文章编号:1000-5404(2009)21-2061-04

论著

应用磁共振波谱分析和弥散张量成像鉴别颅内良、恶性肿瘤

方靖琴,张伟国,陈金华,张乐天,汪黎黎 (第三军医大学大坪医院野战外科研究所放射科,重庆 400042)

摘 要:目的 研究氢质子磁共振波谱(proton magnetic resonance spectroscopy,^{1}H-MRS)和弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)对颅内良、恶性肿瘤鉴别诊断的价值。**方法** 经病理证实的颅内肿瘤33例,其中包括脑膜瘤10例,听神经瘤4例,血管母细胞瘤1例,混合性胶质神经元肿瘤1例,胶质瘤11例,转移瘤5例,原始神经外胚层肿瘤1例。根据病理结果,将颅内肿瘤分为良性组(19例)和恶性组(14例)进行观察分析。所有患者均进行常规MRI和DTI扫描,22例行^{1}H-MRS分析。^{1}H-MRS感兴趣区包括肿瘤组织和瘤周组织,分别观察各个区域的胆碱(choline, Cho)、N-乙酰天冬氨酸(N-acetylaspartate, NAA)、肌酸(creatine, Cr)、脂质(lipid, Lip)和乳酸(lactate, Lac)峰,并比较Cho/NAA、Cho/Cr、NAA/Cr值和Lip、Lac峰值。测量肿瘤实质区、坏死囊变区、周边水肿区、水肿周边正常白质区和对侧白质区感兴趣区的平均弥散系数(mean diffusivity, MD)、各向异性(fractional anisotropy, FA)值。**结果** 良、恶性肿瘤在^{1}H-MRS代谢图上都表现为Cho峰升高、NAA峰降低,良性肿瘤实质区Cho/NAA和Cho/Cr值均显著低于恶性肿瘤,差异具有统计学意义($P<0.01$)。虽然良性肿瘤NAA/Cr值高于恶性肿瘤组,但差异无统计学意义($P>0.05$)。13例良性肿瘤中8例检测到Lac峰,2例检测到低Lip峰。9例恶性肿瘤中7例检测到Lac峰,5例检测到Lip峰;良性肿瘤实质部分和瘤周正常白质区FA值明显高于恶性肿瘤,且差异具有统计学意义($P<0.05$),而2组肿瘤间坏死囊变部分和瘤周水肿区FA值比较无显著差异($P>0.05$)。良性肿瘤水肿周边正常白质区FA值明显高于对侧相应部位脑白质,且有统计学差异($P<0.05$);恶性肿瘤水肿周边白质FA值虽低于对侧脑白质,但差异不显著($P>0.05$);MD值在良性肿瘤实质部分显著高于恶性肿瘤($P<0.05$),但在坏死囊变区、水肿区和周边正常白质区差异均无统计学意义($P>0.05$);肿瘤实质部分MD值和FA值均与Cho/Cr呈线性负相关。**结论** ^{1}H-MRS能无创地分析颅内肿瘤代谢信息,Cho/NAA和Cho/Cr有助于肿瘤良、恶性的鉴别;Cho/Cr与MD、FA值呈负性相关,Cho/NAA与Cho/Cr值和FA、MD值可以有效的鉴别颅内良、恶性肿瘤。

关键词: 颅内肿瘤;磁共振波谱分析;弥散张量成像;代谢产物;鉴别诊断
中图法分类号: R445.2;R739.41; R812 **文献标识码:** A

Proton MR spectroscopy and diffusion tensor imaging to identify benign from malignant intracranial tumor: report of 33 cases

FANG Jing-qin, ZHANG Wei-guo, CHENG Jin-hua, ZHANG Le-tian, WANG Li-li (Department of Radiology, Institute of Surgery Research, Daping Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400042, China)

Abstract: Objective To investigate the value of proton MR spectroscopy (^{1}H-MRS) and diffusion tensor imaging in differentiating benign from malignant intracranial tumors. **Methods** Thirty-three patients with pathological confirmed brain tumor, including 10 meningiomas, 4 acoustic neuromas, 1 hemangioblastoma, 1 mixed glioneuronal tumor, 11 gliomas, 5 metastasis and 1 primitive neuroectodermal tumor underwent conventional MRI and diffusion tensor imaging, and 22 of them performed proton magnetic resonance spectroscopy in our hospital from September to December 2008. Choine (Cho), N- acetylaspartate (NAA), creatine (Cr), lipid (Lip) and lactate (Lac) level were measured in the tumor masses and peritumor tissues. Mean diffusivity (MD) and fractional anisotropy (FA) was obtained in solid area, necrosis area, peritumor edema area, white matter surrounding the edema and contralateral white matter. **Results** All the patients were divided into benign ($n=19$) and malignant ($n=14$) groups according to the pathological results. Both benign and malignant tumors showed low NAA and high Cho. The Cho/NAA and Cho/Cr value in solid area of the benign

基金项目: 重庆市科技攻关项目(CSTC2007AC5014)
Supported by the Tackling Program of the Sci & Tech Research of Chongqing (CSTC2007AC5014)
作者简介: 方靖琴,女,湖北省仙桃市人,硕士研究生,主要从事神经影像学方面的研究。E-mail:jingqin0405@163.com
通信作者: 张伟国,E-mail:wguo.zhang@gmail.com
收稿日期: 2009-01-10;**修回日期:** 2009-02-25

tumor was markedly lower than that of the malignant tumor, with a significant difference ($P<0.01$), while the NAA/Cr ratio in the former group was higher than that of the later, though having no significant difference between them ($P>0.05$). Eight of 13 benign tumors had Lac peak, and 2 had Lip peak. Seven of 9 malignant tumors had Lac peak, and 5 had Lip peak. The FA value in solid area and white matter surrounding the edema of benign tumors was significant higher than that of the malignant ($P<0.05$), however the difference of FA in the necrosis and peritumor edema area between the 2 groups was not significant ($P>0.05$). FA value in the white matter surrounding edema of benign tumor was significant higher than contralateral white matter ($P<0.05$). Although the FA value in the white matter surrounding edema of malignant tumor was lower than the contralateral white matter, though the difference didn't reach statistical significance ($P>0.05$). The difference of MD in solid area of benign and malignant tumor was significant ($P<0.05$), but difference of necrosis, peritumor edema and white matter surrounding edema between the 2 groups was not significant ($P>0.05$). For the FA and MD value in solid part of tumor there was linear negative correlation with Cho/Cr ratio. **Conclusion** ^{1}H-MRS, a noninvasive technique for investigating the metabolic changes in brain tumor, is helpful to differentiate benign from malignant intracranial tumors through Cho/NAA and Cho/Cr ratios. There is negative correlation between Cho/Cr and FA, MD value. Cho/NAA, Cho/Cr and FA, MD value may effectively differentiate benign from malignant intracranial tumor.

Key words: intracranial tumor; proton magnetic resonance spectroscopy; diffusion tensor imaging; metabolites; differential diagnosis

外科手术治疗颅内肿瘤力求最大限度切除肿瘤组织,同时对周围正常脑组织的损伤程度达到最小。因此,术前区分正常脑组织和肿瘤组织显得尤为重要。然而,常规磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)在显示肿瘤的实际范围和判定肿瘤分级方面仍存在局限性。氢质子磁共振波谱(proton magnetic resonance spectroscopy,^{1}H-MRS)是目前评价人体器官代谢、生物化学变化及化合物定量的无创性研究方法。^{1}H-MRS 以往多采用单体素技术,随着多体素^{1}H-MRS 技术的发展,一次波谱分析可同时提供多个相邻体素的波谱,可以对颅内肿瘤的异质性做出较为全面的分析[1]。弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)不但可以在三维空间内定量分析组织内水分子的弥散运动,而且可以利用组织内水分子弥散呈各向异性的特征重建脑白质纤维素,从而明确病灶周围组织的功能解剖和邻近白质纤维联系,对于选择手术方案、手术切除范围及评估预后均能提供有价值的影像学信息。本研究采用^{1}H-MRS 和 DTI 2 项技术,分析颅内常见良恶性肿瘤的代谢物变化、平均弥散系数(mean diffusivity, MD)和部分各向异性(fractional anisotropy, FA)值的改变进行定量研究,评价^{1}H-MRS 和 DTI 对颅内良恶性肿瘤的鉴别诊断价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集本院 2008 年 9 – 12 月间来我科检查颅内肿瘤患者 33 例,所有患者均经病理证实,其中包括脑膜瘤 10 例,听神经瘤 4 例,血管母细胞瘤 1 例,混合性胶质神经元肿瘤 1 例,胶质瘤 11 例,肺癌颅内转移 5 例和原始神经外胚层肿瘤 1 例。其中男性 17 例,女性 16 例,年龄 13 ~ 65 岁,平均 47 岁。按照 WHO 分级,将所有患者分为良性肿瘤组(19 例,包括 9 例脑膜瘤,4 例听神经瘤,1 例血管母细胞瘤,1 例混合性胶质神经元肿瘤和 4 例低级别胶质瘤)和恶性肿瘤组(14 例,包括 1 例恶性脑膜瘤,1 例原始神经外胚层肿瘤,5 例肺癌颅内转移瘤和 7 例高级别胶质瘤)。

1.2 检查方法

采用 GE 1.5T 双梯度超导型磁共振成像系统(Signa HD_x 1.5T,GE Medical System, Milwaukee, WI),头颅 8 通道正交线圈,对比剂使用 Gd-DTPA (北京北陆医药化工公司,磁显葡胺/钆喷替酸葡甲胺)常规 MRI 包括横轴位液体衰减反转反转恢复序列(fluid attenuated inversion recovery sequence, Flair)。T_1WI:TR 1 933 ms,TE 20.6 ms,FOV 24 cm × 18 cm,矩阵 320 × 256,NEX = 1.0;横轴位 FRFSE 序列 T_2 WI: TR 6 000 ms, TE 102.5 ms,FOV 24 cm × 18 cm,矩阵 284 × 256,NEX = 2.0。所有患者均行横轴位和冠状位 T_1 WI 增强扫描(0.1 mmol/kg 磁显葡胺)。DTI 采用 SE/EPI 序列行横轴位扫描:TR 8 000 ms,TE 114.5 ms,FOV 24 cm × 24 cm,矩阵 128 × 128,b = 0,1 000 s/mm,15 个弥散敏感梯度方向, NEX = 1.0,层厚为 5 mm,无间距扫描,扫描时间 2 min 24 s。^{1}H-MRS 采用点分辨波谱分析序列(point-resolved spectroscopy,PRESS),多体素 TR/TE 1 000/144,FOV 18 cm × 18 cm,矩阵 18 × 18 ,层厚 10 mm,层间距 10 mm;单体素 TR/TE 1 500/144,FOV 24 cm × 24 cm,矩阵 1 × 1,采集时间约为 5 min 28 s。

1.3 图像处理

应用 AW 4.3 工作站 Functool 2.0 软件对^{1}H-MRS 和 DTI 图像进行分析处理,得到^{1}H-MRS 代谢物产物图、MD 和 FA 图。将感兴趣区(region of interest, ROI)置于肿瘤实质部分、坏死或

囊变部分、瘤周水肿区、水肿周边正常白质区(normal appearance white matter. NAWM)和对侧相应白质区,分别得出各兴趣区 Cho/NAA、Cho/Cr、NAA/Cr 值和 FA、MD 值。

1.4　统计学分析

采用 SPSS 13.0 统计软件,Cho/NAA、Cho/Cr、NAA/Cr,FA 和 MD 值都以 $\bar{x} \pm s$ 表示。良恶性肿瘤组间肿瘤实质部分、坏死或囊变部分、水肿部分和周围正常白质区的各参数比较采用成组 t 检验。

2　结果

2.1　常规 MRI 表现

19 例良性肿瘤中 11 例可以观察到肿瘤坏死囊变区,7 例有轻度水肿(轻度指水肿范围在 2 cm 内,中度指水肿范围 >2 cm,但不超过一侧大脑半球宽径一半,重度指水肿超过一侧大脑半球宽径一半[2]),14 例有明显均匀强化,3 例为环形强化,2 例低级别胶质瘤无强化。14 例恶性肿瘤中 10 例出现坏死囊变,所有恶性肿瘤灶周都有水肿,多数为中到重度水肿($n=10$),少数为轻度水肿($n=4$),2 例无明显强化,3 例环形强化,1 例轻度强化,3 例不均匀强化,其余都为明显均匀强化。

2.2　良恶性肿瘤 DTI 参数比较

2.2.1　良恶性肿瘤 FA 值比较　　良恶性肿瘤实质部分在 FA 图上都可表现为低信号,良性肿瘤亦可表现为等信号,坏死囊变和瘤周水肿区表现为等低信号,水肿周边白质显示为高信号。良性肿瘤实质部分和水肿周边白质区 FA 值[(0.221 ± 0.078),(0.571 ± 0.132)]显著高于恶性肿瘤[(0.139 ± 0.050),(0.448 ± 0.084)],且差异具有统计学意义($P<0.01$)。2 组肿瘤坏死囊变区和瘤周水肿区间差异均无统计学意义($P>0.05$)。良性肿瘤水肿周边白质区 FA 值(0.571 ± 0.144)明显高于对侧相应白质区(0.470 ± 0.103),差异具有统计学意义($P<0.05$)。恶性肿瘤水肿周边白质区 FA 值(0.450 ± 0.945)低于对侧相应部位白质(0.468 ± 0.915),但差异不显著($P>0.05$)。

2.2.2　良恶性肿瘤 MD 值比较　　在 MD 图,良性肿瘤实质部分多呈等信号,恶性肿瘤呈低信号;2 组肿瘤坏死囊变部分和瘤周水肿部分都呈高信号,水肿周边白质和对侧相应部位白质呈低信号。良性肿瘤实质区 MD 值[$(1.514 \pm 0.381) \times 10^{-9}\ mm^2/s$]高于恶性肿瘤[$(1.263 \pm 0.223) \times 10^{-9}\ mm^2/s$],差异具有统计学意义($P<0.05$),余各兴趣区比较均无统计学差异($P>0.05$)。良性肿瘤水肿周边白质 MD 值与对侧相应部位脑白质比较亦无统计学差异($P>0.05$)。

2.3　^{1}H-MRS 参数比较

无论良恶性肿瘤均有 NAA 峰值不同程度下降、Cho 峰升高、Cr 峰正常或降低。各代谢产物峰下面积相关比值亦有所改变:Cho/NAA 和 Cho/Cr 升高,NAA/Cr 下降。良性肿瘤实质区 Cho/NAA 和 Cho/Cr 值显著低于恶性肿瘤组($P<0.01$);NAA/Cr 值虽高于恶性肿瘤组,但无统计学差异($P>0.05$),见表 1。2 组肿瘤坏死囊变区、水肿区和周围白质区所有比值比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。13 例良性肿瘤中 8 例检测到 Lac 峰,2 例检测到低 Lip 峰。9 例恶性肿瘤中 7 例检测到 Lac 峰,5 例检测到 Lip 峰。

表 1　良恶性肿瘤实质区 Cho/NAA 和 Cho/Cr 值比较

组别	例数	Cho/NAA	Cho/Cr	NAA/Cr
良性肿瘤组	19	1.707 ± 0.510	1.983 ± 0.610	1.721 ± 0.603
恶性肿瘤组	14	2.876 ± 0.521[a]	3.518 ± 1.298	1.276 ± 0.426

a:$P<0.01$,与良性肿瘤组比较

2.4　相关性分析

良恶性肿瘤实质部分 FA 值与 Cho/Cr 呈线性相关($r=-0.440$,$P=0.046$),而与 Cho/NAA 和 NAA/Cr 均无相关性。肿瘤实质部分 MD 值亦与 Cho/NAA 和 NAA/Cr 不相关,但与 Cho/Cr 呈负相关($r=-0.512$,$P=0.018$)。

3　讨论

常规 MRI 成像对于良恶性肿瘤的鉴别主要依靠 MRI 对比增强影像:明显强化、坏死和瘤周水肿等征象被认为是恶性肿瘤的表现。然而,在临床工作中经常会遇到无强化或强化不明显,无明确坏死囊变灶等表现不典型或少见的恶性肿瘤,本研究 14 例恶性肿瘤中有 2 例无明显强化,1 例轻度强化,其 SE T_1WI、T_2WI 和增强 T_1WI 表现均类似良性肿瘤。此时,如果单纯凭借常规 MRI 成像往往会造成误诊,从而延误了最佳的治疗时机。然而,分析其^{1}H-MRS 代谢图和 DTI 图像发现此 3 例肿瘤都具有恶性肿瘤征象:Cho 峰明显升高,NAA 峰显著降低;FA 图上显示病灶区信号低于对侧相应部位脑白质信号,MD 图上发现病灶区存在高信号的微小坏死灶。最后病理证实此 2 例无明显强化的肿瘤为 WHO Ⅲ ~ Ⅳ级胶质瘤,而轻度强化的肿瘤为原始神经外胚层肿瘤,WHO IV 级。如前所述,^{1}H-MRS 和 DTI 无创地在活体组织内分别从肿瘤代谢物水平和水分子弥散运动方面为常规 MRI 成像提供了许多有价值的影像信息,理论上有助于颅内良恶性肿瘤的鉴别诊断。

3.1　良恶性肿瘤的^{1}H-MRS 表现

颅脑^{1}H-MRS 主要研究的代谢标志物是 Cho、Cr、NAA、Lip 和 Lac 峰。Cho 峰位于 3.2 ppm,其峰值升高可能表明细胞增殖或细胞膜通透性增加。Cr 峰在 3 ppm 位置呈单一波峰,一般认为在脑中的不同代谢条件下肌酸浓度基本相同。因此,常将 Cr 的峰值用作计算比例的标准数(NAA/Cr,Cho/Cr 等)。NAA 及 N-乙酰化台物的峰主要位于 2 ppm 左右,NAA 主要存在于神经元中,因而被认为是神经元标志物,任何破坏神经元的过程均可导致 NAA 峰降低。Lip 峰分布于 0.5 ~ 1.5 ppm 波段,Lip 峰的存在反映了肿瘤组织内出现细胞坏死[3]。Lac 峰位于 1.3 ppm,其反映了无氧代谢增加,而其缺失则可能与肿瘤性血管异常增加有关。

本研究显示良恶性肿瘤的^{1}H-MRS 都表现为 Cho 峰升高、NAA 峰降低和 Cr 正常或降低,但良性肿瘤实

质部分的 Cho/Cr 和 Cho/NAA 值都较恶性肿瘤低,而 NAA/Cr 值比恶性肿瘤高。恶性肿瘤与良性肿瘤相比,细胞代谢旺盛、倍增时间短。因而,在^{1}H-MRS 上表现为恶性肿瘤 Cho 峰值比良性肿瘤高,而 NAA 峰较其低。相应地,恶性肿瘤的 Cho/NAA 和 Cho/Cr 值比良性肿瘤高,而 NAA/Cr 值却其低。Yang 等[4]研究认为高低级别胶质瘤 Cho/Cr、Cho/NAA 和 NAA/Cr 值差异均有统计学意义,且 NAA/Cr 与肿瘤分级高度相关。Law 等[5]的研究得到同样的结论:Cho 升高同时 NAA 峰值降低是肿瘤的一个可靠标志,且高级别与低级别胶质瘤的 Cho/Cr、Cho/NAA、和 NAA/Cr 峰值差异具有统计学意义。本研究显示虽然低级别肿瘤的 NAA/Cr 值较高级别肿瘤高,但两者之间的差异无统计学意义,导致结论不一致的原因可能是^{1}H-MRS 扫描所采用的参数不一致,各自所选用的病例本身存在的差异性和感兴趣区不同程度的污染等。本研究良恶性肿瘤均可检测到 Lac、Lip 峰,恶性肿瘤中 Lip 峰的检测率较良性肿瘤高。Lip 峰常在肿瘤坏死区及恶性程度较高的肿瘤中出现,有学者认为其与肿瘤分级相关性较好[6]。另外,最近有研究表明肌醇(myo-inositol,mIns)可以激活蛋白激酶 C,与肿瘤恶性程度相关[7]。

3.2 良恶性肿瘤的 DTI 表现

MD 和 FA 值是 DTI 最常用的两个参数。MD 值,与表观弥散系数(apparent diffusion coefficient,ADC)类似,用于描述弥散张量成像中不同方向的水分子弥散速度和范围,MD 是至少 6 个方向的水分子弥散程度的平均值因而较 ADC 更为准确。组织内分子的扩散特性较为复杂,受多种因素的影响,主要包括细胞的类型、数量、细胞内大分子的体积及组织温度、黏滞性、通透性等[8]。而肿瘤本身和瘤周水肿对脑组织造成的细胞结构和完整性改变,也容易导致水分子的弥散方向和幅度发生变化[9]。Stadlbauer 等[10]还发现 MD 值与肿瘤细胞密度成正相关。本研究 33 例颅内肿瘤中良性肿瘤实质部分 MD 值显著高于恶性肿瘤,其原因可能是:恶性肿瘤细胞体积大,密度增高,细胞外间隙减小;恶性肿瘤细胞中常出现巨核、双核和多核等核异性,细胞内间隙减小,这些均可使水分子弥散运动受限,MD 值降低。FA 是指水分子各向异性成分占整个弥散张量的比例,表现为各向异性的扩散系数的一小部分,为定量分析各向异性的最常用参数。在脑组织中,水分子的运动主要受细胞膜的影响,脑白质神经纤维的髓鞘是脑内各向异性弥散的主要机制[11]。水分子沿特定方向移动的组织(如脑白质),FA 值高;水分子可以自由运动的组织(如脑脊液),FA 值低[12]。本研究显示良性肿瘤实质区和周边白质区的 FA 值显著高于恶性肿瘤,这主要是由于恶性肿瘤往往具有高度的异质性、增殖性和侵袭性的生物学行为,破坏了轴突的方向性和顺序性而导致 FA 值降低。另一方面,恶性肿瘤由于生长太快,肿瘤组织中往往存在坏死灶,使得 FA 值进一步降低,而良性肿瘤多为膨胀性生长,对周围正常组织形成推压使得周围脑白质排列更加紧密,FA 值升高。

肿瘤实质部分 MD 值和 FA 值随分级增高呈降低趋势,而 Cho 峰却呈升高趋势,统计结果也显示肿瘤实质部分 MD 值和 FA 值均与 Cho/Cr 呈负线性相关。这也就说明肿瘤实质部分 MD 值和 FA 值与 Cho/Cr 在肿瘤良恶性鉴别方面有较好的一致性,应用^{1}H-MRS 和 DTI 有助于鉴别颅内良恶性肿瘤。

参考文献:

[1] 杨本强,周丽娟,吴 越,等. 二维磁共振波谱分析在评价颅内胶质瘤中的临床应用[J]. 解剖科学进展, 2007, 13(3): 239-243.

[2] 李志勇,徐海波,孔祥泉,等. 扩散张量成像对脑脓肿与坏死囊变性胶质瘤的鉴别诊断价值[J]. 临床放射学杂志, 2007, 26(12): 1185-1188.

[3] Bulakbasi N, Kocaoglu M, Ors F, *et al*. Combination of single-voxel proton MR spectroscopy and apparent diffusion coefficient calculation in the evaluation of common brain tumors[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2003, 24(2): 225-233.

[4] Yang D, Korogi Y, Sugahara T, *et al*. Cerebral gliomas: prospective comparison of multivoxel 2D chemical-shift imaging proton MR spectroscopy, echoplanar perfusion and diffusion-weighted MRI[J]. Neuroradiology, 2002, 44(8): 656-666.

[5] Law M, Yang S, Wang H, *et al*. Glioma grading: sensitivity, specificity, and predictive values of perfusion MR imaging and proton MR spectroscopic imaging compared with conventional MR imaging[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2003, 24(10): 1989-1998.

[6] Di-Costanzo A, Scarabino T, Trojsi F, *et al*. Multiparametric 3T MR approach to the assessment of cerebral gliomas: tumor extent and malignancy[J]. Neuroradiology, 2006, 48(9): 622-631.

[7] Bartha R, Megyesi J F, Watling C J. Low-grade glioma: correlation of short echo time ^{1}H-MR spectroscopy with 23Na MR imaging[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2008, 29(3): 464-470.

[8] Holodny A I, Ollenschlager M. Diffusion imaging in brain tumors[J]. Neuroimaging Clin N Am, 2002, 12(1): 107-124, x.

[9] 张 冬,廖翠薇,舒通胜,等. 脑胶质瘤的磁共振弥散张量成像研究[J]. 第三军医大学学报, 2008, 30(16): 1496-1498.

[10] Stadlbauer A, Ganslandt O, Buslei R, *et al*. Gliomas: histopathologic evaluation of changes in directionality and magnitude of water diffusion at diffusion-tensor MR imaging[J]. Radiology, 2006, 240(3): 803-810.

[11] Inoue T, Ogasawara K, Beppu T, *et al*. Diffusion tensor imaging for preoperative evaluation of tumor grade in gliomas[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2005, 107(3): 174-180.

[12] Mori N, Miki Y, Fushimi Y, *et al*. Cerebral infarction associated with moyamoya disease: histogram-based quantitative analysis of diffusion tensor imaging--a preliminary study[J]. Magn Reson Imaging, 2008, 26(6): 835-840.

(编辑 王小宾)