

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。

目的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*动态磁敏感对比 (DSC), 进行动态对比增强 (DCE) 系列分析。

结果。第 1 组主要病灶 (结节) 的最大尺寸为 2.2 厘米 (1.4; 4.3), 第 2 组的为 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

论证

医学图像中隐藏着大量的信息，这就是为什么在过去十年中放射组学在医学领域得到积极发展的原因[1]。纹理分析用于鉴别诊断和功能分析的研究，确定疾病的预后看起来很有希望[2]。放射组学方法是目前肿瘤学领域最需要的方法[3]。然而，在使用新的诊断方法的每一项工作的开始，研究人员面临着识别放射组学标记的问题。

神经放射学中研究最少的课题之一是脑外颅内形成。在脑外颅内形成中，脑膜瘤是最常见的脑膜瘤之一[4]。文献中已经详细描述了脑膜瘤的各种变体[5]。同时，在大约15%的病例中，应该讨论恶性程度为G2或以上的非典型脑膜瘤[6]。现代病理形态学方法可以通过一种标准来判断肿瘤的恶性程度，即视野内存在四次核分裂，提示非典型性脑膜瘤的发展[7]。然而，放射性标记物的检测和该领域的进一步工作可能会使术前诊断推断出恶性程度，这不仅会影响手术策略，而且也会因此而改善治疗效果。

如果有局灶性病变，放射科医生必须确定肿块的成因，评估其定位（脑内或脑外），如果成因是肿瘤性的，要尽一切可能推断其恶性程度。在目前的医学水平上，还没有准确的影像学标准来区分脑膜瘤和类似的病变，如血小板瘤[7]或硬脑膜的单发纤维化肿瘤。因此，将脑膜瘤一词用于初级诊断或未经组织学验证的肿块是没有必要的。在这种情况下，在临床实践中，根据国际疾病分类（International Classification of Diseases），在磁共振成像（MRI）检查中可能应使用脑外肿块或脑膜肿瘤的术语。在肿瘤的初步诊断中，最重要的任务也许不是确定其组织学类型，而是推测所发现的肿瘤的恶性程度。

研究目的是确定用于术前评估脑外肿块恶性程度的放射组学标记。

材料与方 法

研究设计

一个观察性的、单中心的、回顾性的、不受控制的研究。

遵从准则

纳入标准：存在颅内肿块，有皮质及皮层下的改变；有术后病理形态学的发现；扫描方案中的扩散加权成像（DWI）、动态对比度增强方法（DCE）和 T2*动态磁敏感对比（DSC）数据。

排除标准：无病理形态学验证；扫描方案中无DCE和/或DSS。

执行条件

对颅脑MRI数据进行了回顾性分析。2017年至2021年期间进行的磁共振检查。

医疗干预说明

对颅脑MRI方案进行了分析。所有的研究都是 Philips Achieva 1,5 T（荷兰）上进行的，使用的是多通道头部线圈。在脑部MRI扫描方案中分析了以下序列：T2-WI（加权图像）、T1-WI、FLAIR（**液体衰减反转恢复**）、DWI（最大b因子1000s/mm²），然后自动构建表观扩散系数（ADC）。

对比度增强技术。造影剂的剂量被分为两次注射。第一次注射进行了动态对比增强（DCE — dynamic contrast enhanced）。在收集DCE数据后，立即进行第二次注射造影剂，收集T2*动态磁敏感对比（DSC — dynamic susceptibility contrast）数据。在DSC结束时，进行三维加权的T1加权序列，然后在轴向进行T1自旋回波，不需要额外使用造影剂。相对值（与对面半球对称的无变化区域的比率）被用于评估灌注。

图像分割和放射性标志物的识别。首先由一位经验丰富的放射科医生（在放射科和神经放射科有超过15年的经验）以半自动的方式将数据从主病灶和病灶周围区域分割出来，然后从主病灶和病灶周围区域测量ADC图、DSC和DCE分析。

主要研究结果

主要结果：根据MRI显示的脑外肿块。

其他研究结果

次要结果：从DWI数据中对扩散模式进行定性评估；ADC值的量化结果；从病灶周围浸润区评估动态曲线；评估灌注图。

亚组分析

研究参与者被分为两个组：第一组包括有病灶周围变化的患者；第二组（对比组）包括没有病灶周围变化的脑外肿块患者。

结果登记方法

所有患者都接受了手术治疗，并在MRI检查后对肿块进行了病理形态学验证。

伦理审查

该研究分析了该机构的数据库。入院时，所有病人都签署了一份知情同意书，同意为教学、研究和在科学文献中发表的目的处理个人数据，包括医疗记录，但须遵守医疗保密规定。

统计分析

计算样本容量的原则。在计划和进行这项研究时，没有计算达到所需结果统计能力的样本量。因此，研究中获得的参与者样本不能被认为具有充分的代表性，不能将结果及其解释推断到研究之外的类似患者的一般人群中。

统计数据分析方法。Stata 13（StataCorpLP, CollegeStation, TX, 美国）用于数据分析。分

表 1 已确定的肿块的病理形态特征

病理形态学特征	患者总数, <i>n</i>
脑脓肿	2
转移性病变 (乳腺癌或肺癌)	30
典型脑膜瘤G1	100
非典型脑膜瘤G2-3	16
血管母细胞瘤G1	1
神经瘤G1	7

布的正态性用Shapiro-Wilk检验来评估。性状分布的方差相等条件是用Levene检验计算的。对于方差相等的正态分布性状的描述性统计,采用了均值和标准差的计算。定性变量以数字(%)表示,定量变量以中位数(第25位;第75位百分位数)表示,除非有其他说明(Q1;Q3)。采用简单和多重逻辑回归措施进行回归分析,以确定二元反应变量的预测变量。比例风险回归是用来估计不良事件发生前一个或多个连续或分类变量之间的关系。所有使用的方法的显著性水平被设定为 $p < 0.05$ 。

结果

研究对象 (参与者)

根据纳入标准,156名患者被纳入研究。平均年龄为 50.63 ± 6.41 岁。

所有患者在MRI检查后都接受了手术治疗;对肿块进行了病理形态学验证。患者被分为2组:有病灶周围变化 ($n=106$; 第一组),有脑外肿块而无病灶周围变化 ($n=50$; 第二组)。病理形态学特征见表 1。

表 2 第一组不同脑部病变的病灶周围的扩散和灌注指数

大脑病理学	ADC ($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)		相对于对侧半球的DSC		DCE	
	从结节	从病灶周围的变化	从结节	从病灶周围的变化	从结节	从病灶周围的变化
典型脑膜瘤G1	1.52 ± 0.95	1.78 ± 0.73	无变化,可能会有轻微升高	无变化,可能略有升高	不同	不同
非典型脑膜瘤G2-G3	0.72 ± 0.05	1.13 ± 0.86	增加 rCBF, 减少 rCBV	增加 rCBF, 减少 rCBV	不同	不同
转移瘤	1.03 ± 0.15	1.55 ± 0.23	升高	无变化,可能略有升高	不同	无变化,无早期积累
神经鞘瘤	1.2 ± 0.04	1.56 ± 0.06	无变化,可能略有升高	无变化,可能略有升高	无变化,无早期积累	无变化,无早期积累
脓肿	0.63 ± 0.04	1.26 ± 0.06	降低	无变化,可能略有升高	无早期积累	无变化,无早期积累

注: ADC——表观扩散系数; DSC——T2*灌注; DCE——动态对比。

主要研究结果

第一组主要病灶(结节)的最大尺寸为2.2厘米(1.4; 4.3),第二组为1.2厘米(0.9; 3.5);第一组有42人(39.6%)和第二组有7人(14%)检测到主要病灶扩散受限。

第一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。

在第一组中,ADC是由各种病变中确定的病灶和病灶周围的变化面积决定的(表 2)。第二组中来自毗邻的脑组织的ADC值为 $0.71 \pm 0.07 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

对第一组经核实的脑膜瘤患者($n=66$)进行的多变量线性回归分析显示,主病变区的最大尺寸使病灶局部脑血流量(rCBF — regional cerebral blood flow)增加3.3倍($\beta \text{coef. } 3.3$; 置信区间1.27; 5.28), $p=0.003$ (图 1),但脑血容量(rCBV — cerebral blood volume)减少了4倍($\beta \text{coef. } 4$; CI -7.46; -0.71), $p=0.02$ (图 2)。

第二组的DCE值分析显示,肿瘤大小和来自病灶周围变化区域的DCE之间没有相关性,这与灌注图值形成鲜明对比(图 3)。

其他研究结果

已经提出了一个使用MRI技术的算法,将首次脑外肿块的发现引入临床实践(图 4)。

不良事件

没有

讨论

放射性标志物使得从长期使用的医学图像中获得新的结果成为可能。然而,放射组学是一个近

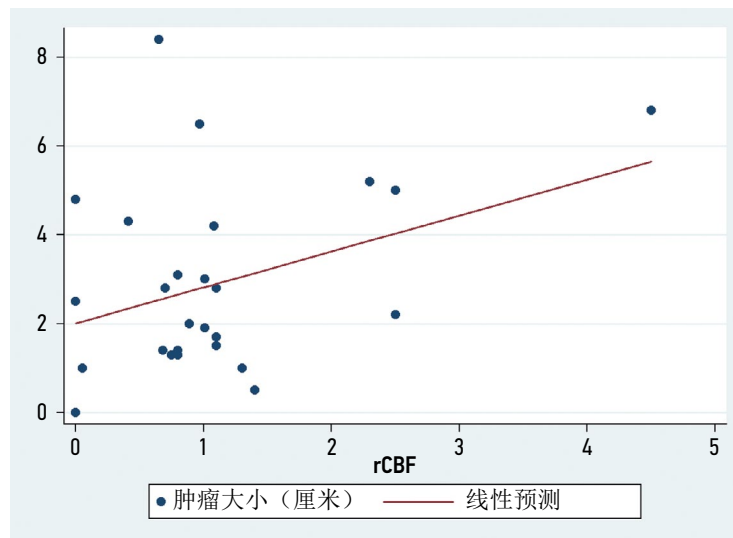


图 1线性回归分析：肿瘤大小与rCBF之间的关系

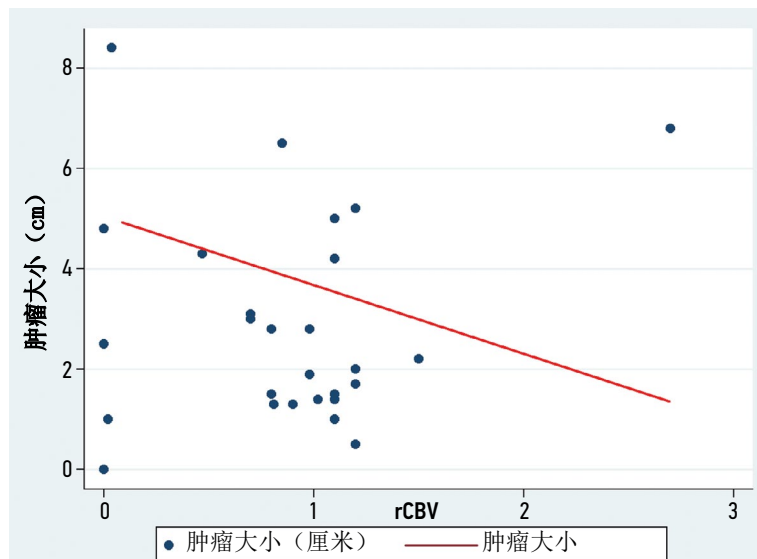


图 2线性回归分析：肿瘤大小与rCBV之间的关系

期迅速发展的领域，到目前为止，所有的工作都集中在主要肿瘤部位的分割上，而研究肿块周围组织特征的工作在全球文献中几乎不存在。

神经放射学中研究最多的领域是胶质瘤。有论文讨论了评估胶质瘤周围变化的结果[8]，在胶质瘤周围形成肿瘤浸润。同时，脑外肿块的病灶周围变化也没有得到充分的研究。我们能够找到非常有限的研究来调查脑外肿块的病灶周围变化[9]。

此外，放射组学中使用的指标没有标准化，使用的核磁共振序列也没有标准化，这使得工作过程和结果都难以复制和扩展。在确定有效的放射标志物方面的工作非常少。

主要研究成果的总结

这项研究审查了那些看起来最有希望用于进一步发展放射组学的指标。这些指标包括DWI、ADC值和灌注值。进行了指标相关性的多变量线性回归分析 (CI -7.46; -0.71)， $p=0.02$ (见图 2)。

在第二组的DCE值分析中，没有观察到肿瘤大小和DCE值之间的相关性。

主要研究成果的讨论

在临床实践中，当MRI检测到脑外肿瘤时，重要的是不仅要评估肿块的结构，还要检测或排除病灶周围的变化，因为在我们的工作中，在一组没有病灶周围变化的患者中没有检测到恶性脑膜瘤。因此，我们研究结果表明，没有病灶周围的变化实际上就排除了所检测到的肿块的恶性程度。

在临床实践中，当患者有脑外肿块时，为了排除病灶周围的变化，只需将FLAIR作为浸润性或水肿性变化最明显的序列。需要注意的是，没有局灶周围改变并不保证该肿瘤不具有异型性，而且在有局灶周围改变的情况下，并不总是能获得非典型的形态学图像。然而，由于鉴别诊断的困难和缺乏表明非典型性的直接标准，非常有必要使用所有的标准，包括间接标准。在大多数情况下，间接标准将决定放射科医生的决定。

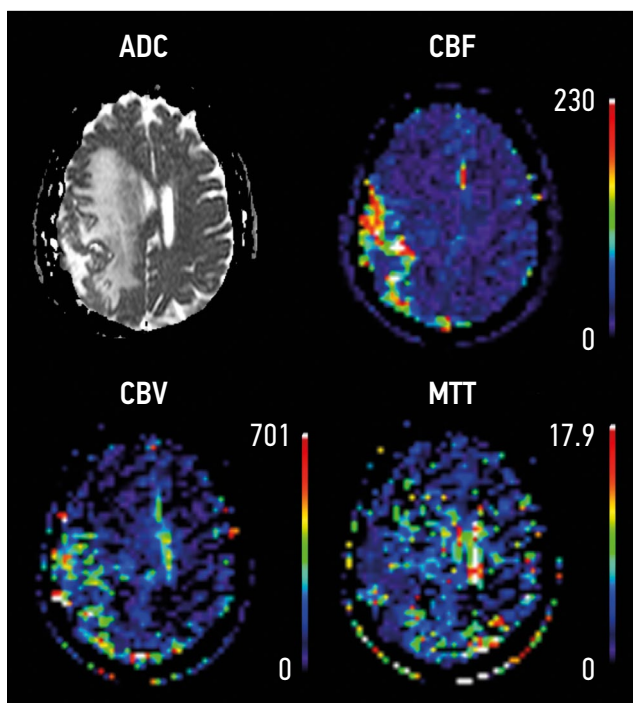


图 3 非典型脑膜瘤：ADC——表观扩散系数；CBF——脑血流量；CBV——脑血容量；MTT——平均排出时间。

如果在MRI上检测到病灶周围的变化，重要的是评估其起源（缺血、血管性或细胞毒性水肿、浸润）。目前每个脑扫描协议都使用DWI。与脑外肿块的病灶周围变化相比，DWI上的大脑缺血变化已被详细研究。在对检测到的变化进行鉴别诊断时，不仅要分析是否存在扩散限制，而且要

分析ADC图。这首先是为了排除T2暴露的影响和避免假阳性，其次是为了确定ADC的价值，这是必要的。

根据我们的研究结果，从结节和病灶周围的变化中获得不同的ADC值。应该指出的是，在存在脑外肿块，但没有病灶周围变化的情况下，来自邻近脑实质的ADC为 $0.71 \pm 0.07 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 。脑膜瘤的ADC值与脑实质和病灶周围的变化存在着统计学上的显著差异，从其术前恶性程度假设的考虑来看，具有预后的意义。

我们认为，影响ADC值的一个重要限制因素是质量本身结构中存在的钙化物，因为它们会扭曲该值或使其完全无法充分计算。然而，脑膜瘤结构中钙化物的存在清楚地表明其中没有生长，因此，其中出现细胞非典型性的可能性更小[10]。

我们在这项研究中使用的另一项技术是磁共振灌注。在本研究中，使用了两种造影剂增强的磁共振灌注，即动态磁敏感对比（DSC — dynamic susceptibility contrast）和动态对比增强（DCE — dynamic contrast enhanced），来研究检测到的变化。文献中已经描述了各种病症的灌注技术[11, 12]。在脑部研究中，DCE可以被纳入扫描方案，以评估血管壁的通透性[13, 14]。

根据文献，在典型和非典型脑膜瘤的鉴别诊断中使用灌注技术似乎是合理的。然而，根据我们和其他一些作者的研究，评估病灶周围的变化是很重要的，以便对假定的恶性肿瘤等级作出适当的决定[15]。

在血管瘤性脑膜瘤[15]和非典型脑膜瘤的病例中，相对于对侧半球的灌注值会有最大的增加，我们的研究也证明了这一点。

随着进一步的动态随访，在没有组织学验证的情况下，我们认为可以应用所开发的算法，但必须对肿块本身的生长和病灶周围变化的出现/增加进行评估。

如果病史有组织学验证，对于典型的脑膜瘤（G=1），没有必要使用灌注技术。在这种情况下，没有灌注方案的造影剂成像足以评估继续生长或复发，但不能忘记需要评估手术区的萎缩性脑实质变化。当脑膜瘤非典型性被确认时（G=2-4），需要灌注技术来评估动态变化。在对非典型脑膜瘤进行动态研究时，必须考虑对患者进行的手术治疗类型（手术切除、放射治疗、肿瘤传入栓塞等）。这种方法与胶质瘤监测方案类似。

随着肿瘤大小和病灶周围变化的增加，显然需要将灌注图评估与ADC值相关联，作为恶性程度的预测指标。

研究的局限性

我们对DCE的工作结果表明，在临床实践中使用DCE评估脑外恶性肿瘤的程度仍然是一个开放的问题，需要进一步研究。

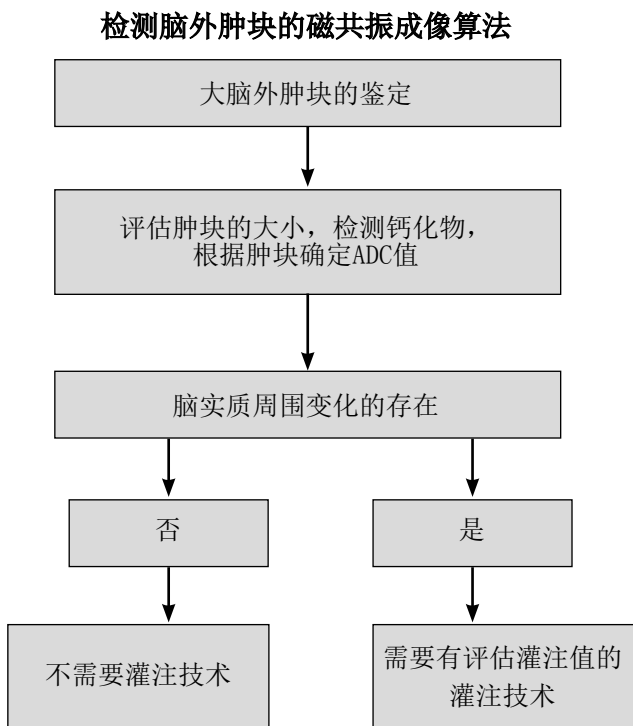


图 4 诊断首次出现的脑外肿块的MRI算法。

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。

附加信息

资金来源。 作者声称，这项研究没有资金支持。

利益冲突。 作者声明，没有明显的和潜在的利益冲突相关的发表这篇文章。

作者的贡献。 T. A. Bergen, I. A. Soinov — 负责研究的构思和设计、材料的收集和处理、所获数据的分析、文章的撰写；M. G. Pustovetova — 负责分析获得的数据并撰写文章。所有作者都确认其作者符合国际ICMJE标准（所有作者为文章的概念、研究和准备工作做出了重大贡献，并在发表前阅读并批准了最终版本）。

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Mahmoud M.A., Shihab M., Saad SS., 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
- 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
- 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
- Xiaoai 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
- 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.
- Aslan K., Gunbey H.P., 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. Vol. 91, N 1088. P. 20180088. doi: 10.1259/bjr.20180088
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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

- 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
- 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
- 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
- Xiaoai 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
- Backer-Grøndahl T, Moen BH, Torp SH. The histopathological spectrum of human meningiomas. *Int J Clin Exp Pathol*. 2012;5(3):231–242.
- 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
- 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

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. Soynov, 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: patophysiology@mail.ru

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: patophysiology@mail.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку