПВО на основе принципов радиомики постоянно растет, что обусловлено стремлением улучшить диагностический потенциал МРТ, используя нарастание доступных для исследователей вычислительных мощностей, совершенствование математического аппарата машинного обучения и методов

распознавания образов, среди которых наиболее перспективным представляется текстурный анализ опухолей.

В то же время, для полного раскрытия потенциала радиомики при ПВО и её широкого внедрения в клиническую практику требуется, по нашему мнению, дальнейшая разработка следующих направлений:

1. Расширение сферы применения радиомики при ПВО. Существующие диагностические модели работоспособны, как правило, в рамках одного вида опухоли и не могут применяться для дифференцирования с другими формами новообразований. Несомненный интерес представляет изучение прогностических возможностей радиомических маркеров как предикторов выбора и оценки эффективности методов лечения.
2. Стандартизация обработки МР-томограмм. Предпочтительно применение методов автоматической или полуавтоматической сегментации, тогда как большинство проведенных исследований основано на ручном выделении опухоли, снижающем воспроизводимость результатов анализа МРТ.
3. Использование всего спектра типов взвешенности МРТ-изображений для получения радиомных признаков, более полно раскрывающих свойства ткани ПВО. Во многих проведенных исследованиях используется только один или два таких типа.
4. Валидационная проверка разработанных радиомических моделей. В основной массе (82%) известных работ отсутствует верификация результатов моделирования на независимой (валидированной) выборке пациентов с ПВО, что снижает клиническое значение полученных результатов.

Несмотря на небольшой объем и ряд ограничений начального этапа реализации концепции радиомики при ПВО, она имеет несомненные научные и практические перспективы, начиная от стратификации риска злокачественности до точной диагностики, прогноза и персонализированного подхода к лечению.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Louis DN, Perry A, Wesseling P, Brat DJ, Cree IA, Figarella-Branger DL, et al. The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary. *Neuro Oncol.* 2021 Aug 2;23(8):1231-1251. doi: 10.1093/neuonc/noab106.
2. Goldbrunner R, Stavrinou P, Jenkinson MD, Sahm F, Mawrin C, Weber DCL, et al. EANO guideline on the diagnosis and management of meningiomas. *Neuro Oncol.* 2021 Jun 28;noab150. doi: 10.1093/neuonc/noab150.
3. Goldbrunner R, Weller M, Regis J, Lund-Johansen M, Stavrinou P, Reuss D, et al. EANO guideline on the diagnosis and treatment of vestibular schwannoma. *Neuro Oncol.* 2020;22(1):31-45. doi:10.1093/neuonc/noz153.
4. Shin DW, Kim JH, Chong S, Song SW, Kim YH, Cho YHL, et al. Intracranial solitary fibrous tumor/hemangiopericytoma: tumor reclassification and assessment of treatment outcome via the 2016 WHO classification. *J Neurooncol.* 2021 Sep;154(2):171-178. doi: 10.1007/s11060-021-03733-7.
5. Ostrom QT, Cioffi G, Gittleman H, Patil N, Waite K, Kruchko C, Barnholtz-Sloan JS. CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2012-2016. *Neuro Oncol.* 2019 Nov 1;21(Suppl 5):v1-v100. doi: 10.1093/neuonc/noz150.
6. Fountain DM, Young AMH, Santarius T. Malignant meningiomas. *Handb Clin Neurol.* 2020;170:245-250. doi:10.1016/B978-0-12-822198-3.00044-6.
7. Осборн А. Г., Зальцман К. Л., Завери М. Д. Лучевая диагностика. Головной мозг. М.: Издательство Панфилова, 2018. 1216 с. [Osborn A.G., Zalzman K.L., Zaveri M.D. *Radiology. Brain.* Moscow, Panfilova Publishing House, 2018. 420p. (in Russ.)]
8. Yeole U, Rao KVLN, Beniwal M, Sivakoti S, Santosh V, Somanna S. Cranial and Spinal Malignant Peripheral Nerve Sheath Tumor: A Pathological Enigma. *J Neurosci Rural Pract.* 2021 Sep 28;12(4):770-779. doi: 10.1055/s-0041-1735325.
9. Islam AI, Mohan M, Moon RDC, Rathi N, Kolamunnage-Dona R, Crofton A, et al. Treatment Outcomes of Incidental Intracranial Meningiomas: Results from the IMPACT Cohort. *World Neurosurg.* 2020;138:e725-e735. doi:10.1016/j.wneu.2020.03.060.
10. McNeill KA. Epidemiology of Brain Tumors. *Neurol Clin.* 2016;34(4):981-998. doi:10.1016/j.ncl.2016.06.014.
11. Sun SQ, Cai C, Murphy RK, DeWees T, Dacey RG, Grubb RL, et al. Management of atypical cranial meningiomas, part 2: predictors of progression and the role of adjuvant radiation after subtotal resection [published correction appears in *Neurosurgery.* 2014 Dec;75(6):733]. *Neurosurgery.* 2014;75(4):356-363. doi:10.1227/NEU.0000000000000462.
12. Laviv Y, Thomas A, Kasper EM. Hypervascular Lesions of the Cerebello-pontine Angle: The Relevance of Angiography as a Diagnostic and Therapeutic Tool and the Role of Stereotactic Radiosurgery in Management. *A Comprehensive Review.* *World Neurosurg.* 2017;100:100-117.
13. Roos DE, Patel SG, Potter AE, Zacest AC. When is an acoustic neuroma not an acoustic neuroma? Pitfalls for radiosurgeons. *J Med Imaging Radiat Oncol.* 2015;59(4):474-479. doi:10.1111/1754-9485.12328.
14. Alatrste-Martínez S, Moreno-Jiménez S, Gutiérrez-Aceves GA, Suárez-Campos JJ, García-Garduño OA, Rosas-Cabral A, et al. Linear Accelerator-Based Radiosurgery of Grade I Intracranial Meningiomas. *World Neurosurg.* 2019;3:100027. Published 2019 Mar 7. doi:10.1016/j.wnsx.2019.100027.
15. Gühr GA, Horvath-Rizea D, Kohlhof-Meinecke P, Ganslandt O, Henkes H, Richter C, et al. Histogram Profiling of Postcontrast T1-Weighted MRI Gives Valuable Insights into Tumor Biology and Enables Prediction of Growth Kinetics and Prognosis in Meningiomas. *Transl Oncol.* 2018;11(4):957-961. doi:10.1016/j.tranon.2018.05.009.
16. Shabani S, Kaushal M, Kaufman B, Knipstein J, Lawlor MW, Lew S, et al. Intracranial Extraskeletal Mesenchymal Chondrosarcoma: Case Report and Review of the Literature of Reported Cases in Adults and Children. *World Neurosurg.* 2019;129:302-310. doi:10.1016/j.wneu.2019.05.221.
17. Dunn IF, Bi WL, Mukundan S, Delman BN, Parish J, Atkins T, et al. Congress of Neurological Surgeons Systematic Review and Evidence-Based Guidelines on the Role of Imaging in the Diagnosis and Management of Patients With Vestibular Schwannomas. *Neurosurgery.* 2018;82(2):E32-E34. doi:10.1093/neuros/nyx510.
18. Stone JA, Cooper H, Castillo M, Mukherji SK. Malignant schwannoma of the trigeminal nerve. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2001;22(3):505-507.
19. Ohba S, Murayama K, Nishiyama Y, Adachi K, Yamada S, Abe M, et al. Clinical and Radiographic Features for Differentiating Solitary Fibrous Tumor/Hemangiopericytoma From Meningioma. *World Neurosurg.* 2019;130:e383-e392. doi:10.1016/j.wneu.2019.06.094.

20. Lin BJ, Chou KN, Kao HW, Lin C, Tsai WC, Feng SW, et al. Correlation between magnetic resonance imaging grading and pathological grading in meningioma. *J Neurosurg.* 2014;121(5):1201-1208. doi:10.3171/2014.7.JNS132359.
21. Ranabhat K, Bishokarma S, Agrawal P, Shrestha P, Panth R, Ghimire RK. Role of MR Morphology and Diffusion-Weighted Imaging in the Evaluation of Meningiomas: Radio-Pathologic Correlation. *JNMA J Nepal Med Assoc.* 2019;57(215):37-44.
22. Adeli A, Hess K, Mawrin C, Streckert EMS, Stummer W, Paulus W, et al. Prediction of brain invasion in patients with meningiomas using preoperative magnetic resonance imaging. *Oncotarget.* 2018;9(89):35974-35982. Published 2018 Nov 13. doi:10.18632/oncotarget.26313.
23. Bečulić H, Skomorac R, Jusić A, Alić F, Mašović A, Burazerović E, et al. Correlation of peritumoral brain edema with morphological characteristics and Ki67 proliferative index in resected intracranial meningiomas. *Acta Clin Croat.* 2019;58(1):42-49. doi:10.20471/acc.2019.58.01.06.
24. Berhouma M, Jacquesson T, Jouanneau E, Cotton F. Pathogenesis of peritumoral edema in intracranial meningiomas. *Neurosurg Rev.* 2019;42(1):59-71. doi:10.1007/s10143-017-0897-x.
25. Lu Z, You Z, Xie D, Wang Z. Apparent diffusion coefficient values in differential diagnosis and prognostic prediction of solitary of fibrous tumor/hemangiopericytoma (WHOII) and atypical meningioma. *Technol Health Care.* 2019;27(2):137-147. doi:10.3233/THC-181447.
26. Shankar JJS, Hodgson L, Sinha N. Diffusion weighted imaging may help differentiate intracranial hemangiopericytoma from meningioma. *J Neuroradiol.* 2019;46(4):263-267. doi:10.1016/j.neurad.2018.11.002.
27. El-Ali AM, Agarwal V, Thomas A, Hamilton RL, Filippi CG. Clinical metric for differentiating intracranial hemangiopericytomas from meningiomas using diffusion weighted MRI. *Clin Imaging.* 2019;54:1-5. doi:10.1016/j.clinimag.2018.10.018.
28. Takeguchi T, Miki H, Shimizu T, Kikuchi K, Mochizuki T, Ohue S, et al. The dural tail of intracranial meningiomas on fluid-attenuated inversion-recovery images. *Neuroradiology.* 2004;46(2):130-135. doi:10.1007/s00234-003-1152-4.
29. Aerts HJ. The Potential of Radiomic-Based Phenotyping in Precision Medicine: A Review. *JAMA Oncol.* 2016 Dec 1;2(12):1636-1642. doi:10.1001/jamaoncol.2016.2631. PMID: 27541161.
30. Larue RT, Defraene G, De Ruyscher D, Lambin P, van Elmpst W. Quantitative radiomics studies for tissue characterization: a review of technology and methodological procedures. *Br J Radiol.* 2017;90(1070):20160665. doi:10.1259/bjr.20160665.
31. Liu Z, Wang S, Dong D, Wei J, Fang C, Zhou X, et al. The Applications of Radiomics in Precision Diagnosis and Treatment of Oncology: Opportunities and Challenges. *Theranostics.* 2019;9(5):1303-1322. Published 2019 Feb 12. doi:10.7150/thno.30309.
32. Armato SG 3rd, McLennan G, Bidaut L, McNitt-Gray MF, Meyer CR, Reeves AP, et al. The Lung Image Database Consortium (LIDC) and Image Database Resource Initiative (IDRI): a completed reference database of lung nodules on CT scans. *Med Phys.* 2011;38(2):915-931. doi:10.1118/1.3528204.
33. van Velden FH, Kramer GM, Frings V, Nissen IA, Mulder ER, de Langen AJ, et al. Repeatability of Radiomic Features in Non-Small-Cell Lung Cancer [(18)F]FDG-PET/CT Studies: Impact of Reconstruction and Delineation. *Mol Imaging Biol.* 2016;18(5):788-795. doi:10.1007/s11307-016-0940-2.
34. Parmar C, Rios Velazquez E, Leijenaar R, Jermoumi M, Carvalho S, Mak RH, et al. Robust Radiomics feature quantification using semiautomatic volumetric segmentation. *PLoS One.* 2014;9(7):e102107. Published 2014 Jul 15. doi:10.1371/journal.pone.0102107.
35. Liu Y, Kim J, Qu F, Liu S, Wang H, Balagurunathan Y, et al. CT Features Associated with Epidermal Growth Factor Receptor Mutation Status in Patients with Lung Adenocarcinoma. *Radiology.* 2016;280(1):271-280. doi:10.1148/radiol.2016151455.
36. Scalco E, Rizzo G. Texture analysis of medical images for radiotherapy applications. *Br J Radiol.* 2017;90(1070):20160642. doi:10.1259/bjr.20160642.
37. Soni N, Priya S, Bathla G. Texture Analysis in Cerebral Gliomas: A Review of the Literature. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2019 Jun;40(6):928-934. doi:10.3174/ajnr.A6075.
38. Lambin P, Leijenaar RTH, Deist TM, Peerlings J, de Jong EEC, van Timmeren J, et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine. *Nat Rev Clin Oncol.* 2017;14(12):749-762. doi:10.1038/nrclinonc.2017.141.
39. He L, Huang Y, Ma Z, Liang C, Liang C, Liu Z. Effects of contrast-enhancement, reconstruction slice thickness and convolution kernel on the diagnostic performance of radiomics signature in solitary pulmonary nodule. *Sci Rep.* 2016;6:34921. Published 2016 Oct 10. doi:10.1038/srep34921.
40. Savio SJ, Harrison LC, Luukkaala T, Heinonen T, Dastidar P, Soimakallio S, et al. Effect of slice thickness on brain magnetic resonance image texture analysis. *Biomed Eng Online.* 2010;9:60. Published 2010 Oct 18. doi:10.1186/1475-925X-9-60.
41. Yang F, Dogan N, Stoyanova R, Ford JC. Evaluation of radiomic texture feature error due to MRI acquisition and reconstruction: A simulation study utilizing ground truth. *Phys Med.* 2018;50:26-36. doi:10.1016/j.ejmp.2018.05.017.
42. Tustison NJ, Avants BB, Cook PA, Zheng Y, Egan A, Yushkevich PA, et al. N4ITK: improved N3 bias correction. *IEEE Trans Med Imaging.* 2010;29(6):1310-1320. doi:10.1109/TMI.2010.2046908.
43. Waugh SA, Purdie CA, Jordan LB, et al. Magnetic resonance imaging texture analysis classification of primary breast cancer. *Eur Radiol.* 2016;26(2):322-330. doi:10.1007/s00330-015-3845-6.
44. Park YW, Oh J, You SC, Han K, Ahn SS, Choi YS, et al. Radiomics and machine learning may accurately predict the grade and histological subtype in meningiomas using conventional and diffusion tensor imaging. *Eur Radiol.* 2019;29(8):4068-4076. doi:10.1007/s00330-018-5830-3.
45. Laukamp KR, Shakirin G, Baeßler B, Thiele F, Zopf D, Große Hokamp N, et al. Accuracy of Radiomics-Based Feature Analysis on Multiparametric Magnetic Resonance Images for Noninvasive Meningioma Grading. *World Neurosurg.* 2019;132:e366-e390. doi:10.1016/j.wneu.2019.08.148.
46. Lu Y, Liu L, Luan S, Xiong J, Geng D, Yin B. The diagnostic value of texture analysis in predicting WHO grades of meningiomas based on ADC maps: an attempt using decision tree and decision forest. *Eur Radiol.* 2019;29(3):1318-1328. doi:10.1007/s00330-018-5632-7.
47. Yan PF, Yan L, Hu TT, Xiao DD, Zhang Z, Zhao HY, et al. The Potential Value of Preoperative MRI Texture and Shape Analysis in Grading Meningiomas: A Preliminary Investigation. *Transl Oncol.* 2017;10(4):570-577. doi:10.1016/j.tranon.2017.04.006.
48. Chen C, Guo X, Wang J, Guo W, Ma X, Xu J. The Diagnostic Value of Radiomics-Based Machine Learning in Predicting the Grade of Meningiomas Using Conventional Magnetic Resonance Imaging: A Preliminary Study. *Front Oncol.* 2019;9:1338. Published 2019 Dec 6. doi:10.3389/fonc.2019.01338.
49. Ke C, Chen H, Lv X, Li H, Zhang Y, Chen M, et al. Differentiation Between Benign and Nonbenign Meningiomas by Using Texture Analysis From Multiparametric MRI. *J Magn Reson Imaging.* 2020;51(6):1810-1820. doi:10.1002/jmri.26976.
50. Chu H, Lin X, He J, Pang P, Fan B, Lei P, et al. Value of MRI Radiomics Based on Enhanced T1WI Images in Prediction of Meningiomas Grade. *Acad Radiol.* 2021;28(5):687-693. doi:10.1016/j.acra.2020.03.034.
51. Li X, Lu Y, Xiong J, Wang D, She D, Kuai X, et al. Presurgical differentiation between malignant haemangiopericytoma and angiomatous meningioma by a radiomics approach based on texture analysis. *J Neuroradiol.* 2019;46(5):281-287. doi:10.1016/j.neurad.2019.05.013.
52. Kanazawa T, Minami Y, Jinzaki M, Toda M, Yoshida K, Sasaki H. Preoperative Prediction of Solitary Fibrous Tumor/Hemangiopericytoma and Angiomatous Meningioma Using Magnetic Resonance Imaging Texture Analysis. *World Neurosurg.* 2018;120:e1208-e1216. doi:10.1016/j.wneu.2018.09.044.
53. He W, Xiao X, Li X, Guo Y, Guo L, Liu X, et al. Whole-tumor histogram analysis of apparent diffusion coefficient in differentiating intracranial solitary fibrous tumor/hemangiopericytoma from angiomatous meningioma. *Eur J Radiol.* 2019;112:186-191. doi:10.1016/j.ejrad.2019.01.023.
54. Nagano H, Sakai K, Tazoe J, Yasuike M, Akazawa K, Yamada K. Whole-tumor histogram analysis of DWI and QSI for differentiating between meningioma and schwannoma: a pilot study. *Jpn J Radiol.* 2019;37(10):694-700. doi:10.1007/s11604-019-00862-y.
55. Gu H, Zhang X, di Russo P, Zhao X, Xu T. The Current State of Radiomics for Meningiomas: Promises and Challenges. *Front Oncol.* 2020;10:567736. Published 2020 Oct 27. doi:10.3389/fonc.2020.567736.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Поступила: 20.04.2022. Принята к публикации: 25.05.2022.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.
Financing. The study had no sponsorship.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors
Article received: 20.04.2022. Accepted for publication: 25.05.2022