

· 论著 · 头颈 ·

基于流入血管空间占有(iVASO)MRI灌注技术在脑胶质瘤定性诊断与术前分级中的应用研究*

陈超凡^{*} 杨胜娇 肖静 邹雅琪 王伟

南方医科大学第七附属医院医学影像科(广东 佛山 528244)

【摘要】目的 探讨基于流入血管空间占有(iVASO)-MRI灌注技术(MRI)在脑胶质瘤的定性及术前分级诊断中的价值。**方法** 回顾性选取2021年1月至2024年1月我院收治的50例脑胶质瘤或单发脑转移瘤患者的临床资料,均于术前行iVASO-MRI扫描检查,分析iVASO-MRI灌注成像,对于脑胶质瘤患者,进行脑血容量(CBVa)值的比较,包括肿瘤实质区、瘤周水肿区以及对侧健康白质区。同时计算所有患者肿瘤实质区和瘤周水肿区的脑血容量比值,得到相对脑血容量(rCBVa),通过采用ROC曲线评估rCBVa值在诊断不同级别的脑胶质瘤以及不同性质的脑瘤方面的价值。**结果** 脑胶质瘤患者的肿瘤实质区和瘤周水肿区所示CBVa值明显高于对侧健康白质区,且肿瘤实质区CBVa值高于瘤周水肿区($P<0.05$);高级别脑胶质瘤患者肿瘤实质区和瘤周水肿区的rCBVa值均明显高于低级别脑胶质瘤患者,也高于单发脑转移瘤的患者($P<0.05$);ROC曲线分析显示,诊断不同级别脑胶质瘤以及不同性质脑瘤rCBVa值的AUC分别为90.11%、91.03%;阈值分别是3.203、3.181,敏感度是85.40%、86.12%,特异度是89.12%、88.79%。**结论** 由iVASO-MRI所获取的rCBVa值在脑胶质瘤中对不同性质诊断及术前分级评估具有重要的参考价值。

【关键词】 流入血管空间灌注成像(iVASO); 磁共振成像; 小动脉血容量(CBVa); 脑胶质瘤; 定性诊断

【中图分类号】 R445.2

【文献标识码】 A

【基金项目】 佛山市卫生健康局医学科研课题(20240058)

DOI:10.3969/j.issn.1009-3257.2026.1.006

Application of iVASO Based MR Perfusion Technology in Qualitative Diagnosis and Preoperative Grading of Gliomas*

CHEN Chao-fan^{*}, YANG Sheng-jiao, XIAO Jing, ZOU Ya-qi, WANG Wei.

Department of Medical Imaging, The 7th Affiliated Hospital of Southern Medical University, Foshan 528244, Guangdong Province, China

Abstract: Objective Exploring the value of iVASO MRI perfusion technique in the qualitative and preoperative grading diagnosis of gliomas. **Methods** Retrospective selection of clinical data from 50 patients with gliomas or single brain metastases admitted to our hospital from January 2021 to January 2024, all underwent preoperative iVASO-MRI scanning and analysis of iVASO-MRI perfusion imaging. For glioma patients, cerebral blood volume (CBVa) values were compared, including tumor parenchymal area, peritumoral edema area, and contralateral healthy white matter area. Simultaneously calculate the brain blood volume ratio between the tumor parenchymal area and the peritumoral edema area of all patients to obtain the relative brain blood volume (rCBVa). Evaluate the value of rCBVa value in diagnosing different grades of gliomas and brain tumors of different properties using ROC curves. **Results** The CBVa values in the tumor parenchyma area and peritumoral edema area of glioma patients were significantly higher than those in the healthy white matter area on the opposite side, and the CBVa values in the tumor parenchyma area were higher than those in the peritumoral edema area ($P<0.05$); the rCBVa values in the tumor parenchyma and peritumoral edema areas of patients with high-grade gliomas were significantly higher than those of patients with low-grade gliomas, and also higher than those of patients with single brain metastases ($P<0.05$); ROC curve analysis showed that the AUC for diagnosing different grades of gliomas and different types of brain tumors with rCBVa values were 90.11% and 91.03%, respectively; the thresholds are 3.203 and 3.181 respectively, with sensitivity of 85.40% and 86.12%, and specificity of 89.12% and 88.79%. **Conclusion** The rCBVa values obtained from iVASO-MRI have important reference value for the diagnosis of different properties and preoperative grading evaluation in gliomas.

Keywords: Inflow Vascular Spatial Perfusion Imaging (iVASO); Magnetic Resonance Imaging; Small Arterial Blood Volume (CBVa); Glioma of the Brain; Qualitative Diagnosis

脑胶质瘤是起源于中枢神经系统的一类原发性脑肿瘤,主要发生在神经胶质细胞中,神经胶质细胞是脑组织中的一种胶样细胞,包括星形胶质细胞、少突胶质细胞和小胶质细胞等,因此,脑胶质瘤又被称为神经胶质瘤^[1]。这类肿瘤的病理学特征和分级对于治疗方案和患者预后的预测具有重要意义。脑胶质瘤的症状取决于其发生的部位、大小和生长速度,常见症状包括头痛、呕吐、认知障碍、神经系统功能障碍等^[2]。由于这些症状也可能与其他神经系统疾病相似,因此确诊常常需要结合影像学检查、病理学检查和临床症状进行综合评估。近年来,磁共振成像(nuclear magnetic resonance, MRI)已

经成为脑胶质瘤诊断的重要手段之一,然而传统的MRI技术在对血流情况的敏感性和分辨率方面存在一定的局限性。相比之下,基于流入血管空间占有(Inflow into the vascular space in possession, iVASO)-MRI技术通过测定入血流的时间来间接评估组织的灌注状态,能够为肿瘤的诊断提供了更加准确的信息,是当前临床中一种新兴的成像手段,iVASO技术基于动脉自旋标记的方法,通过血液自身作为内源性对照,准确测定肿瘤区域的灌注状态^[3]。对比传统的对照剂增强MRI技术,iVASO-MRI技术避免了对比剂的注射,减少了患者的不适和潜在的过敏反应,同时,iVASO技术还能提供更为准确的定量信

【第一作者】 陈超凡,男,主治医师,主要研究方向:脑肿瘤多模态MRI诊断。E-mail: hter1107@163.com

【通讯作者】 陈超凡

息，为脑胶质瘤的定性诊断提供更可靠的依据。但目前国内少有关于iVASO-MRI技术在脑胶质瘤中的诊断研究，基于此，本研究将进一步深入研究，评估其在提供微血管信息和组织灌注状态方面的优越性，详情见下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究经医院伦理委员会审批通过，回顾性选取2021年1月至2024年1月我院收治的脑胶质瘤或单发脑转移瘤患者50例，男26例，24例；年龄26~75岁；根据2007年世界卫生组织(WHO)^[4]关于中枢神经系统肿瘤的病理分级标准以及病理学检查的结果，对脑胶质瘤进行分级，包括I至IV级。在低级别脑胶质瘤(I至II级)的17例患者中，其中有6例为I级，11例为II级；而在高级别脑胶质瘤(III至IV级)的19例患者中，有9例为III级，10例为IV级；此外包括单发脑转移瘤14例。

纳入标准：所有患者均经均病理及影像学证实符合WHO中枢神经系统肿瘤分类脑胶质瘤或单发脑转移瘤的诊断标准；患者术前均iVASO-MRI技术扫描检查；患者及家属均知情且同意。排除标准：合并其他恶性肿瘤及重大疾病者；存在认知及精神功能障碍。

1.2 检查方法 患者均接受Philips Achieva 3.0T超导磁共振扫描系统检查，采用8通道相控阵头线圈。常规扫描包括T1WI、T2WI、FLAIR及轴位、冠状位和矢状位增强T1WI，扫描参数为视野(FOV)=230mm×230mm，矩阵为512×512，层数为20，层厚5mm，层间隔1mm。

3D iVASO扫描参数如下：在常规增强扫描之前进行，TR/TI=10000/1626、5000/1382、3100/1081、2000/797、1700/691、1300/563ms，TE=16ms，读取序列为3D GraSE(TE=10ms)；FOV=210mm×210mm，体素=3×3×6mm³，层厚=6mm，层数=14，矩阵=80×80，平行采集(SENSE)=2×2，毁损脉冲b=0.3s/mm²，Z轴相位编码速度Venc=10cm/s。控制像扫描(TR=20s，其他参数相同)以计算CBVa绝对值。

1.3 图像分析与数据处理 所有采集的iVASO原始数据以DICOM格式传输至独立的个人电脑，以便进行进一步分析。通过运用统计参数图(SPM)软件包对图像进行校正，接下来使用Matlab软件内置的程序进行后处理。根据抑制像和控制像扫描时间的差异，从而计算得到小动脉血容量(arteriolar cerebral blood volume, CBVa)图。针对分析，选择肿瘤实质区和瘤周水肿区各三个感兴趣区(ROI，大小为25~40mm²)，并进行手工绘制。为确保测量的准确性，特别注意选择较小的ROI面积，以避免临近大血管对数据测量造成的偏差。在手工绘制的ROI中，测量其小动脉血容量(arteriolar cerebral blood volume, CBVa)值。在进行测量时，必须避免涉及肿瘤囊变、坏死和出血的区域，以确保获得准确的血容量值。分别计算肿瘤实质区和瘤周水肿区的CBVa平均值，同时将同侧正常脑白质区的CBVa值作为参考基准。最终，通过计算病变区(包括肿瘤实质区和瘤周水肿区)与对侧白质区的比值，得到的即是相对脑血容量(rCBVa)。上述操作

确保了对血容量值的准确获取，并且能够综合考虑病变区域与健康对照区域的血流差异，有助于更全面地了解病变区的血流动态，并提供相对比较的指标用于进一步的临床评估。

1.4 统计学方法 采用SPSS 20.0对本研究数据进行分析。对于呈正态分布的计量资料，用($\bar{x} \pm s$)表示不同组间差异，两两比较采用t检验或SNK-9检验。在多个时间点的比较方面使用了重复测量方差分析。评价相对脑血容量(rCBV和rCBVa)值在不同级别脑胶质瘤和不同性质脑瘤的诊断价值时采用ROC曲线下面积(AUC)进行分析，计算其诊断阈值、敏感度和特异度，P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 肿瘤不同区域CBVa值比较 脑胶质瘤患者的肿瘤实质区和瘤周水肿区的CBVa值明显高于其对侧健康白质区(P<0.05)。此外，肿瘤实质区的CBVa值也显著高于瘤周水肿区(P<0.05)，见表1。

2.2 不同级别脑胶质瘤肿瘤实质区、瘤周水肿区rCBVa值比较 在36例脑胶质瘤患者中，高级别脑胶质瘤患者的肿瘤实质区和瘤周水肿区的rCBVa值明显高于低级别脑胶质瘤患者(P<0.05)，见表2。

2.3 高级别胶质瘤与单发脑转移瘤rCBVa值比较 高级别胶质瘤患者的肿瘤实质区和肿瘤水肿区的rCBVa值明显高于单发脑转移瘤患者(P<0.05)，见表3。

表1 对比36例脑胶质瘤患者肿瘤不同区域CBVa值(mL/100g)

肿瘤不同区域	n	CBVa
肿瘤实质区	36	109.53±21.03
瘤周水肿区	36	50.26±6.48
健侧白质区	36	32.08±5.49
F		23.510
P		<0.001

表2 对比不同级别脑胶质瘤肿瘤实质区、瘤周水肿区rCBVa值

肿瘤分类	n	肿瘤实质区rCBVa	瘤周水肿区rCBVa
高级别脑胶质瘤	19	5.43±0.80	1.53±0.32
低级别脑胶质瘤	17	2.21±0.56	0.70±0.21
t		4.209	3.509
P		0.010	0.013

表3 对比不同类别脑瘤肿瘤实质区、瘤周水肿区rCBVa值

肿瘤分类	n	肿瘤实质区rCBVa	瘤周水肿区rCBVa
高级别脑胶质瘤	19	5.63±0.89	1.53±0.36
单发脑转移瘤	14	4.06±0.78	0.77±0.33
t		3.698	4.032
P		0.012	0.002

2.4 ROC曲线分析rCBVa值对不同级别脑胶质瘤、不同性质脑瘤的诊断价值 ROC曲线分析结果显示,在对高、低级别脑胶质瘤的分级以及高级别胶质瘤、单发脑转移瘤的诊断中,rCBVa值的AUC分别为90.11%、91.03%;rCBVa值诊断不同级别脑胶质瘤、不同性质脑瘤的诊断阈值分别是3.203、3.181,敏感度是85.40%、86.12%,特异度是89.12%、88.79%,见图1。

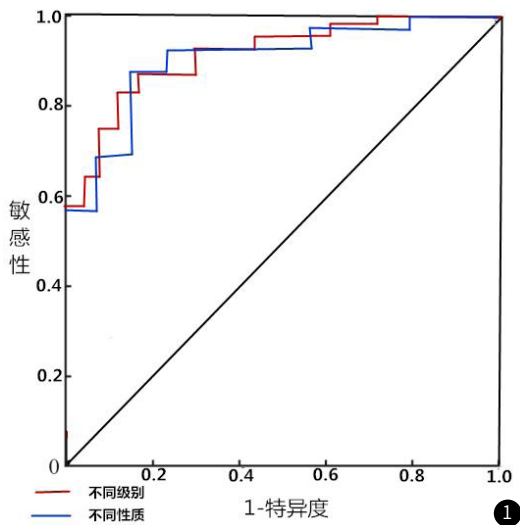


图1 ROC曲线分析rCBVa值对不同级别脑胶质瘤、不同性质脑瘤的诊断价值。

3 讨论

脑胶质瘤是一种起源于脑组织胶质细胞的肿瘤,属于中枢神经系统的原发性肿瘤。通常分为四个等级,从I到IV级,级别越高表示肿瘤越为恶性,IV级的胶质母细胞瘤是最为恶性和侵袭性的类型,治疗难度最大^[5-6]。在脑胶质瘤的诊断和术前评估中,准确获取肿瘤的生物学信息和分级对于指导临床治疗方案的选择和提高患者的预后至关重要。传统的影像学方法,如常规MRI,主要依赖于对肿瘤形态学对比,而肿瘤形态学特异性不高,这使得对于高度异质性的脑胶质瘤,以及与周围正常脑组织之间的微小变化的区分变得困难,在脑胶质瘤的定性诊断和分级方面存在一定限制^[7]。因此,迫切需要一种更为灵敏和特异的影像学技术,以提高脑胶质瘤的定性诊断准确性和术前分级的精度。近年来,iVASO-MRI逐渐引起了研究者的关注。

iVASO-MRI通过血流信号的动态监测,能够提供关于肿瘤微环境和灌注特征的详细信息,更好地揭示肿瘤的血流动力学特征,包括灌注、灌注分布和血流速度等方面的信息,使得研究者可以更清晰地观察到肿瘤的血管供应和周围组织的变化,区分不同类型的脑胶质瘤,尤其是对于异质性较高的病例,提供了更为精准的定性诊断基础^[8]。此外,这种非侵入性的成像技术具有较高的时空分辨率,通过准确监测肿瘤区域的灌注情况,可以更精细地判断肿瘤的恶性程度。相比传统的对比剂增强MRI,iVASO-MRI还是一种无需注射对比剂的非侵入性成像技术,能够避免患者可能面临的对比剂相关的不良反应和过敏问题。然而,尽管iVASO-MRI在理论上具备为脑胶质瘤提供更为准确的定性诊断和术前分级所需的信息的潜力,但其在实际临床应用中的效果和可行性仍然需要深入的研究和验证。因此,本研究将进行深入探讨。CBVa是指单位体积脑

组织中的小动脉血流量,是衡量特定脑区域或整个脑的小动脉血流量的参数之一;rCBVa是指相对于参考区域的小动脉血容量。两者均是通过MRI技术测定的参数,用于评估脑组织中的血流。由于个体间脑血容量存在差异,rCBVa相对于CBVa更具有可比性。rCBVa的计算方法是将肿瘤实质区(或肿瘤周围水肿区)的CBVa值除以对侧相应正常脑实质的CBVa值,可以更加有效地比较不同个体之间的小动脉血流量,这间接地反映了肿瘤内血管的增加程度。因此,rCBVa被认为是颅内肿瘤的诊断、鉴别诊断和分级中最为关键的指标之一^[9]。研究结果显示,在本研究中,肿瘤实质区和瘤周水肿区的CBVa值显著高于对侧健康白质区,且肿瘤实质区的CBVa值明显高于瘤周水肿区($P<0.05$),以上结果说明CBVa值与血流的增加、血管生成和组织新陈代谢的活跃程度相关,在肿瘤实质区和瘤周水肿区观察到的高CBVa值反映了肿瘤组织内新生小动脉的增多,是较多肿瘤生长的典型特征。在对不同级别的脑胶质瘤进行研究时,结果表明高级别脑胶质瘤患者的肿瘤实质区和瘤周水肿区的rCBVa值明显高于低级别脑胶质瘤患者($P<0.05$)。这可能是由于高级别脑胶质瘤具有更为活跃的血流动力学特征,其内部血管密度较大,血流速度较快,与肿瘤的高度恶性、快速生长以及对营养的强烈需求有关^[10]。此外研究结果还发现,肿瘤实质区和肿瘤水肿区的rCBVa值在高级别胶质瘤患者中要高于单发脑转移瘤的患者($P<0.05$),说明胶质瘤血供比转移瘤丰富。ROC曲线分析rCBVa阈值分别为3.203、3.181,能比较准确鉴别出不同级别脑胶质瘤以及不同性质脑瘤,敏感度分别为85.40%、86.12%,特异度分别为89.12%、88.79%,以上结果均清晰地表明,iVASO-MRI在脑胶质瘤不同性质和不同级别的诊断评估方面具有显著的潜力,也证明rCBVa是反映脑胶质瘤血流动力学状态的可靠指标。但本研究中使用的样本容量相对较小,一定程度限制了对研究结果的统计显著性,因此需要临床进行更大规模的研究以更全面地验证。

综上所述,由iVASO-MRI所获取的rCBVa值在脑胶质瘤中对不同性质诊断及术前分级评估具有重要的参考价值。

参考文献

- [1]于丽波,徐广珍. 3D-ASL与DCE-MRI在脑胶质瘤术前分级诊断中的应用研究[J]. 神经损伤与功能重建, 2020, 15 (1): 58-60.
- [2]张露,胡必富. 体素内不相干运动成像与三维动脉自旋标记技术在脑胶质瘤术前分级中的应用进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2020, 43 (5): 544-549.
- [3]刘小阔,李晓丹,华俊,等. 流入血管空间MRI评估皮炎患者肌肉小动脉血容量[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54 (10): 986-991.
- [4]杨学军. 解读《世界卫生组织中枢神经系统肿瘤分类(2007年)》[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2007, 33 (9): 513-517.
- [5]杜常月,齐旭红,温智勇,等. SWI, 3D-ASL及IVIM鉴别高低级别脑胶质瘤的研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (1): 9-11.
- [6]王伟,沈龙山,程雯,等. 基于常规MRI的影像学特征联合MRS在脑胶质瘤术前分级评估及预测术后复发的应用研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (7): 15-18.
- [7]哈热勒哈什·安曼大,巴图尔·吐尔地. 磁敏感加权成像在脑胶质瘤鉴别诊断、术前病理分级及术中的应用[J]. 分子影像学杂志, 2022, 45 (6): 891-896.
- [8]Guo L, Li X, Cao H, et al. Inflow-based vascular-space-occupancy (iVASO) might potentially predict IDH mutation status and tumor grade in diffuse cerebral gliomas[J]. J Neuroradiol, 2022, 49 (3): 267-274.
- [9]耿俊山,徐俊利,李慧敏,等. 磁共振,MSCT灌注成像对恶性脑胶质瘤的诊断及预后评估价值[J]. 临床研究, 2023, 31 (8): 129-132.
- [10]王虎,姚倩东,芮军,顾聪. MR弥散成像(DWI)在脑胶质瘤诊断、术前分型及手术指导中的应用观察[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20 (2): 14-17.

(收稿日期: 2024-02-09)

(校对编辑: 姚丽娜)