

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD81617>

Показатели магнитно-резонансной томографии как радиомные маркеры в дооперационном определении степени злокачественности внемозговых образований

Т.А. Берген, И.А. Сойнов, М.Г. Пустоветова

Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина, Новосибирск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Внемозговые образования — одна из наиболее сложных групп для первичной дифференциальной диагностики. Определение радиомных маркеров и их стандартизация являются основными базовыми проблемами современного этапа развития медицины.

Цель — выявить радиомные маркеры для предоперационной оценки степени злокачественности внемозгового образования.

Материалы и методы. Ретроспективный анализ результатов исследований методом магнитно-резонансной томографии (1,5 Т) 156 пациентов с внемозговыми образованиями. Пациенты были разделены на 2 группы: (1) с наличием перифокальных изменений ($n=106$) и (2) внемозговым образованием без перифокальных изменений ($n=50$). В протокол сканирования были включены диффузионные и перфузионные последовательности. За зону интереса принимали (1) основной очаг и (2) зону перифокальных изменений. Выполнены измерения от основного очага и от зоны перифокальных изменений на картах измеряемого коэффициента диффузии, $T2^*$ -контрастной перфузии (DSC), проведен анализ серий динамического контрастирования (DCE).

Результаты. Максимальный размер основного очага (узла) поражения в 1-й группе составил 2,2 см (1,4; 4,3), во 2-й группе — 1,2 см (0,9; 3,5); ограничение диффузии от основного очага поражения выявлено у 42 (39,6%) человек 1-й группы и у 7 (14%) — 2-й. Максимальный размер перифокальных изменений в 1-й группе составил 2,85 см (1,5; 4,7). Ограничение диффузии от периферической зоны выявлено в 52 (49,1%) случаях. У пациентов 1-й группы с верифицированной менингиомой ($n=66$) путём многофакторного линейного регрессионного анализа выявлено, что максимальный размер основной зоны поражения увеличивал коэффициент объёмного кровотока (rCBF) от зоны перифокальных изменений в 3,3 раза (β coef. 3,3, ДИ 1,27; 5,28; $p=0,003$), однако снижал показатель регионарного объёма крови (rCBV) в 4 раза (β coef. 4, ДИ -7,46; -0,71; $p=0,02$).

Заключение. Перфузионные и диффузионные методы в сочетании с анатомическими последовательностями демонстрируют потенциал и могут выступать радиомическими маркерами при диагностике и лечении внемозговых образований. В дальнейшем наиболее перспективным выглядит выявление радиомических функциональных маркеров от зоны перифокальных изменений.

Ключевые слова: радиомика; внемозговое образование; менингиома; перифокальные изменения; степень злокачественности; диффузия; перфузия.

Как цитировать

Берген Т.А., Сойнов И.А., Пустоветова М.Г. Показатели магнитно-резонансной томографии как радиомные маркеры в дооперационном определении степени злокачественности внемозговых образований // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 4. С. 431–440. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD81617>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD81617>

Use of magnetic resonance imaging features as radiomic markers in pre-operative evaluation of extra-axial tumor grade

Tatyana A. Bergen, Ilya A. Soynov, Mariya G. Pustovetova

E. Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Extra-axial tumors are one of the tumor groups with difficult primary differential diagnostics. Detection and standardization of radiomic markers are one of the main problems of our time.

AIM: To detect radiomic markers for preoperative assessment of extra-axial tumor grade.

MATERIALS AND METHODS: This study retrospective analyzed the magnetic resonance imaging (1.5 T) data of 156 patients with extra-axial tumors. Patients were divided into 2 groups: Group 1 ($n=106$) with perifocal changes and Group 2 ($n=50$) with extra-axial tumors without perifocal changes. Diffusion and perfusion sequences were included in the scanning protocol. The areas of interest include (1) the lesion and (2) the area of perifocal changes. Measurements were made from the lesion and the area of perifocal changes on ACD and DSC maps, DCE was analyzed.

RESULTS: The maximum lesion size in Group 1 was 2.2 cm (1.4; 4.3), whereas in 1.2 cm in Group 2 (0.9; 3.5). In Group 1, the diffusion restriction from the lesion was detected in 42 patients (39.6%), whereas 7 (14%) in Group 2. The maximum size of perifocal changes in Group 1 was 2.85 cm (1.5; 4.7). Diffusion restriction was detected in 52 (49.1%) cases. In Group 1, patients with verified meningioma multivariable linear regression analysis showed 3.3-times increase of rCBF of the maximum size of the lesion from the area of perifocal changes (β coef. 3.3, CI: 1.27; 5.28), $p=0.003$; however, it demonstrated a 4-time decrease of rCBF (β coef. 4 CI: -7.46; -0.71), $p=0.02$.

CONCLUSIONS: Perfusion and diffusion methods combined with anatomical sequences show potential use as radiomic markers for diagnostic assessment and treatment of extra-axial tumors. Further detection of radiomic functional markers from the area of perifocal changes has potential.

Keywords: extra-axial tumors; meningioma; perifocal changes; malignancy grade; diffusion; perfusion.

To cite this article

Bergen TA, Soynov IA, Pustovetova MG. Use of magnetic resonance imaging features as radiomic markers in pre-operative evaluation of extra-axial tumor grade. *Digital Diagnostics*. 2021;2(4):431–440. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD81617>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD81617>

磁共振成像指标作为术前确定脑外组织恶性程度的放射标记物

Tatyana A. Bergen, Ilya A. Soynov, Mariya G. Pustovetova

E. Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation

简评

论证。脑外结构是最难进行初级鉴别诊断的组之一。放射组标志物的测定及其标准化是现代医学发展阶段的主要基础问题。

目标是确定用于术前评估脑外肿块恶性程度的放射组标记。

材料与方法回顾性分析使用磁共振成像 (1.5 T) 对 156 名脑外形成患者的研究结果。将患者分为 2 组: (1) 存在病灶周围改变 ($n=106$) 和 (2) 无病灶周围改变的脑外肿块 ($n=50$)。扩散和灌注序列包括在扫描协议中。感兴趣的区域被定义为 (1) 主要焦点和 (2) 焦点周围变化的区域。从主焦点和测量扩散系数图上的焦周变化区域进行测量, T2*-对比灌注 (DSC), 进行动态对比增强 (DCE) 系列分析。

结果。第 1 组主要病灶 (节点) 的最大尺寸为 2.2 厘米 (1.4; 4.3), 第 2 组为 1.2 厘米 (0.9; 3.5); 第 1 组 42 人 (39.6%) 和第 2 组 7 人 (14%) 检测到主要病灶扩散受限。第 1 组的最大焦周变化为 2.85 厘米 (1.5; 4.7)。在 52 例 (49.1%) 病例中检测到来自外周区的扩散受限。在第 1 组确诊脑膜瘤患者 ($n=66$) 中, 多元线性回归分析显示, 主要病变区的最大尺寸使病灶周围变化区的体积血流系数 (rCBF) 增加了 3.3 倍 (β coef. 3.3, CI 1.27; 5.28; $p=0.003$), 但将局部血容量 (rCBV) 降低了 4 倍 (β coef. 4, CI -7.46; -0.71; $p=0.02$)。

结论。灌注和扩散方法与解剖序列相结合显示出潜力, 可以作为诊断和治疗脑外病变的放射组学标志物。未来, 最有希望的是从焦周变化区域识别放射功能标志物。

关键词: 放射组学; 脑外教育; 脑膜瘤; 焦周变化; 恶性程度; 扩散; 灌注。

To cite this article

Bergen TA, Soynov IA, Pustovetova MG. 磁共振成像指标作为术前确定脑外组织恶性程度的放射标记物. *Digital Diagnostics*. 2021;2(4):431-440. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD81617>

收到: 02.10.2021

接受: 15.11.2021

发布日期: 30.11.2021

ОБОСНОВАНИЕ

В медицинских изображениях скрыто огромное количество информации, поэтому в последнее десятилетие в медицине активно развивается радиомика [1]. Перспективно выглядит изучение текстурного анализа для дифференциальной диагностики и функционального анализа, определение прогноза заболевания [2]. Наиболее востребован метод радиомики в онкологии [3]. Однако в начале каждой работы с использованием нового диагностического метода перед исследователями возникает проблема распознавания радиомических маркеров.

Одной из наименее изученных тем в нейрорадиологии являются внеозговые интракраниальные образования. Из внеозговых интракраниальных образований менингиомы относятся к наиболее часто встречающимся [4]. В литературе подробно описаны различные варианты менингиом [5]. При этом примерно в 15% случаев следует говорить об атипичных менингиомах со степенью злокачественности G2 или более [6]. Современные методы патоморфологии позволяют устанавливать степень злокачественности по одному критерию, а именно наличию четырёх митозов в поле зрения, что свидетельствует о развитии атипичной менингиомы [7]. Однако выявление радиомных маркеров и проведение дальнейших работ в этом направлении может позволить в рамках предоперационной диагностики сделать вывод о степени злокачественности образования, что окажет влияние не только на тактику хирургического вмешательства, но и, как следствие, на улучшение результатов лечения.

При наличии очаговой патологии врачу-рентгенологу необходимо определить генез образования, оценить локализацию (внутриозговое или внеозговое), а также сделать всё возможное, чтобы предположить степень злокачественности при опухолевом генезе. На современном этапе развития медицины не существует точных томографических критериев, позволяющих отличить менингиому от схожих патологий, таких как гемангиоперицитомы [7] или солитарная фиброзная опухоль твёрдой мозговой оболочки. Таким образом, при первичной диагностике или гистологически не верифицированном образовании безосновательно использовать термин «менингиома». В таких случаях в клинической практике при выполнении исследований методом магнитно-резонансной томографии (МРТ), возможно, стоит использовать термины «внеозговое образование» или «новообразование мозговых оболочек», согласно Международной классификации болезней. Пожалуй, наиболее важной задачей при первичной диагностике опухоли является не определение её гистологического типа, а предположение степени злокачественности выявленного новообразования.

Цель исследования — выявить радиомные маркеры для предоперационной оценки степени злокачественности внеозгового образования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Наблюдательное одноцентровое ретроспективное неконтролируемое исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения: наличие интракраниального образования с изменениями в кортико-субкортикальных отделах, а также результатов послеоперационного патоморфологического исследования; данные диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ), динамического контрастирования (DCE) и T2*-контрастной перфузии (DSC) в протоколе сканирования.

Критерии исключения: отсутствие патоморфологической верификации; отсутствие DCE и/или DSC в протоколе сканирования.

Условия проведения

Проведён ретроспективный анализ данных МРТ краиниальной зоны. МРТ выполнено в период с 2017 по 2021 г.

Описание медицинского вмешательства

Аналізу были подвергнуты протоколы МРТ краиниальной области. Все исследования выполнены на аппарате Philips Achieva 1,5 T (Нидерланды) с использованием многоканальной головной катушки. При выполнении МРТ головного мозга в рамках протокола сканирования анализу подвергались следующие последовательности: T2-ВИ (взвешенные изображения), T1-ВИ, FLAIR (Fluid-attenuated inversion recovery — *восстановление инверсии с ослаблением жидкости*), ДВИ (максимальный b-фактор 1000 с/мм²) с последующим автоматическим построением карт измеряемого коэффициента диффузии (ИКД).

Методика контрастирования. Доза контрастного препарата делилась на два введения. При первом введении выполнялось динамическое контрастирование (dynamic contrast enhanced, DCE). Сразу после окончания сбора данных DCE выполнялось второе введение контрастного вещества и проводился сбор данных T2* контрастной перфузии (dynamic susceptibility contrast, DSC). По окончании DSC без дополнительного введения контрастного вещества выполнялась T1-взвешенная 3D-последовательность, а потом T1 спиновое эхо в аксиальной плоскости. При оценке перфузии использованы относительные значения (отношение к симметрично расположенному неизменённому участку в противоположном полушарии).

Сегментация изображений и выявление радиомных маркеров. По полученным данным полуавтоматическим способом сначала выполнялась сегментация основного очага и зоны перифокальных изменений опытным врачом-рентгенологом (опыт работы в онко- и нейрорадиологии более 15 лет), затем — измерения от основного

очага и от зоны перифокальных изменений на картах ИКД, DSC и анализировалось DCE.

Основной исход исследования

Первичная конечная точка: внеозговое образование по данным МРТ.

Дополнительные исходы исследования

Вторичная конечная точка: качественная оценка картины диффузии по данным ДВИ; результаты количественной оценки значений ИКД; оценка динамической кривой от зоны перифокальной инфильтрации; оценка перфузионных карт.

Анализ в подгруппах

Участники исследования разделены на 2 группы: 1-я — пациенты с наличием перифокальных изменений; 2-я (группа сравнения) — с внеозговым образованием без перифокальных изменений.

Методы регистрации исходов

Всем пациентам после МРТ выполнено оперативное лечение и проведена патоморфологическая верификация образования.

Этическая экспертиза

В работе проведён анализ базы данных учреждения. При госпитализации все пациенты подписывают информированное согласие на обработку персональных данных, в том числе медицинской документации, в целях осуществления Центром учебного процесса, научных исследований, публикации в научной литературе при условии соблюдения врачебной тайны.

Статистический анализ

Принципы расчёта размера выборки. При планировании и проведении исследования размер выборки для достижения требуемой статистической мощности результатов не рассчитывался. В связи с этим полученная в ходе исследования выборка участников не может считаться в достаточной степени репрезентативной, что не позволяет экстраполировать полученные результаты и их интерпретацию на генеральную совокупность аналогичных пациентов за пределами исследования.

Методы статистического анализа данных. Для анализа данных использовали программу Stata 13 (StataCorpLP, CollegeStation, TX, США). Нормальность распределения признаков оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка. Условие равенства дисперсий распределения признаков рассчитывали по критерию Левена. Для описательной статистики нормально распределённых признаков с равенством дисперсий использовали вычисление средних значений и стандартных отклонений. Качественные переменные представлены в виде чисел (%), количественные переменные — в виде медианы (25-й;

75-й процентиль), если не указано другое (Q1; Q3). Выполнен регрессионный анализ для выявления предикторных переменных при бинарной переменной отклика с использованием показателей простой и множественной логистической регрессии. Регрессия пропорциональных рисков использована для оценки связи между одной и более непрерывными или категориальными переменными до наступления неблагоприятного события. Уровень значимости для всех используемых методов установлен как $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

Согласно критериям включения, в исследование включено 156 пациентов. Средний возраст $50,63 \pm 6,41$ года.

Пациенты разделены на 2 группы: с наличием перифокальных изменений ($n=106$; 1-я группа), с внеозговым образованием без перифокальных изменений ($n=50$; 2-я группа). Патоморфологические характеристики представлены в табл. 1.

Основные результаты исследования

Максимальный размер основного очага (узла) поражения в 1-й группе составил 2,2 см (1,4; 4,3), во 2-й группе — 1,2 см (0,9; 3,5); ограничение диффузии от основного очага поражения в 1-й группе выявлено у 42 (39,6%) человек, во 2-й группе — у 7 (14%).

Максимальный размер перифокальных изменений в 1-й группе составил 2,85 см (1,5; 4,7). Ограничение диффузии от периферической зоны выявлено в 52 (49,1%) случаях.

В 1-й группе было определено значение ИКД как от самого выявленного очага, так и от зоны перифокальных изменений при различных патологиях (табл. 2). Значение ИКД от прилежащей к узлу мозговой ткани во 2-й группе составило $0,71 \pm 0,07 \times 10^{-3}$ мм²/с.

При проведении многофакторного линейного регрессионного анализа у пациентов 1-й группы с верифицированной менингиомой ($n=66$) выявлено,

Таблица 1. Патоморфологическая характеристика выявленных образований

Патоморфологическая характеристика	Число пациентов, <i>n</i>
Абсцесс головного мозга	2
Метастатическое поражение (рак молочной железы или рак лёгкого)	30
Типичные менингиомы G1	100
Атипичные менингиомы G2-3	16
Гемангиобластома G1	1
Невринома G1	7

Таблица 2. Диффузионные и перфузионные показатели перифокальных изменений при различной патологии головного мозга в группе 1

Патология головного мозга	ИКД ($\times 10^{-3}$ мм ² /с)		DSC относительно контралатерального полушария		DCE	
	от узла	от перифокальных изменений	от узла	от перифокальных изменений	от узла	от перифокальных изменений
Типичная менингиома G1	1,52±0,95	1,78±0,73	Не изменены, могут быть несколько повышены	Не изменены или понижены	Различные	Различные
Атипичная менингиома G2–G3	0,72± 0,05	1,13±0,86	Повышение rCBF, снижение rCBV	Повышение rCBF, снижение rCBV	Различные	Различные
Метастаз	1,03± 0,15	1,55±0,23	Повышены	Не изменены или понижены	Различные	Не изменены, нет раннего накопления
Невринома	1,2±0,04	1,56±0,06	Не изменены или понижены	Не изменены или понижены	Не изменены, нет раннего накопления	Не изменены, нет раннего накопления
Абсцесс	0,63± 0,04	1,26±0,06	Понижены	Не изменены или понижены	Нет раннего накопления	Не изменены, нет раннего накопления

Примечание. ИКД — измеряемый коэффициент диффузии; DSC — T2* перфузия; DCE — динамическое контрастирование.

что максимальный размер основной зоны поражения увеличивал коэффициент объёмного регионарного мозгового кровотока (regional cerebral blood flow, rCBF) от зоны перифокальных изменений в 3,3 раза (β coef. 3,3; доверительный интервал 1,27; 5,28), $p=0,003$ (рис. 1), однако снижал объём мозгового кровотока (cerebral blood volume, rCBV) в 4 раза (β coef. 4; ДИ -7,46; -0,71), $p=0,02$ (рис. 2).

При анализе значений DCE во 2-й группе не выявлена корреляционная связь между размером опухоли и DCE

от зоны перифокальных изменений в отличие от показателей перфузионных карт (рис. 3).

Дополнительные результаты исследования

Для внедрения результатов работы в клиническую практику при впервые выявленном внеозговом образовании предложен алгоритм использования методик МРТ (рис. 4).

Нежелательные явления

Отсутствовали.

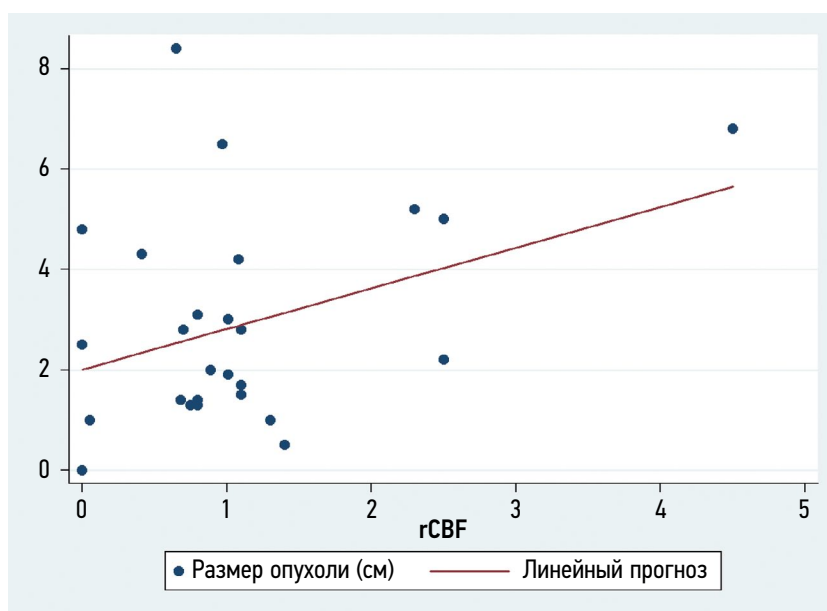


Рис. 1. Линейный регрессионный анализ: связь между размером опухоли и rCBF.

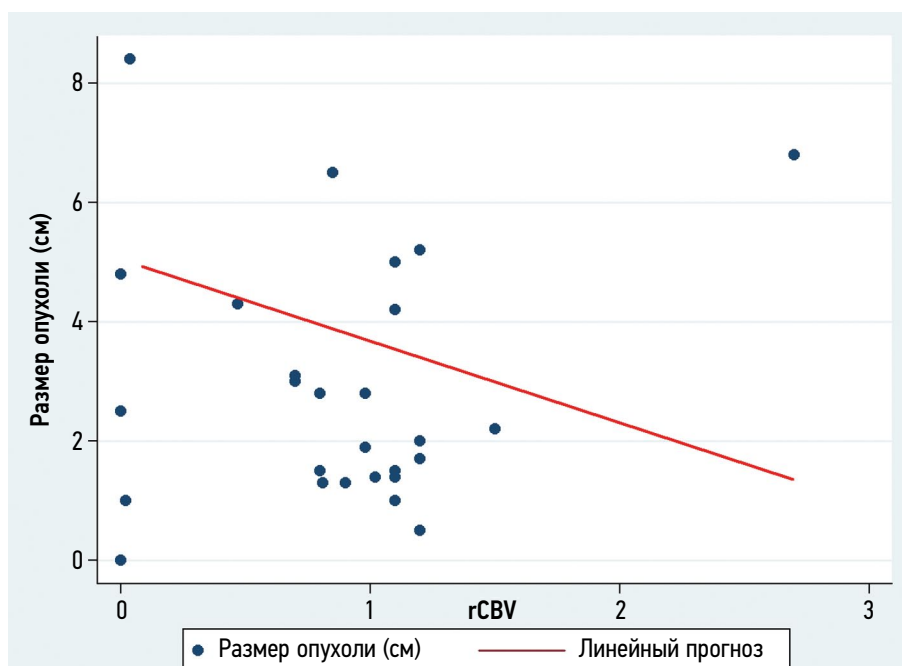


Рис. 2. Линейный регрессионный анализ: связь между размером опухоли и rCBV.

ОБСУЖДЕНИЕ

Радиомические маркеры позволяют получать новые результаты из давно используемых медицинских изображений. При этом радиомика является недавно зародившейся и бурно развивающейся областью, и на данный период времени все работы сосредоточены на сегментации

основного опухолевого очага, а работ, которые изучают тканевые характеристики вокруг образования, в мировой литературе практически нет.

Наиболее изученной областью в нейрорадиологии являются глиомы. Имеются работы, обсуждающие результаты оценки перифокальных изменений при глиомах [8], где вокруг глиальной опухоли формируется опухолевая инфильтрация. В то же время перифокальные изменения при внеозговых образованиях изучены недостаточно. Нам удалось найти очень ограниченное число работ, в которых изучались перифокальные изменения при внеозговых образованиях [9].

Помимо этого, показатели, которые используются в радиомике, не стандартизированы, как и используемые МРТ-последовательности, что делает и сам процесс, и результаты работ трудно тиражируемыми и масштабируемыми. Имеется совсем небольшое количество работ по выявлению эффективных радиомических маркеров.

Резюме основного результата исследования

В ходе работы были изучены показатели, которые выглядят наиболее перспективно для использования при дальнейшем развитии радиомики. К таким показателям относятся ДВИ, значения ИКД и перфузионные показатели. Был проведён многофакторный линейный регрессионный анализ корреляции показателей (ДИ $-7,46$; $-0,71$), $p=0,02$ (см. рис. 2).

При анализе значений DCE во 2-й группе не выявлена корреляционная связь между размером опухоли и DCE-значениями.

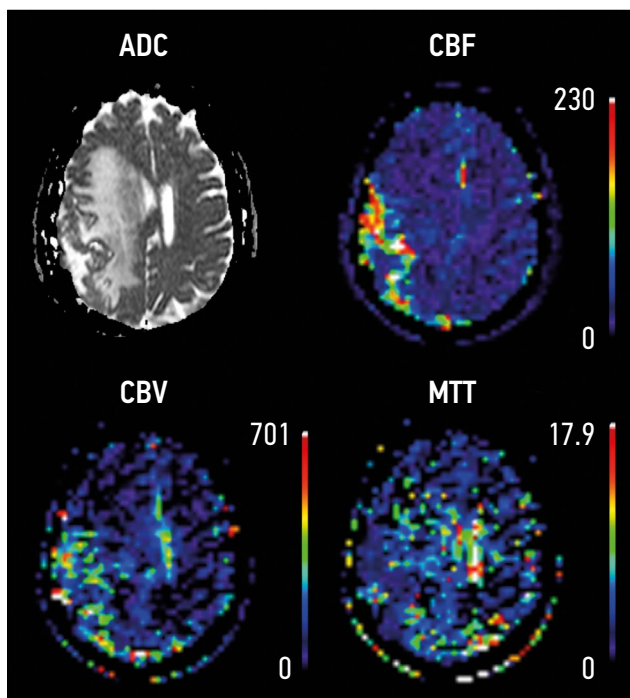


Рис. 3. Атипичная менингиома: ADC — карта измеряемого коэффициента диффузии; CBF — карта скорости мозгового кровотока; CBV — карта объёма мозгового кровотока; MTT — карта средней скорости прохождения.

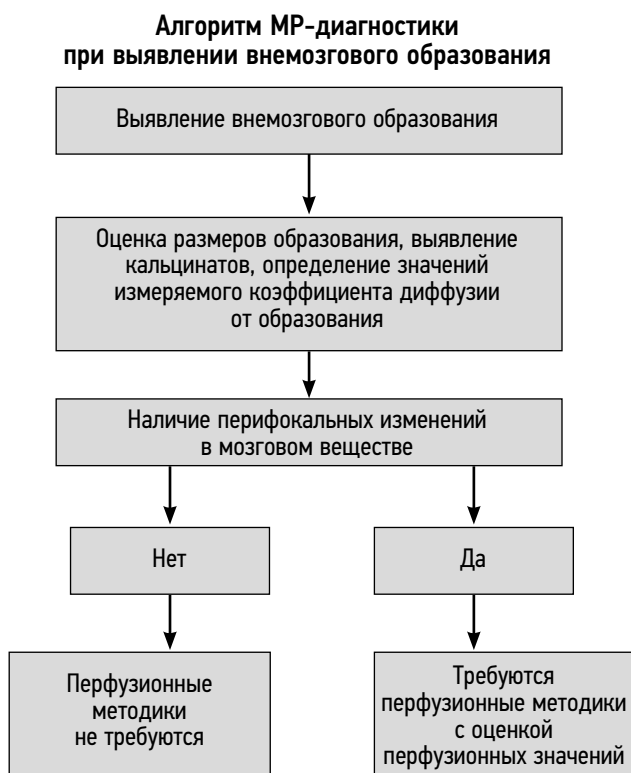


Рис. 4. Алгоритм МР-диагностики впервые выявленного внеозгового образования.

Обсуждение основного результата исследования

В клинической практике при обнаружении внеозгового новообразования на МРТ важно оценить не только структуру образования, но и выявить или исключить именно перифокальные изменения, поскольку в нашей работе в группе пациентов без перифокальных изменений не было выявлено ни одной злокачественной менингиомы. Таким образом, результат нашей работы демонстрирует, что отсутствие перифокальных изменений практически исключает злокачественность выявленного образования.

В клинической практике с целью исключения перифокальных изменений при наличии у пациента внеозгового образования достаточно использовать FLAIR как последовательность, при которой инфильтративные или отёчные изменения становятся наиболее демонстративными. Нужно учитывать, что отсутствие перифокальных изменений не гарантирует отсутствия атипичии в данной опухоли, равно как и при наличии перифокальных изменений не всегда будет получена атипичная морфологическая картина. Однако ввиду сложности дифференциальной диагностики и отсутствия прямых критериев, указывающих на атипичию, есть ярко выраженная необходимость использовать все критерии, в том числе косвенные. Набор косвенных критериев в большинстве случаев и будет определять решение врача-рентгенолога.

При выявлении перифокальных изменений на МРТ важно оценить их генез (ишемия, вазогенный

или цитотоксический отёк, инфильтрация). На сегодняшний день в каждом протоколе сканирования головного мозга используются ДВИ. Ишемические изменения мозга на ДВИ подробно изучены в отличие от перифокальных изменений при внеозговых образованиях. При дифференциальной диагностике выявленных изменений важно анализировать не только наличие ограничения диффузии, но и ИКД карты. Это необходимо, в первую очередь, для исключения эффекта T2-просвечивания и исключения ложноположительных результатов, во-вторых — для определения значения ИКД.

Согласно результатам нашего исследования, получены разные значения ИКД как от самого узла, так и от перифокальных изменений. При этом нужно отметить, что значение ИКД от прилежащего мозгового вещества при наличии внеозгового образования, но при отсутствии перифокальных изменений, составило $0,71 \pm 0,07 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$. Факт статистически значимой разницы в значениях ИКД от мозгового вещества и от перифокальных изменений при менингиомах является прогностически интересным в плане его учёта для дооперационного предположения о степени злокачественности.

На наш взгляд, важным ограничивающим фактором, влияющим на значение ИКД, является наличие кальцинатов в структуре самого образования, так как они будут исказить значение или сделать совершенно невозможным его адекватный подсчёт. Однако наличие кальцинатов в структуре менингиомы является явным признаком отсутствия в ней роста, и, как следствие, развитие в ней атипичии клеток становится ещё менее вероятной [10].

Другой методикой, применяемой нами в рамках этой работы, послужила методика МР-перфузии. В настоящем исследовании для изучения выявленных изменений использовали два типа МР-перфузии с применением контрастного вещества — Dynamic susceptibility contrast (DSC) и dynamic contrast enhanced (DCE). В литературе описано применение перфузионных методик при множестве патологий [11, 12]. При исследовании головного мозга DCE может быть включено в протокол сканирования для оценки проницаемости сосудистой стенки [13, 14].

По данным литературы, в дифференциальной диагностике типичной и атипичной менингиомы использование перфузионных методов представляется целесообразным. Однако, по результатам нашей работы и ещё ряда авторов, важно оценивать именно перифокальные изменения для принятия адекватного решения о предполагаемой степени злокачественности [15].

Наибольшее повышение перфузионных значений относительно противоположного полушария будет наблюдаться в случаях ангиоматозной менингиомы [15] и атипичной менингиомы, что продемонстрировано и в нашей работе.

При дальнейшем динамическом наблюдении и отсутствии гистологической верификации, на наш взгляд, может быть применён разработанный алгоритм,

но с обязательной оценкой роста самого образования и появления/нарастания перифокальных изменений.

При наличии гистологической верификации в анамнезе использование перфузионных методик не требуется при типичной менингиоме (G=1). В этом случае для оценки продолженного роста или рецидива достаточно контрастирования без использования перфузионных протоколов, но нельзя забывать о необходимости оценки атрофических изменений мозгового вещества в зоне оперативного вмешательства. При подтверждении атипичии менингиомы (G=2–4) перфузионные методики необходимы для оценки динамики изменений. При выполнении динамического исследования атипичных менингиом необходимо учитывать, какой вид хирургического лечения был выполнен пациенту (хирургическое удаление, лучевая терапия, эмболизация афферентов опухоли и пр.). Данный подход аналогичен протоколу мониторинга глиом.

При увеличении размера самой опухоли и наличии перифокальных изменений очевидна необходимость использования оценки перфузионных карт в корреляции со значением ИКД как предиктора степени злокачественности.

Ограничения исследования

Результат нашей работы относительно DCE свидетельствует о том, что вопрос использования DCE для оценки степени злокачественности внеозгового образования в клинической практике остаётся открытым и требует дальнейшего изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перфузионные и диффузионные методы в сочетании с анатомическими последовательностями демонстрируют

потенциал и могут выступать радиомическими маркерами при диагностике и лечении внеозговых образований. В дальнейшем наиболее перспективным выглядит выявление радиомических функциональных маркеров от зоны перифокальных изменений.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Т.А. Берген, И.А. Соинов — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, анализ полученных данных, написание текста статьи; М.Г. Пустоветова — анализ полученных данных, написание текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. T.A. Bergen, I.A. Soynov — research concept and design, processing and analysis, writing the manuscript; M.G. Pustovetova — processing and analysis, writing the manuscript. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mahmoud M.A., Shihab M., Saad S.S., et al. Imaging differentiation of malignant hepatic tumors: radiomics and metabolic features of 18F-FDG PET/CT // *REJR*. 2021. Vol. 11, N 2. P. 165–170. doi: 10.21569/2222-7415-2021-11-1-230-237
2. Lambin Ph., Rios-Velazquez E., Leijenaar R., et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis // *Eur J Cancer*. 2012. Vol. 48, N 4. P. 441–446. doi: 10.1016/j.ejca.2011.11.036
3. Singh G., Manjila S., Sakla N., et al. Radiomics and radiogenomics in gliomas: a contemporary update // *Br J Cancer*. 2021. Vol. 125, N 5. P. 641–657. doi: 10.1038/s41416-021-01387-w
4. Xiaoaí K., Qing Z., Lei H., Junlin Z. Differentiating microcystic meningioma from atypical meningioma using diffusion-weighted imaging // *Neuroradiology*. 2020. Vol. 62, N 5. P. 601–607. doi: 10.1007/s00234-020-02374-3
5. Backer-Grøndahl T., Moen B.H., Torp S.H. The histopathological spectrum of human meningiomas // *Int J Clin Exp Pathol*. 2012. Vol. 5, N 3. P. 231–242.
6. Aslan K., Gunbey H.P., Tomak L., Incesu L. The diagnostic value of using combined MR diffusion tensor imaging parameters to dif-

- ferentiate between low- and high-grade meningioma // *Br J Radiol*. 2018. Vol. 91, N 1088. P. 20180088. doi: 10.1259/bjr.20180088
7. Louis D., Perry A., Reifenberger G., et al. The 2016 World Health Organization Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary // *Acta Neuropathol*. 2016. Vol. 131, N 6. P. 803–820. doi: 10.1007/s00401-016-1545-1
8. Upadhyay N., Waldman A. Conventional MRI evaluation of gliomas // *Br J Radiol*. 2011. Vol. 84, N 2. P. S107–S111. doi: 10.1259/bjr/65711810
9. Hale A., Wang L., Strother M., Chambless L. Differentiating meningioma grade by imaging features on magnetic resonance imaging // *J Clin Neuroscience*. 2018. Vol. 48. P. 71–75. doi: 10.1016/j.jocn.2017.11.013
10. Schneider J., Kulason K., White T., et al. Management of tiny meningiomas: to resect or not resect // *Cureus*. 2017. Vol. 9, N 7. P. e1514. doi: 10.7759/cureus.1514
11. Heye A.K., Culling R.D., Hernández M.C., et al. Assessment of blood-brain barrier disruption using dynamic contrast-enhanced MRI. A systematic review // *Neuroimage Clin*. 2014. Vol. 6. P. 262–274. doi: 10.1016/j.nicl.2014.09.002

12. Jelescu I., Leppert I., Narayanan S., et al. Dual-temporal resolution dynamic contrast-enhanced MRI protocol for blood-brain barrier permeability measurement in enhancing multiple sclerosis lesions // *J Magnetic Resonance Imaging*. 2011. Vol. 33, N 6. P. 1291–1300. doi: 10.1002/jmri.22565
13. Essig M., Shiroishi M., Nguyen T., et al. Perfusion MRI: the five most frequently asked technical questions // *Am J Roentgenol*. 2013. Vol. 200, N 1. P. 24–34. doi: 10.2214/ajr.12.9543

14. Sourbron S., Buckley D. Classic models for dynamic contrast-enhanced MRI // *NMR Biomed*. 2013. Vol. 26, N 8. P. 1004–1027. doi: 10.1002/nbm.2940
15. Siempis T., Tsakiris C., Alexiou G.A., et al. Diagnostic performance of diffusion and perfusion MRI in differentiating high from low-grade meningiomas: A systematic review and meta-analysis // *Clin Neurol Neurosurg*. 2020. Vol. 190. P. 105643. doi: 10.1016/j.clineuro.2019.105643

REFERENCES

1. Mahmoud MA, Shihab M, Saad SS, et al. Imaging differentiation of malignant hepatic tumors: radiomics and metabolic features of 18F-FDG PET/CT. *REJR*. 2021;11(2):165–170. doi: 10.21569/2222-7415-2021-11-1-230-237
2. Lambin Ph, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur J Cancer*. 2012;48(4):441–446. doi: 10.1016/j.ejca.2011.11.036
3. Singh G, Manjila S, Sakla N, et al. Radiomics and radiogenomics in gliomas: a contemporary update. *Br J Cancer*. 2021;125(5):641–657. doi: 10.1038/s41416-021-01387-w
4. Xiaoi K, Qing Z, Lei H, Junlin Z. Differentiating microcystic meningioma from atypical meningioma using diffusion-weighted imaging. *Neuroradiology*. 2020;62(5):601–607. doi: 10.1007/s00234-020-02374-3
5. Backer-Grøndahl T, Moen BH, Torp SH. The histopathological spectrum of human meningiomas. *Int J Clin Exp Pathol*. 2012;5(3):231–242.
6. Aslan K, Gunbey HP, Tomak L, Incesu L. The diagnostic value of using combined MR diffusion tensor imaging parameters to differentiate between low- and high-grade meningioma. *Br J Radiol*. 2018;91(1088):20180088. doi: 10.1259/bjr.20180088
7. Louis D, Perry A, Reifenberger G, et al. The 2016 World Health Organization Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary. *Acta Neuropathol*. 2016;131(6):803–820. doi: 10.1007/s00401-016-1545-1
8. Upadhyay N, Waldman A. Conventional MRI evaluation of gliomas. *Br J Radiol*. 2011;84(2):S107–S111. doi: 10.1259/bjr/65711810

9. Hale A, Wang L, Strother M, Chambless L. Differentiating meningioma grade by imaging features on magnetic resonance imaging. *J Clin Neuroscience*. 2018;48:71–75. doi: 10.1016/j.jocn.2017.11.013
10. Schneider J, Kulason K, White T, et al. Management of tiny meningiomas: to resect or not resect. *Cureus*. 2017;9(7):e1514. doi: 10.7759/cureus.1514
11. Heye AK, Culling RD, Hernández MC, et al. Assessment of blood-brain barrier disruption using dynamic contrast-enhanced MRI. A systematic review. *Neuroimage Clin*. 2014;6:262–274. doi: 10.1016/j.nicl.2014.09.002
12. Jelescu I, Leppert I, Narayanan S, et al. Dual-temporal resolution dynamic contrast-enhanced MRI protocol for blood-brain barrier permeability measurement in enhancing multiple sclerosis lesions. *J Magnetic Resonance Imaging*. 2011;33(6):1291–1300. doi: 10.1002/jmri.22565
13. Essig M, Shiroishi M, Nguyen T, et al. Perfusion MRI: the five most frequently asked technical questions. *Am J Roentgenol*. 2013;200(1):24–34. doi: 10.2214/ajr.12.9543
14. Sourbron S, Buckley D. Classic models for dynamic contrast-enhanced MRI. *NMR Biomed*. 2013;26(8):1004–1027. doi: 10.1002/nbm.2940
15. Siempis T, Tsakiris C, Alexiou GA, et al. Diagnostic performance of diffusion and perfusion MRI in differentiating high from low-grade meningiomas: A systematic review and meta-analysis. *Clin Neurol Neurosurg*. 2020;190:105643. doi: 10.1016/j.clineuro.2019.105643

ОБ АВТОРАХ

* **Берген Татьяна Андреевна**, к.м.н.;
адрес: Россия, 630055, Новосибирск, ул. Речкуновская, д. 15;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1530-1327>;
eLibrary SPIN: 5467-7347; e-mail: tbergen@yandex.ru

Сойнов Илья Александрович, к.м.н.;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3691-2848>;
eLibrary SPIN: 8973-2982; e-mail: i_soynov@mail.ru

Пустоветова Мария Геннадьевна, д.м.н., профессор;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2409-8500>;
eLibrary SPIN: 4694-2576; e-mail: patophysiol@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Tatyana A. Bergen**, MD, Cand. Sci (Med);
address: 15, Rechkunovskaya str., Novosibirsk, 630055, Russia;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1530-1327>;
eLibrary SPIN: 5467-7347; e-mail: tbergen@yandex.ru

Ilya A. Soyнов, MD, Cand. Sci (Med);
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3691-2848>;
eLibrary SPIN: 8973-2982; e-mail: i_soynov@mail.ru

Mariya G. Pustovetova, MD, Dr. Sci. (Med), Professor;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2409-8500>;
eLibrary SPIN: 4694-2576; e-mail: patophysiol@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author