

论 著

磁共振DWI技术对贝伐珠单抗联合放射治疗脑胶质瘤术后进展的预测价值*

何晨曦¹ 王伟^{1,*} 冯会玉¹
孟凡然¹ 孟少林² 徐伟¹
高飞¹

1.河北省涿州市医院医学影像科
(河北 涿州 072750)

2.河北一洲肿瘤医院放疗科
(河北 涿州 072759)

【摘要】目的 探讨磁共振弥散加权成像(DWI)技术对贝伐珠单抗联合放射治疗脑胶质瘤(BG)术后进展的预测价值。**方法** 选取2018年4月至2020年4月我院BG患者86例进行回顾性研究。术后1 d行瘤周水肿区(瘤腔周缘以外 ≤ 1 cm之内的区域)DWI检查, 比较不同临床资料患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值, 统计术后1年无进展生存率, 分进展组与未进展组, 比较两组ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值, 分析ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值与BG术后无进展生存的相关性, 受试者工作特征(ROC)曲线分析ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值对术后无进展生存的预测价值, 对比进展组中IV级、III级BG患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值。**结果** IV级BG患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值低于III级BG患者($P<0.05$); 有浸润的BG患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值低于无浸润的BG患者($P<0.05$); 进展组ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值均低于未进展组($P<0.05$); Logistic回归分析显示, ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值均与无进展生存相关($P<0.05$); ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值联合预测无进展生存的AUC值最大0.857, 对应敏感度为92.86%, 特异度为70.69%; 进展组中IV级、III级BG患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论** BG术后瘤周水肿区ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值与贝伐珠单抗联合放射治疗BG术后无进展生存有关, 可作为预测患者术后无进展生存的指标。

【关键词】 磁共振; 弥散加权成像; 表观扩散系数; 脑胶质

【中图分类号】 R445.2

【文献标识码】 A

【基金项目】 保定市科技计划项目(2041ZF346)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.06.004

Predictive Value of Magnetic Resonance DWI Technique for Postoperative Progression of Glioma Patients Treated with Bevacizumab Combined with Radiotherapy*

HE Chen-xi¹, WANG Wei^{1,*}, FENG Hui-yu¹, MENG Fan-ran¹, MENG Shao-lin², XU Wei¹, GAO Fei¹.

1. Medical Imaging Department of Zhuozhou Hospital, Zhuozhou 072750, Hebei Province, China

2. Radiotherapy Department of Hebei Yizhou Cancer Hospital, Zhuozhou 072750, Hebei Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the predictive value of magnetic resonance diffusion-weighted imaging (DWI) technology in the postoperative progression of bevacizumab combined with radiation therapy for brain glioma (BG). **Methods** A retrospective study of 86 BG patients in our hospital from April 2018 to April 2020 were selected. DWI was performed on the peritumoral edema area (area outside the periphery of the tumor cavity within ≤ 1 cm) at 1 d after the operation. The ADC_{mean}, rADC_{mean}, ADC_{min}, and ADC_{max} values of patients with different clinical data were compared. According to the progression at 1 year after operation, they were divided into progression group and non-progression group. The ADC_{mean}, rADC_{mean}, ADC_{min}, and ADC_{max} values of the two groups were compared. The correlation between ADC_{mean}, rADC_{mean}, ADC_{min}, ADC_{max} values and progression after BG were analyzed. The predictive value of ADC_{mean}, rADC_{mean}, ADC_{min}, and ADC_{max} to predict postoperative progression were analyzed through receiver operating characteristic (ROC) curve. The ADC_{mean}, rADC_{mean}, ADC_{min}, ADC_{max} values of IV级 and III级 BG patients in the progression group were compared. **Results** ADC_{mean}, rADC_{mean}, ADC_{min} and ADC_{max} values of IV级 BG patients were lower than those of III级 BG patients ($P<0.05$); ADC_{mean}, rADC_{mean}, ADC_{min} and ADC_{max} values of the progression group were lower than those of the non-progression group ($P<0.05$); Logistic regression analysis showed that ADC_{mean}, rADC_{mean}, ADC_{min}, ADC_{max} values were all related to progression ($P<0.05$); The combination of ADC_{mean}, rADC_{mean}, ADC_{min}, and ADC_{max} values had a maximum AUC value of 0.857 for predicting progression, with a corresponding sensitivity of 92.86% and a specificity of 70.69%; There was no statistically difference of the ADC_{mean}, rADC_{mean}, ADC_{min}, and ADC_{max} values of IV级 and III级 BG patients in the progression group ($P>0.05$). **Conclusions** ADC_{mean}, rADC_{mean}, ADC_{min}, ADC_{max} values of peritumoral edema after BG are related to the progression of bevacizumab combined with radiotherapy after BG, and can be used as an index to predict postoperative progression of patients.

Keywords: Magnetic Resonance; Diffusion Weighted Imaging; Apparent Diffusion Coefficient; Glioma

脑胶质瘤(Brain glioma, BG)是颅内原发性肿瘤中最好发的恶性肿瘤, 具有治愈率低、复发率高、死亡率高的特点^[1]。目前, 手术切除仍是治疗BG的首选方式, 但由于BG浸润性生长的特点, 手术难以彻底切除病灶, 术后即使辅以放化疗、分子靶向治疗等治疗, 肿瘤复发风险仍较高^[2-3]。因此, 探索简便、敏感、特异的影像学方法及定量指标评价BG术后复发风险, 争取早期针对性治疗, 提高患者无进展生存率具有重要临床价值。磁共振弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)是测量体内水分子扩散的无创功能成像技术之一, 表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)表示真实活组织水分子弥散情况, 反映组织病理和生理变化^[4]。已有研究报道, ADC值在BG术后复发鉴别诊断中具有良好应用价值^[5]。BG术后瘤周水肿是常见并发症, 主要有两个形成因素, 术前瘤周水肿和手术引起水肿, 含大量浸润的肿瘤细胞, 与患者预后密切相关^[6-7]。研究显示, ADC值可反映BG瘤周水肿内肿瘤细胞的浸润情况^[8], 而关于瘤周水肿ADC对BG术后无进展生存的预测价值, 临床鲜有研究。基于此, 本研究尝试探讨不同方法测量的BG术后瘤周水肿不同的ADC值对贝伐珠单抗联合放射治疗BG术后无进展生存的预测价值, 以此评估BG术后无进展生存率, 为临床防治提供理论依据。报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2018年4月至2020年4月我院BG患者86例进行回顾性研究。

纳入标准: 均经手术和病理确诊为BG; 首次治疗; 病理学、影像学检查资料完整; 术后均接受贝伐珠单抗联合放射治疗; 术后存在瘤周水肿; 随访记录完整。排除标准: 体内有磁铁类物质; 精神心理异常; 妊娠或哺乳期女性。

1.2 方法 (1)资料收集: 包括年龄、性别、肿瘤部位、病理分级、组织学类型。(2)术后1 d行瘤周水肿区(瘤腔周缘以外 ≤ 1 cm之内的区域)MRI检查: GE HDXT 3.0T超导磁共振检查设备, 高分辨率八通道头相控线圈, 检查序列包括磁共振平扫、常规增强及DWI。DWI检查序列: 平面回波脉冲(EPI)序列TR/TE=4800/75, b值=0和1000 s/mm²,

【第一作者】 何晨曦, 男, 主治医师, 主要研究方向: 中枢神经系统影像诊断。E-mail: hechenxi0101@126.com

【通讯作者】 王伟, 男, 副主任医师, 主要研究方向: 中枢神经系统影像诊断。E-mail: wwmj@163.com

3个垂直平面的扩散梯度，层间距1 mm，层厚6.5 mm，矩阵160×160，扫描范围24 cm×24 cm。DWI图像传至GEAW2.0后处理工作站，由1名放射科副主任以上医师在ADC图上放置感兴趣区域(ROI)，通过functool软件自动计算ADC值，包括ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}。rADC_{mean}=患侧ADC_{mean}值/对侧镜像正常脑实质ADC_{mean}值。(3)治疗方法：均行显微镜下开颅脑肿瘤切除术，术后2~4周进行放疗，西门子PRIMUS-M型直线加速器6 mV-X线适形放疗，原发灶外放2.5 cm放疗，常规分割DT 2.0 Gy/f，DT 40 Gy/20 f/28 d，缩野原发灶外放1.0 cm局部加量，DT 20 Gy/10 f/14 d，总剂量DT 60 Gy/30 f/42 d。同时给予贝伐珠单抗(齐鲁制药有限公司，国药准字S20190040，100mg:4mL)5~10 mg/kg，静滴，1次/2~3周，持续治疗3个月。

1.3 统计学处理 采用SPSS 22.0统计分析软件，计数资料以率表示，2组间比较采用 χ^2 检验；符合正态分布的计量资料采用($\bar{x} \pm s$)表示，组间比较用独立样本t检验，组内对比采用配对t检验；影响因素采用Logistic回归分析；预测价值采用受试者工作特征(Receiver operating characteristic curve, ROC)曲线分析，获取AUC、置信区间、敏感度、特异度及cut-off值，联合预测实施Logistic二元回归拟合，返回预测概率logit(p)作为独立检验变量。均采用双侧检验， $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 不同临床资料患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值比较 不同年龄、年龄、肿瘤部位、组织学类型患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值比较，差异无统计学意义($P>0.05$)；IV级BG患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值低于III级BG患者($P<0.05$)；有浸润的BG患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值低于无浸润的BG患者($P<0.05$)。见表1。

表1 不同临床资料患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值($\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)

临床资料	例数	ADC _{mean}	t、F/P	rADC _{mean}	t、F/P	ADC _{min}	t/P	ADC _{max}	t、F/P
年龄	≤40岁	38	1.18±0.16	0.519/0.605	1.21±0.18	0.440/0.661	1.08±0.19	0.444/0.658	1.24±0.23
	>40岁	48	1.16±0.19		1.19±0.23		1.06±0.22		1.22±0.26
性别	男	58	1.18±0.17	0.752/0.454	1.21±0.22	0.618/0.538	1.06±0.20	0.621/0.537	1.24±0.27
	女	28	1.15±0.18		1.18±0.19		1.09±0.23		1.21±0.25
肿瘤部位	大脑半球	72	1.17±0.20	0.350/0.727	1.20±0.21	0.164/0.870	1.07±0.18	0.374/0.710	1.23±0.26
	其他部位	14	1.15±0.17		1.19±0.20		1.05±0.20		1.22±0.25
病理分级	III级	57	1.09±0.19	5.344/<0.001	1.12±0.18	5.108/<0.001	0.99±0.19	5.059/<0.001	1.14±0.23
	IV级	29	1.33±0.21		1.36±0.25		1.23±0.24		1.41±0.28
组织学类型	星形细胞瘤	33	1.16±0.18	0.097/0.907	1.19±0.19	0.214/0.808	1.06±0.19	0.233/0.792	1.21±0.25
	少突胶质细胞瘤	29	1.18±0.19		1.19±0.20		1.09±0.18		1.24±0.29
	多形性胶质母细胞瘤	24	1.17±0.16		1.22±0.18		1.06±0.21		1.25±0.26
浸润情况	有	31	1.08±0.17	3.404/0.001	1.11±0.15	3.821/<0.001	0.98±0.16	4.057/<0.001	1.13±0.15
	无	55	1.22±0.19		1.25±0.17		1.12±0.15		1.29±0.18

表2 进展组与未进展组ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值($\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)

组别	例数	ADC _{mean}	rADC _{mean}	ADC _{min}	ADC _{max}
进展组	28	1.03±0.18	1.06±0.20	0.93±0.19	1.10±0.18
未进展组	58	1.24±0.22	1.27±0.23	1.14±0.22	1.29±0.24
t		4.388	4.133	4.329	3.711
P		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

2.2 进展组与未进展组ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值 86例脑胶质瘤患者，术后1年进展28例，无进展58例，无进展生存率67.44%(58/86)。进展组ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值均低于未进展组($P<0.05$)。见表2。

2.3 ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值与BG术后无进展生存的相关性 以BG患者术后生存情况为因变量(未进展赋值为0，进展赋值为1)，以ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值为自变量(<均值赋值为0，≥均值赋值为1)，纳入Logistic回归分析模型，结果显示，ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值降低均是进展危险因素($P<0.05$)。见表3。

2.4 ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值对BG术后进展的预测价值 以进展组ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值作为阳性样本，以未进展组ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值作为阴性样本，绘制各指标预测BG术后进展的ROC曲线，结果显示，ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值预测BG术后进展的AUC分别为0.776、0.773、0.821、0.795；应用SPSS软件的联合应用ROC理论模式，构建各指标联合预测的ROC模型，结果显示，联合预测AUC值0.857，大于单独预测($P<0.05$)。见图1、表4。

2.5 进展组中IV级、III级BG患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值及典型病例 进展组中，IV级BG 20例，III级BG 8例。进展组中IV级、III级BG患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值比较，差异无统计学意义($P>0.05$)。见表5。患者，男，38岁，左侧额叶胶质母细胞瘤(WHO IV级)术后1月进行DWI技术检查(图2)ADC图：ADC_{mean}为 $0.88 \times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$ ，rADC_{mean}为1.25，ADC_{min}为 $0.72 \times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$ ，ADC_{max}为 $1.16 \times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$ ，患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值联合提示肿瘤易进展，患者术后1年复查，肿瘤进展(图3)。

表3 ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值与BG术后无进展生存的相关性

变量	β	S.E.	Wald χ^2	P	OR	95%CI
ADC _{mean}	-0.979	0.307	10.171	<0.001	0.376	0.192~0.735
rADC _{mean}	-1.010	0.437	5.339	0.004	0.364	0.209~0.635
ADC _{min}	-1.032	0.419	6.064	<0.001	0.356	0.183~0.694
ADC _{max}	-0.871	0.316	7.605	<0.001	0.418	0.215~0.814

表4 ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值对BG术后进展的预测价值

指标	AUC	95%CI	χ^2	P	cut-off值	敏感度(%)	特异度(%)
ADC _{mean}	0.776	0.673~0.859	5.222	<0.001	≤1.05	64.29	86.21
rADC _{mean}	0.773	0.670~0.856	5.412	<0.001	≤1.27	82.86	61.72
ADC _{min}	0.821	0.723~0.895	6.953	<0.001	≤0.95	60.71	81.03
ADC _{max}	0.795	0.694~0.874	6.010	<0.001	≤1.21	85.71	62.07
联合	0.857	0.764~0.923	8.830	<0.001		92.86	70.69

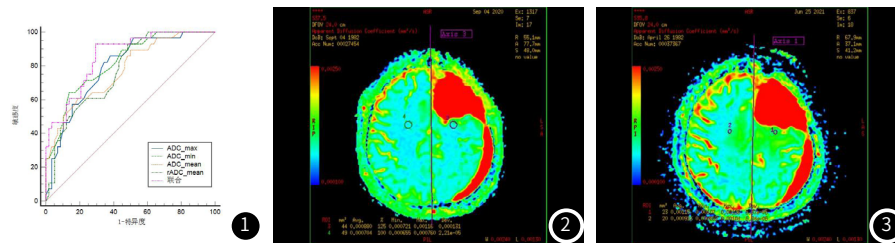


图1 ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值预测BG术后进展的ROC曲线。图2 术后1月。图3 术后1年。

表5 进展组中IV级、III级BG患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值($\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)

组别	例数	ADC _{mean}	rADC _{mean}	ADC _{min}	ADC _{max}
III级BG	8	1.08±0.21	1.11±0.20	0.98±0.22	1.15±0.20
IV级BG	20	1.01±0.19	1.04±0.20	0.91±0.18	1.08±0.19
t		0.856	0.837	0.873	0.868
P		0.400	0.410	0.391	0.393

3 讨论

虽然有很多因素均可对BG进展产生影响,如手术方式、放疗等,但累积资料表明,进展BG位于初诊瘤体周边2 cm范围内达80%^[9-10]。由此可见,多数BG进展极可能是瘤周水肿内残留肿瘤细胞引起。BG术后瘤周水肿内肿瘤细胞的恶性生物学行为可能是术后进展的重要因素。

磁共振检查具有软组织分辨率高、多参数、多平面、多种功能成像等优点,是中枢神经系统影像检查的首选。DWI利用水分子布朗运动的特性,监测水分子扩散并转换成像,可从分子水平反映组织病理与生理变化^[11]。相较于其他功能成像研究,DWI优点有:(1)定量方法简单,易与正常脑组织进行比较;(2)使用快速成像序列和ADC计算软件相结合,检查时间很短,属常规的临床影像学检查方法;(3)与PET相比,空间分辨率更高,显示病变部位与边界更为清楚^[12-13]。分子扩散常用ADC来表示,由于不同组织水分子含量与结构不同,具有不同ADC值,细胞稀疏、囊变或坏死的区域扩散限制程度低,ADC值高,细胞密度高,细胞外间隙狭窄,扩散受限,ADC值低^[14-15]。肿瘤细胞密度是脑肿瘤ADC值的决定因素,他们之间呈显著负线性相关^[16]。BG术后瘤周水肿含大量浸润的肿瘤细胞,对水分子自由扩散产生抑制,但肿瘤细胞并无瘤体内排列的密集,故DWI图无明显异常高信号,而ADC值降低^[17]。本研究显示,IV级BG患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值低于III级BG患者,考虑与IV级BG瘤周水肿存在更多浸润的肿瘤细胞有关。既往研究证实,瘤周水肿累及范围与肿瘤恶性程度有关,而与瘤体大小无明显关系^[18]。组织学类型相同的肿瘤,瘤周水肿累及范围无明显差异,BG恶性程度越高,水肿区域越厚重^[19]。与本研究结论相似。

BG术后,瘤体被切除,而为最大限度保持脑功能,通常未将瘤周水肿完全切除,瘤周水肿内浸润的肿瘤细胞成为日后进展的严重隐患^[20-21]。上述分析可知,根据瘤周水肿ADC值降低情况可评价肿瘤细胞浸润情况,进而为进展预测提供一定参考依据。本研究发现,进展组ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值均低于未进展组,且Logistic回归分析显示,各参数值均与进展相关。客观说明测定瘤周水肿上述参数值或可为临床完善BG进展预警机制提供客观依据。分析原因,ADC值主要客观反映组织细胞内水分子扩散情况,肿瘤细胞密度大,细胞外间隙小,水分子扩散限制,ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值降低,而肿瘤恶性程度越高,对应组织细胞增殖活性越高可进一步增加恶性组织致密性,上述参数值降低^[22]。BG呈浸润性生长恶性程度越高向周围浸润越明显,高级BG甚至可跨过半球向对侧生长^[23]。因此,BG患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值较低时往往代表恶性程度高,肿瘤细胞浸润更明显,术后更易进展。继续ROC曲线分析,ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值预测BG进展的AUC值均较高,联合预测达0.857,高于单独预测,说明临床可同时检测瘤周水肿上述参数值,为预测BG进展风险提供更有效的量化参考依据。ADC_{min}值的AUC值在四种ADC值方法中最大,

有较高的诊断效能,原因可能是ADC_{min}值对应于肿瘤细胞密度最高的区域,也是增殖最活跃的区域,对测量肿瘤侵袭性更敏感。但进展组IV级BG与III级BG患者ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值比较,差异无统计学意义。分析原因,肿瘤进展后的肿瘤组织级别会发生改变。研究报道,部分III级BG进展后生物学行为会发生改变,侵袭性增强,恶性程度增加^[24]。因此,所有进展后的肿瘤ADC值无明显差异。另外,BG术后辅助放疗时,由于缺乏量化评价的影像学依据,通常未把瘤周水肿包括在靶区勾画的范围内,本研究认为,根据ADC值下降情况,适当将瘤周水肿区包含在靶区内,有望降低肿瘤进展风险,但其可靠性及有用性有待于进一步考究。

综上可知,BG术后瘤周水肿区ADC_{mean}、rADC_{mean}、ADC_{min}、ADC_{max}值与贝伐珠单抗联合放射治疗BG术后进展有关,可作为预测患者术后进展的指标,为临床决策、干预等提供参考。

参考文献

- [1]潘峰,吴晓,苏中周,等.3D-ASL技术联合DWI在鉴别脑胶质瘤术后复发与假性进展中的应用价值[J].临床放射学杂志,2018,37(6):904-908.
- [2]Thust SC,Hassanein S,Bisdas S,et al.Apparent diffusion coefficient for molecular subtyping of non-gadolinium-enhancing WHO grade II/III glioma: volumetric segmentation versus two-dimensional region of interest analysis[J].Eur Radiol,2018,28(9):3779-3788.
- [3]周哈,汪建,邓民强.脑恶性胶质瘤术后放疗复发再行手术治疗的临床分析[J].实用癌症杂志,2018,33(11):1847-1849,1859.
- [4]尹子铭,石建军,续秋艳,等.DWI联合MRS对病毒性脑炎和脑低级别胶质瘤的诊断价值[J].中国CT和MRI杂志,2018,16(1):15-18.
- [5]岳金娟.ADC值在脑胶质瘤术后复发诊断中的应用价值[D].山东:青岛大学,2018.
- [6]Blystad I,Warntjes J,Smedby R,et al.Quantitative MRI for analysis of peritumoral edema in malignant gliomas[J].PLOS ONE,2017,12(5):e0177135.
- [7]王茹,王少或,张华鹏,等.瘤体、瘤周水肿区DCE-MRI对弥漫性胶质瘤分级的应用价值[J].磁共振成像,2021,12(6):88-91.
- [8]张晓瑞,中静,王华峰,等.T2DSCPMWI和弥散加权成像在单发脑转移瘤和高级别胶质瘤的诊断中的应用比较[J].中国实验诊断学,2020,24(2):199-203.
- [9]Cho SJ,Kim HS,Chong HS,et al.Radiological Recurrence Patterns after Bevacizumab Treatment of Recurrent High-Grade Glioma: A Systematic Review and Meta-Analysis[J].Korean J Radiol,2020,21(7):908-918.
- [10]符念霞,宋建勋,罗泽斌.多模态MR功能成像技术评估高级别胶质瘤周浸润的价值[J].实用放射学杂志,2019,35(12):1897-1900,1939.
- [11]成旭鸿,张鑫,赵效杰,等.DWI联合ADC在脑肿瘤鉴别诊断中的价值[J].中国肿瘤临床与康复,2019,26(7):773-776.
- [12]王大望,朱建忠,刘辉,等.DCE-MRI测量Ktrans值、Ve值联合ADC值与脑胶质瘤患者MVD及病理分期的相关性[J].中国临床医学影像杂志,2020,31(11):766-769.
- [13]黄珊,曾梦华,唐小平,等.IVIM-DWI在胶质瘤术前分级中的应用及与常规DWI和ASL成像的对照分析[J].放射学实践,2017,32(8):816-820.
- [14]张峰,玄国庆,孙岩松.磁共振弥散加权成像信号强度定量测定对脑胶质瘤术前分级临床意义[J].脑与神经疾病杂志,2019,27(1):51-54.
- [15]Surov A,Meyer HJ,Wienke A.Correlation between apparent diffusion coefficient (ADC) and cellularity is different in several tumors: a meta-analysis[J].Oncotarget,2017,8(35):59492-59499.
- [16]祝翠玲,刘锦花,苏亮,等.近瘤周水肿区ADC及rADC值在鉴别诊断高级别胶质瘤与脑转移瘤中的价值[J].长治医学院学报,2018,32(5):375-378.
- [17]陈争妍.恶性脑胶质瘤术后放疗前的MRI评估[D].河南:郑州大学,2018.
- [18]陈科宇,江普奎.瘤周水肿与高级别胶质瘤预后相关性[J].中国临床神经外科杂志,2021,26(5):352-353,359.
- [19]袁园,李香莹,谈顺,等.鼠脑胶质瘤周水肿组织磁共振灌注成像参数与水通道蛋白-1的相关性[J].实用医学杂志,2019,35(14):2225-2229.
- [20]刘晟.磁共振灌注成像在高级别脑胶质瘤与单发脑转移瘤鉴别诊断中的价值[J].中国医学物理学杂志,2019,36(7):808-810.
- [21]Tang W,Chen Y,Wang X,et al.Expression of CXCR4-motif-chemokine 12 and the receptor CXCR4 in glioma and the effect on peritumoral brain edema[J].Oncol Lett,2018,15(2):2501-2507.
- [22]王超鹏,黄文才,熊飞,等.ADC直方图在高级别胶质瘤与脑单发转移瘤鉴别中的应用价值[J].中国临床神经外科杂志,2018,23(7):449-451.
- [23]黄昊,刘亚斌,白琛,等.1.5T磁共振弥散加权成像对脑神经胶质瘤分级的诊断价值分析[J].解放军医药杂志,2019,31(2):42-45.
- [24]潘峰,诸一吕,姚丽娜,等.3D-ASL技术在高级别脑胶质瘤术后复发诊断与鉴别诊断中的应用[J].医学影像学杂志,2018,28(8):1234-1237.

(收稿日期: 2022-08-25)

(校对编辑: 姚丽娜)