



· 论 著 ·

# DTI定量参数对脑胶质瘤术前分级诊断价值及与肿瘤组织中VEGF、MMP-9表达的相关性

陈程, 董磊, 黄欢

武汉市红十字会医院肿瘤科, 湖北 武汉 430015

**[摘要]** 目的: 探讨磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 弥散张量成像 (diffusion tensor imaging, DTI) 定量参数与脑胶质瘤病理组织中血管内皮生长因子 (vascular endothelial growth factor, VEGF)、基质金属蛋白酶-9 (matrix metalloproteinase-9, MMP-9) 表达的相关性及其对脑胶质瘤术前分级诊断价值。方法: 选取2017年1月—2020年10月武汉市红十字会医院收治的204例脑胶质瘤患者作为研究对象, 根据世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 肿瘤病理学分级将患者分为低级别组 (94例) 和高级别组 (110例)。所有患者术前均接受MRI和DTI检查, 定量测定表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC)、各向异性分数 (fractional anisotropy, FA)、相对ADC (rADC)、相对FA (rFA) 及相对轴向弥散系数 (relative axial diffusivity, rAD) 值; 免疫组织化学法检测术后肿瘤组织中VEGF、MMP-9表达情况。受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线分析DTI定量参数对脑胶质瘤术前分级诊断价值; Spearman分析DTI定量参数与肿瘤组织中VEGF、MMP-9表达的相关性。结果: 高级别组DTI定量参数rADC、ADC、rAD、FA、rFA值分别为 $1.60 \pm 0.44$ 、 $(1.23 \pm 0.32) \times 10^{-9} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $0.98 \pm 0.23$ 、 $0.11 \pm 0.03$ 、 $0.21 \pm 0.06$ , 均低于低级别组 $1.89 \pm 0.39$ 、 $(1.47 \pm 0.31) \times 10^{-9} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $1.16 \pm 0.28$ 、 $0.17 \pm 0.05$ 、 $0.31 \pm 0.11$ , 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 高级别组肿瘤组织中VEGF、MMP-9阳性表达率分别为94.55%、89.09%, 均高于低级别组 (38.30%、46.81%), 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); ROC曲线分析显示, DTI定量参数rADC、ADC、rAD、FA、rFA诊断脑胶质瘤术前分级的曲线下面积 (area under curve, AUC) 分别为0.701 (95% CI: 0.600~0.802)、0.719 (95% CI: 0.619~0.820)、0.704 (95% CI: 0.600~0.809)、0.794 (95% CI: 0.701~0.888)、0.789 (95% CI: 0.694~0.885)。Spearman相关性分析显示, DTI定量参数rADC、ADC、rAD、FA、rFA与患者肿瘤组织中VEGF表达呈负相关 ( $r = -0.206$ 、 $-0.313$ 、 $-0.281$ 、 $-0.379$ 、 $-0.322$ ,  $P$ 均 $< 0.05$ ), 与MMP-9表达呈负相关 ( $r = -0.396$ 、 $-0.235$ 、 $-0.374$ 、 $-0.281$ 、 $-0.260$ ,  $P$ 均 $< 0.05$ )。结论: DTI定量参数与脑胶质瘤患者肿瘤组织中VEGF、MMP-9表达具有一定相关性, 且DTI定量参数有助于脑胶质瘤术前分级诊断。

**[关键词]** 脑胶质瘤; 磁共振成像; 弥散张量成像; 血管内皮生长因子; 基质金属蛋白酶-9

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2021.06.014

中图分类号: R739.41; R445.2 文献标志码: A 文章编号: 2096-6210(2021)06-0512-07

**The value of DTI quantitative parameters in diagnosis the preoperative grading and correlation with the expression of VEGF and MMP-9 in tumor tissues of brain glioma** CHEN Cheng, DONG Lei, HUANG Huan (Department of Oncology, Wuhan Red Cross Hospital, Wuhan 430015, Hubei Province, China)

Correspondence to: CHEN Cheng E-mail: ccheng1986@tom.com

**[Abstract]** **Objective:** To investigate the value of magnetic resonance imaging (MRI) diffusion tensor imaging (DTI) quantitative parameters in diagnosis the preoperative grading and correlation with the expression of vascular endothelial growth factor (VEGF) and matrix metalloproteinase-9 (MMP-9) in pathological tissues of brain glioma. **Methods:** 204 cases of brain glioma were selected as the research objects in Wuhan Red Cross Hospital from January 2017 to October 2020, and they were divided into low-grade group (94 cases) and high-grade group (110 cases) according to who tumor pathological grading. All patients were examined by MRI and DTI before operation. The value of apparent diffusion coefficient (ADC), fractional anisotropy (FA), relative ADC (rADC), relative FA (rFA) and relative axial diffusivity (rAD) were measured by quantitatively. The expression of VEGF and MMP-9 in pathological

通信作者: 陈程 E-mail: ccheng1986@tom.com

tissues were detected by immunohistochemistry. The value of DTI quantitative parameters in diagnosis the preoperative grading of brain glioma was analyzed by receiver operating characteristic (ROC) curve. The correlation with DTI quantitative parameters and the expression of VEGF and MMP-9 in pathological tissues was analyzed by Spearman. **Results:** The value of rADC, ADC, rAD, FA and rFA in high-grade group were  $(1.60 \pm 0.44)$ ,  $(1.23 \pm 0.32) \times 10^{-9} \text{ mm}^2/\text{s}$ ,  $0.98 \pm 0.23$ ,  $0.11 \pm 0.03$ ,  $0.21 \pm 0.06$ , which were lower than those of low-grade group were  $(1.89 \pm 0.39)$ ,  $(1.47 \pm 0.31) \times 10^{-9} \text{ mm}^2/\text{s}$ ,  $1.16 \pm 0.28$ ,  $0.17 \pm 0.05$ ,  $0.31 \pm 0.11$ , the differences were statistically significant ( $P < 0.05$ ). The positive expression rates of VEGF and MMP-9 in high-grade group were 94.55% and 89.09%, which were higher than those of low grade group were 38.30% and 46.81%, the difference were statistically significant ( $P < 0.05$ ). ROC curve analysis showed that the AUC of rADC, ADC, rAD, FA and rFA in diagnosis the preoperative grading of brain glioma were 0.701 (95% CI: 0.600-0.802), 0.719 (95% CI: 0.619-0.820), 0.704 (95% CI: 0.600-0.809), 0.794 (95% CI: 0.701-0.888) and 0.789 (95% CI: 0.694-0.885). Spearman analysis showed that the rADC, ADC, rAD, FA and rFA were negatively correlated with the expression of VEGF ( $r = -0.206, -0.313, -0.281, -0.379, -0.322$ , all  $P < 0.05$ ), and negatively correlated with the expression of MMP-9 ( $r = -0.396, -0.235, -0.374, -0.281, -0.260$ , all  $P < 0.05$ ). **Conclusion:** The quantitative parameters of DTI have a certain correlation with the expression of VEGF and MMP-9 in pathological tissues, and the quantitative parameters of DTI were helpful to diagnosis the preoperative grading of brain glioma.

[ **Key words** ] Brain glioma; Magnetic resonance imaging; Diffusion tensor imaging; Vascular endothelial growth factor; Matrix metalloproteinase-9

脑胶质瘤是常见的源自神经胶质细胞的原发性颅脑肿瘤，由于脑胶质瘤不同病理学级别患者的临床治疗方案存在较大差别，且预后差异也较大，故治疗前准确判断其恶性程度并分级治疗，对改善预后至关重要。磁共振成像（magnetic resonance image, MRI）弥散张量成像（diffusion tensor image, DTI）可通过水分子弥散运动情况评估肿瘤组织病理微观特征，能够弥补常规MRI的不足<sup>[1]</sup>。血管内皮生长因子（vascular endothelial growth factor, VEGF）可促进肿瘤血管新生，基质金属蛋白酶-9（matrix metalloproteinase-9, MMP-9）可调节细胞黏附能力，破坏血管内皮屏障，促进肿瘤细胞生长、侵袭。既往研究<sup>[2]</sup>证实VEGF、MMP-9均与脑胶质瘤发生、进展、局部浸润有关。有研究<sup>[3-4]</sup>表明，DTI定量参数有助于脑胶质瘤病理学分级诊断。目前未见DTI定量参数与肿瘤组织中VEGF、MMP-9表达相关性的研究报道。本研究旨在探讨DTI定量参数与脑胶质瘤组织中VEGF、MMP-9表达的相关性及其对脑胶质瘤术前分级诊断价值，以期为脑胶质瘤临床治疗方案的制订及预后评估提供参考。

## 1 资料和方法

### 1.1 一般资料

选取2017年1月—2020年10月武汉市红十字会医院收治的204例脑胶质瘤患者作为研究对象。纳入标准：①临床症状表现为恶心、头痛、癫痫、呕吐等，均经病理学检查确诊为脑胶质瘤；②接受MRI和DTI检查，受检7 d内行手术治疗；③术前无放化疗接受史；④年龄 $>18$ 周岁。排除标准：①免疫、内分泌、血液系统疾病者；②伴其他良恶性肿瘤者；③伴精神疾病或其他神经系统疾病、脑部疾病者；④感染性疾病者；⑤临床资料不完整者。本研究经医院医学伦理委员会批准，患者及家属均知情同意。根据世界卫生组织（World Health Organization, WHO）肿瘤病理学分级标准<sup>[5]</sup>将患者分为低级别组94例（I级34例、II级60例），其中，男性54例，女性40例；年龄23~78岁，平均 $(55.8 \pm 14.4)$ 岁；体重指数 $18 \sim 28 \text{ kg/m}^2$ ，平均 $(23.2 \pm 5.7) \text{ kg/m}^2$ 。高级别组110例（III级64例、IV级46例），其中，男性58例，女性52例；年龄25~79岁，平均 $(56.2 \pm 14.7)$ 岁；体重指数 $19 \sim 29 \text{ kg/m}^2$ ，平均 $(23.3 \pm 5.6) \text{ kg/m}^2$ 。两组患者一

般资料比较差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。

## 1.2 方法

### 1.2.1 DTI检查

采用荷兰Philips公司的Ingenia 3.0 T MRI扫描仪,先常规行MRI平扫检查。轴位T1液体衰减反转恢复(fluid-attenuated inversion recovery, FLAIR)序列:矩阵=320×256,回波时间(echo time, TE)/重复时间(repetition time, TR)=25 ms/2 200 ms,反转时间/翻转角度=850 ms/90°;T2加权成像(T2-weighted image, T2WI):矩阵=320×256,TE/TR=120 ms/6 000 ms;T2 FLAIR:层厚=5 mm,TE/TR=160 ms/7 500 ms,矩阵=320×256,反转时间=2 500 ms。DTI检查应用单次激发平面回波自旋序列(echo planner imaging-spin echo, EPI-SE),检查参数:TE/TR=100 ms/8 000 ms,层厚=5 mm,  $b_1$ 值=0 s/mm<sup>2</sup>,  $b_2$ 值=1 000 s/mm<sup>2</sup>,矩阵=128×128,层间隔=0,视野(field of view, FOV)=240 mm×240 mm,回波次数=2,弥散梯度场选择施加在不同的25个方向上。将EPI-SE图像传至服务器,通过DTI专业软件(Functool 4.5)完成后处理,获取表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)、各向异性分数(fractional anisotropy, FA)等参数图,选择感兴趣区(肿瘤实质信号均匀区),均取测量3次的均值,定量测定ADC值、FA值、相对ADC(rADC)及相对FA(rFA)值、相对轴向弥散系数(relative axial diffusivity, rAD)值(相对值即实质区参数值/对应健侧区参数值)。

### 1.2.2 肿瘤组织中VEGF、MMP-9水平检测

收集所有患者经手术切除的肿瘤组织,石蜡包埋、切片(4 μm)、脱蜡,3%过氧化氢灭活内源性过氧化物酶,再加入枸橼酸盐缓冲液进行热修复,室温下加VEGF、MMP-9抗体(二者均为鼠抗人抗体,福州迈新生物技术公司),4℃过夜,温育完成后二氨基联苯胺(diaminobenzidine, DAB)显色、复染(苏木精)、脱水、封片(中性树胶)。阳性对照由试

剂盒配套提供,阴性对照用磷酸盐缓冲生理盐水(phosphate buffered saline, PBS)。随机提取5个高倍镜视野(×400),VEGF、MMP-9阳性细胞主要表现为细胞质染色呈棕黄色,通过免疫组织化学定量积分判断结果<sup>[6]</sup>:①染色强度评分,无阳性染色0分,浅黄色1分,黄色2分,棕黄色3分。②阳性细胞比率,<10%为0分,10%~25%为1分,25%~50%为2分(不含25%),50%~75%为3分(不含50%),>75%为4分。以评分①和评分②的乘积判定:0~1分为阴性(-),2~4分为弱阳性(+),5~8分为中阳性(++),≥9分为强阳性表达(+++)。

## 1.3 观察指标

①比较两组DTI定量参数(ADC、rADC、rAD、FA、rFA值);②比较两组肿瘤组织中VEGF、MMP-9水平;③分析DTI定量参数对脑胶质瘤术前分级诊断价值;④分析DTI定量参数与肿瘤组织中VEGF、MMP-9水平的相关性。

## 1.4 统计学处理

采用SPSS 22.0软件进行数据分析,计数资料以 $n(\%)$ 表示,采用 $\chi^2$ 检验,等级资料采用非参数Mann-Whitney  $U$ 检验;计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,采用 $t$ 检验;采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评估诊断效能,曲线下面积(area under curve, AUC)为0.7~0.9提示具有一定诊断准确度;相关性采用Spearman相关分析; $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组DTI定量参数比较

高级别组DTI定量参数rADC、ADC、rAD、FA、rFA值均低于低级别组,差异有统计学意义( $P<0.05$ ,表1)。高级别与低级别脑胶质瘤影像学表现及病理学图片见图1、2。

表1 两组DTI定量参数比较

组别	<i>n</i>	rADC	ADC × 10 <sup>-3</sup> / (mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	rAD	FA	rFA
低级别组	94	1.89 ± 0.39	1.47 ± 0.31	1.16 ± 0.28	0.17 ± 0.05	0.31 ± 0.11
高级别组	110	1.60 ± 0.44	1.23 ± 0.32	0.98 ± 0.23	0.11 ± 0.03	0.21 ± 0.06
<i>t</i> 值		3.507	3.736	3.595	6.231	5.533
<i>P</i> 值		0.001	0.000	0.001	0.000	0.000

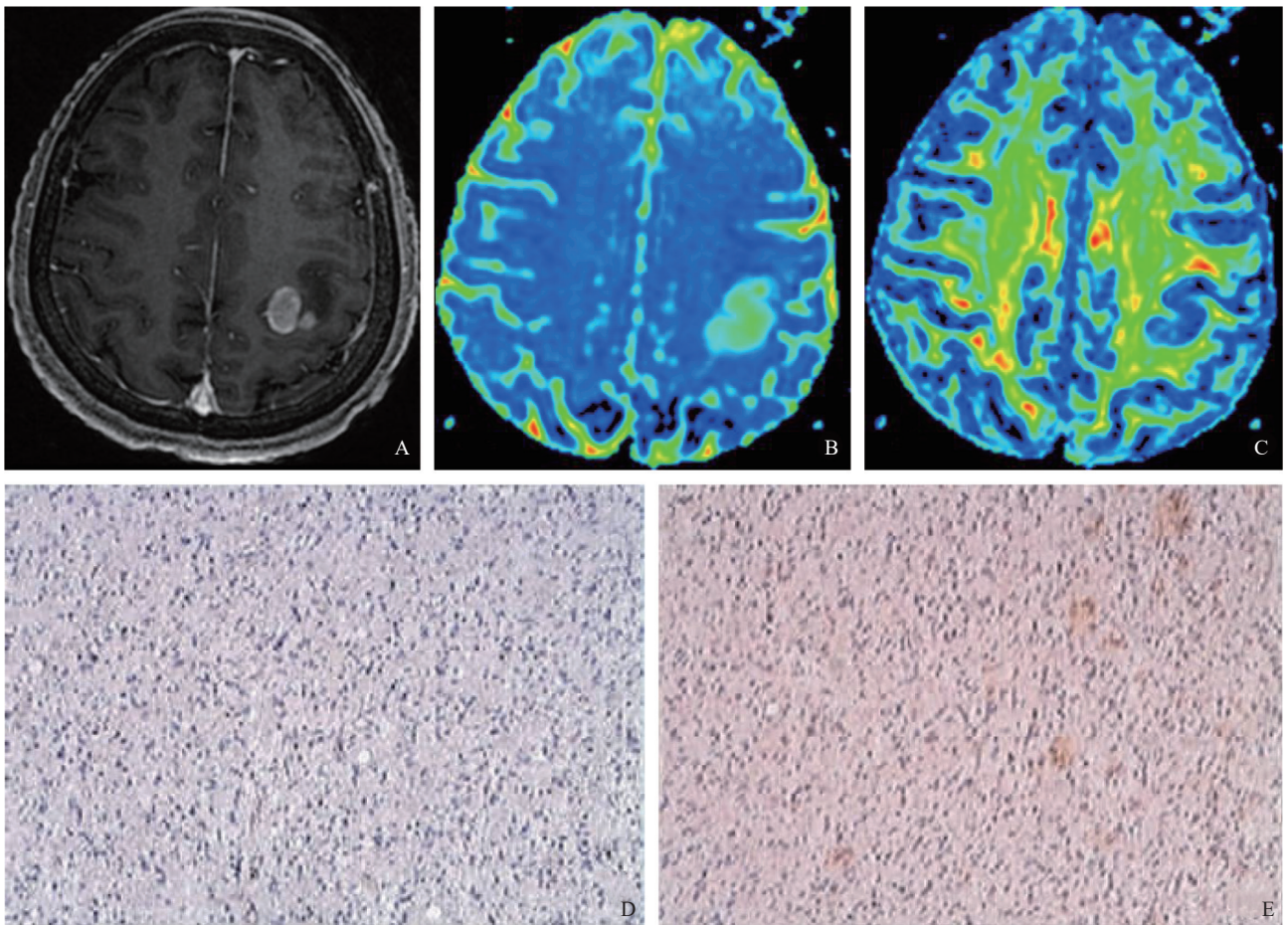


图1 典型病例1(患者,女性,57岁,左侧额叶低级别胶质瘤,WHO II级)影像图及病理学表现

A: T1WI增强扫描肿瘤呈明显结节状强化; B: 肿瘤区ADC值较对侧正常脑组织升高; C: 肿瘤区FA值较对侧脑组织降低,白质纤维未见明显中断破坏; D: 肿瘤细胞呈棕黄染色,VEGF阳性表达率(+)(SP法,×400); E: 肿瘤细胞呈棕黄染色,MMP-9阳性表达率(+)(SP法,×400)。

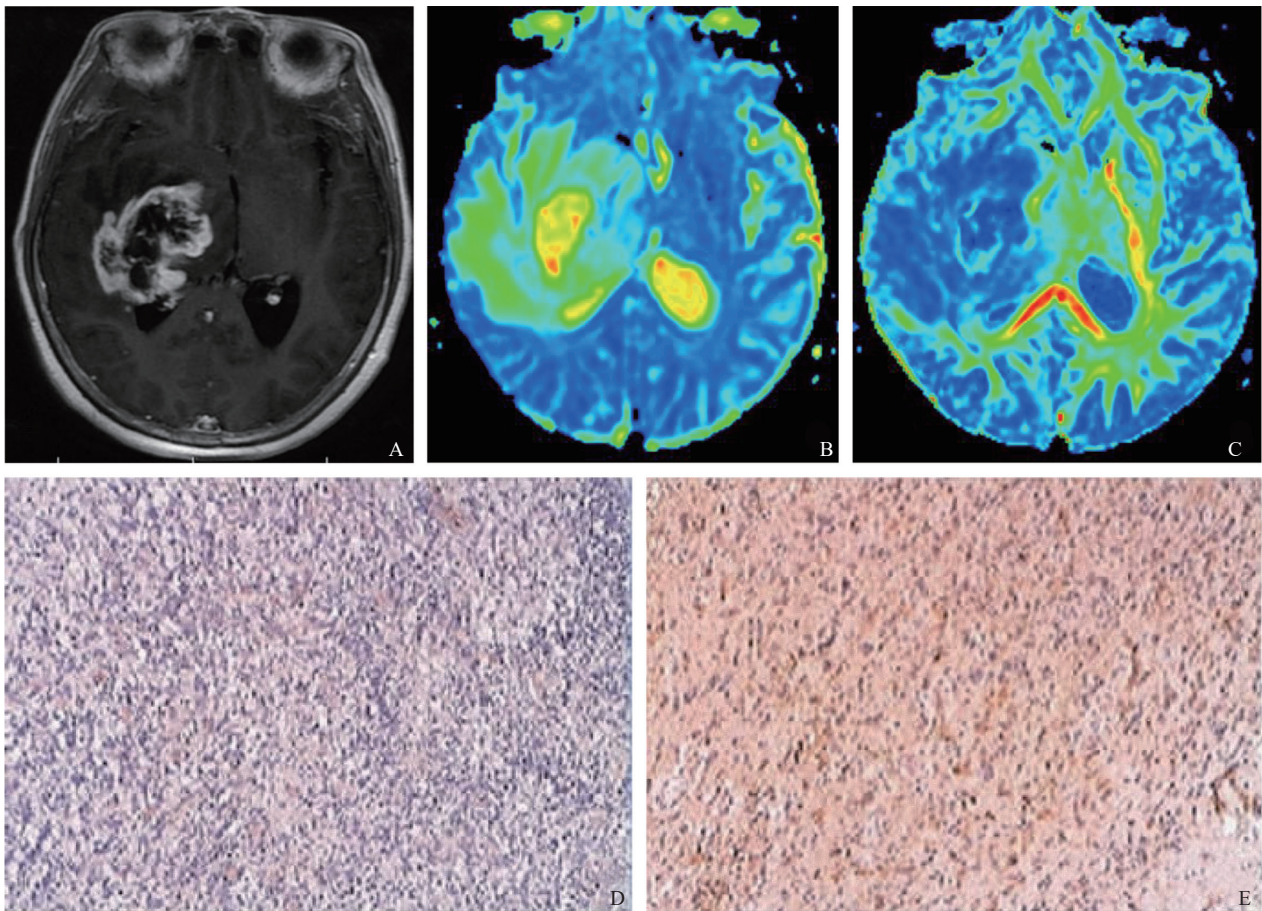


图2 典型病例2(患者,女性,60岁,右侧额叶胶质母细胞瘤,WHO IV级)影像图及病理学表现

A: T1WI增强扫描肿瘤呈明显花环样强化; B: 肿瘤液化坏死明显,液化区域在ADC图表现为高信号区; C: 肿瘤区FA值明显降低,内见局部较高信号区域; D: 肿瘤细胞呈棕褐染色,VEGF阳性表达率(+++) (SP法,×400); E: 肿瘤细胞呈棕黄褐染色,MMP-9阳性表达率(+++) (SP法,×400)。

## 2.2 两组肿瘤组织中VEGF、MMP-9水平比较

高级别组肿瘤组织中VEGF、MMP-9阳性表达率均高于低级别组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ,表2及图1、2)。

## 2.3 DTI定量参数对脑胶质瘤术前分级诊断价值

ROC曲线分析显示:DTI定量参数rADC、ADC、rAD、FA、rFA诊断脑胶质瘤术前分级的AUC分别为0.701、0.719、0.704、0.794、0.789,均有一定诊断准确度( $P$ 均 $< 0.05$ ,表3,图3)。

## 2.4 DTI定量参数与肿瘤组织中VEGF、MMP-9水平的相关性

Spearman分析显示:DTI定量参数rADC、ADC、rAD、FA、rFA与肿瘤组织中VEGF、MMP-9表达均呈负相关( $P < 0.05$ ,表4)。

表2 两组肿瘤组织中VEGF、MMP-9水平比较

指标	低级别组 (n=94例)	高级别组 (n=110例)	n (%)	
			Z/ $\chi^2$ 值	P值
VEGF			7.245 <sup>#</sup>	0.000
阴性	58 (61.70)	6 (5.45)		
弱阳性	20 (21.28)	14 (12.73)		
中阳性	16 (17.02)	32 (29.09)		
强阳性	0 (0.00)	58 (52.73)		
总阳性	36 (38.30)	104 (94.55)	37.241 <sup>*</sup>	0.000
MMP-9			6.058 <sup>#</sup>	0.000
阴性	50 (53.19)	12 (10.91)		
弱阳性	26 (27.66)	20 (18.18)		
中阳性	18 (19.15)	26 (23.64)		
强阳性	0 (0.00)	52 (47.27)		
总阳性	44 (46.81)	98 (89.09)	21.417 <sup>*</sup>	0.000

<sup>#</sup>: Mann-Whitney U检验值(Z); <sup>\*</sup>: 表示 $\chi^2$ 检验值。

表3 DTI定量参数诊断脑胶质瘤术前分级的ROC曲线分析结果

检验变量	AUC	标准误	渐近显著性水平	95% CI	最佳临界值	灵敏度/%	特异度/%	约登指数
ADC	0.719	0.051	0.000	0.619~0.820	1.265	78.7	63.6	0.423
rADC	0.701	0.052	0.000	0.600~0.802	1.835	63.8	70.9	0.347
rAD	0.704	0.053	0.000	0.600~0.809	1.055	72.3	65.5	0.378
FA	0.794	0.048	0.000	0.701~0.888	0.155	61.7	92.7	0.544
rFA	0.789	0.049	0.000	0.694~0.885	0.295	63.8	92.7	0.565

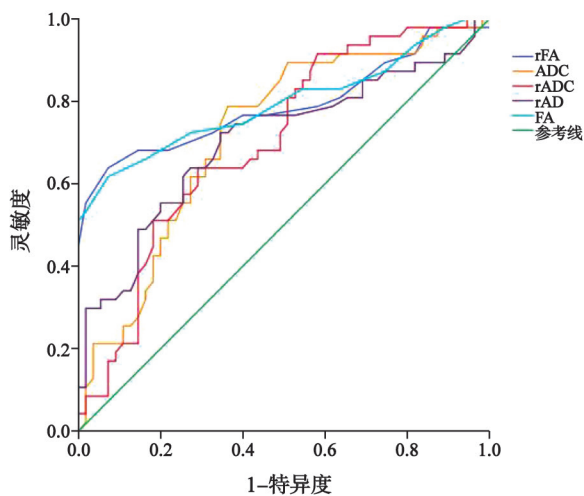


图3 DTI定量参数对脑胶质瘤术前分级诊断的ROC曲线

表4 DTI定量参数与肿瘤组织中VEGF、MMP-9水平的相关性

DTI定量参数	VEGF		MMP-9	
	相关系数 (r)	显著性	相关系数 (r)	显著性
ADC	-0.313	0.001	-0.235	0.017
rADC	-0.206	0.038	-0.396	0.000
rAD	-0.281	0.004	-0.374	0.000
FA	-0.379	0.000	-0.281	0.004
rFA	-0.322	0.001	-0.260	0.008

### 3 讨 论

DTI技术可显示体内水分子运动方向、位移等细微特征,量化评估分子弥散各向异性数据,通过三维角度定量测定弥散情况,常用定量参数包括ADC、FA、AD等。ADC反映分子弥散位移强度,评估细胞间隙分子弥散情况。FA反映脑白质纤维完整性、神经纤维密度、弥散方向。目前,部分研究证实了ADC、FA与肿瘤生物学

特性的关系,李论等<sup>[7]</sup>研究表明,DTI定量参数FA有助于脑胶质瘤的术前分级评估,而不同病理学分级患者ADC、rADC对比差异无统计学意义;蔡志超等<sup>[8]</sup>研究发现,瘤体ADC在不同级别胶质瘤患者中差异有统计学意义,而FA无明显差异。徐慧琳等<sup>[9]</sup>的研究表明,DTI定量参数可用于脑胶质瘤病理学分级诊断,且与VEGF表达、Ki-67增殖指数密切相关。鉴于目前研究结论不一,并且缺乏DTI定量参数与肿瘤组织学相关指标的相关性分析,故本研究结合DTI定量参数与肿瘤组织中VEGF、MMP-9表达的相关性分析来评估DTI定量参数在脑胶质瘤中的应用价值。

本研究结果显示,高级别组DTI定量参数rADC、ADC、rAD、FA、rFA值均低于低级别组( $P < 0.05$ ),且ROC曲线分析显示,rADC、ADC、rAD、FA、rFA对脑胶质瘤术前分级均有一定诊断准确度( $P$ 均 $< 0.05$ )。分析认为:  
① 通常情况下,肿瘤恶性度越高,相应组织细胞密度则越高,而FA值提示各向异性程度,故FA值随病灶恶性度增高而增大。但脑胶质瘤具有浸润生长特性,白质由于遭受破坏已不具有原来正常的结构,造成弥散各向异性出现降低。另一方面,考虑与神经纤维髓鞘结构丢失及神经轴突丧失了排列顺序和方向性有关,使得某一特定的方向限制水分子运动的细胞膜及髓磷脂鞘减少,导致病变组织水分子弥散各向异性降低<sup>[10]</sup>。  
② 活体组织内细胞结构、微循环等对水分子弥散均会构成影响,从而ADC值受一定影响。由于低级别瘤的组织细胞增殖度、恶性度相比高级别瘤要低,瘤体实质细胞成分相对少,而相应的细胞间隙更大,因此对分子弥散更有利<sup>[11]</sup>,

故rADC、ADC值增高,李章宇等<sup>[12]</sup>研究也表明,低级别胶质瘤瘤体的rADC值高于高级别胶质瘤。③随脑胶质瘤级别增加,细胞密度、数量增加,多核细胞构成比增加,核异型性增大,造成实质循环中限制分子弥散,肿瘤实质轴向弥散在高级别瘤中受限更加明显,故rAD值更低<sup>[13]</sup>。

VEGF是影响血管通透性的血管生成刺激因子,脑胶质瘤病理生理过程中组织缺血缺氧可刺激VEGF分泌,VEGF又可参与肿瘤血管新生,影响肿瘤浸润、转移。MMP-9可调节细胞黏附,破坏肿瘤周围基质及血管内皮屏障,促细胞生长、侵袭。既往研究<sup>[14-15]</sup>证实,VEGF、MMP-9随脑胶质瘤分级增加而阳性表达增加,甚至出现片块状阳性分布;二者与脑胶质瘤恶性度有关,可作为生物学指标用于临床评估。本研究结果显示,高级别组肿瘤组织中VEGF、MMP-9阳性表达率均高于低级别组( $P<0.05$ ),且Spearman分析显示,DTI定量参数rADC、ADC、rAD、FA、rFA与肿瘤组织中VEGF、MMP-9表达均呈负相关( $P<0.05$ ),随着VEGF、MMP-9表达升高,脑胶质瘤DTI定量参数值随之降低,提示DTI定量参数与肿瘤组织中VEGF、MMP-9表达具有相关性。分析其具有相关性的病理生理学基础是VEGF、MMP-9能促进肿瘤血管的生成,VEGF、MMP-9可调控血管生成进而影响肿瘤生物学变化(肿瘤分化、进展、侵袭等),与脑胶质瘤分级、恶性程度、周围水肿、血管新生等关系密切;脑胶质瘤侵犯周围脑组织,出现水肿、恶化等病理生理状态下,会促使周围脑组织、神经纤维束的水分子弥散运动和各向异性产生转变<sup>[16]</sup>。

综上所述,DTI定量参数与脑胶质瘤组织中VEGF、MMP-9水平具有一定相关性,且DTI定量参数有助于脑胶质瘤术前分级诊断,可为脑胶质瘤临床治疗及预后评估提供更为客观的影像学依据。由于受样本量限制,本研究未对各病理学分级进行细化分析,接下来将进一步探索多参数弥散成像以及对不同级别、不同细胞类型的胶质瘤进行分层研究。

## [参 考 文 献]

- [1] 韩雷,张洪英.扩散磁共振成像在脑胶质瘤分级中的应用研究进展[J].肿瘤影像学,2019,28(4):265-270.
- [2] 王佳,封华,梁奕,等.脑胶质瘤<sup>1</sup>H-MRS的应用与VEGF、MMP-9及uPA表达的相关性研究[J].实用放射学杂志,2017,33(9):1333-1336.
- [3] LI Y, ZHANG W Y. Quantitative evaluation of diffusion tensor imaging for clinical management of glioma [J]. Neurosurg Rev, 2020, 43(3): 881-891.
- [4] 孙功能,朱虎,邱伟,等.磁共振弥散张量成像定量参数在胶质瘤分级诊断中的应用研究[J].医学影像学杂志,2019,29(4):528-531.
- [5] 国家卫生健康委员会医政医管局.脑胶质瘤诊疗规范(2018年版)[J].中华神经外科杂志,2019,35(3):217-239.
- [6] 张涛,王辉,杨晓文.脑胶质瘤中Id1与VEGF的表达及其与肿瘤血管生成的关系[J].解剖学研究,2018,40(5):390-393,402.
- [7] 李论,戴金龙,胡硕,等.磁共振弥散张量成像在脑胶质瘤诊断中应用价值研究[J].创伤与急危重病医学,2018,6(6):422.
- [8] 蔡志超,池琦.磁共振扩散张量成像定量参数对脑胶质瘤分级的诊断价值[J].现代肿瘤医学,2019,27(11):2005-2009.
- [9] 徐慧琳,蔡元卿,龚明福,等.DTI定量参数对脑胶质瘤的诊断价值及其与血管内皮生长因子、细胞核增殖相关抗原的关系[J].现代生物医学进展,2018,18(14):2661-2664.
- [10] SUH C H, KIM H S, JUNG S C, et al. Diffusion-weighted imaging and diffusion tensor imaging for differentiating high-grade glioma from solitary brain metastasis: a systematic review and meta-analysis [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2018, 39(7): 1208-1214.
- [11] 侯宗刚,蔡旭,谢坚,等.应用弥散张量成像技术判定高级别胶质瘤侵袭范围的初步研究[J].中华神经外科杂志,2018,34(4):344-348.
- [12] 李章宇,钱海峰,孙胜杰,等.磁共振灌注加权成像与扩散张量成像在脑胶质瘤分级诊断中的应用[J].中华全科医学,2017,15(6):1013-1015.
- [13] SRIDHAR K, SRINIVASAN K. Diffusion tensor imaging and tractography in diffuse intrinsic pontine glioma—a major determinant of resectability and description of a new subtype [J]. Neurol India, 2019, 67(1): 292-297.
- [14] 唐玉蓉,成立峰,于本章.miR-122和VEGF在胶质瘤患者中表达的临床意义[J].中国免疫学杂志,2019,35(7):849-852.
- [15] 吴建珩,李晓辉,单峤,等.星形胶质细胞上调基因1和基质金属蛋白酶9在人脑胶质瘤中的表达及其相关性研究[J].中国全科医学,2014,17(6):648-651.
- [16] 王佳,封华,梁奕,等.DTI相关参数对脑胶质瘤的诊断价值及与VEGF、MMP-9、uPA表达的相关性[J].放射学实践,2017,32(9):932-935.

(收稿日期:2021-09-18 修回日期:2021-11-05)