

MR动态磁敏感对比增强灌注技术在胶质瘤复发和放射性脑损伤鉴别诊断中的价值

张军霞¹,王颖毅¹,王敏^{2*},王建伟²,刘俊²

¹南京医科大学第一附属医院神经外科,²放射科,江苏 南京 210029

[摘要] 目的:探讨MR动态磁敏感对比增强(DSC)灌注技术在胶质瘤复发和放射性脑损伤鉴别诊断中的应用价值。方法:28例胶质瘤术后、放疗后并出现新强化灶的患者,经再次手术或随访证实为胶质瘤复发或放射性脑损伤。所有患者均行常规MR平扫、增强及DSC灌注成像,测量病灶强化区域的相对脑血容量(rCBV)及相对脑血流量(rCBF),并同时取对侧正常白质的rCBV和rCBF,分别相比后得到相对比值,比较胶质瘤复发和放射性脑损伤各灌注参数比值,并采用ROC曲线评价rCBV和rCBF相对比值对二者进行鉴别的敏感性和特异性。结果:胶质瘤复发异常强化灶的rCBV和rCBF相对比值分别为 2.78 ± 1.01 和 1.89 ± 0.82 ,明显高于放射性脑损伤的 0.76 ± 0.42 和 0.47 ± 0.31 ,差异有统计学意义($P < 0.05$)。ROC曲线分析显示rCBV相对比值 ≥ 1.88 时,诊断胶质瘤复发的特异性为100.0%,rCBV相对比值 ≤ 0.62 时诊断放射性脑损伤敏感性为100.0%;rCBV比值取1.88为阈值来鉴别胶质瘤复发和放射性脑损伤时,敏感性、特异性和准确性分别为94.4%、100.0%、96.4%。rCBF相对比值 ≥ 1.96 时,诊断胶质瘤复发特异度为100.0%,rCBF相对比值 ≤ 0.45 时诊断放射性脑损伤敏感性为100.0%;rCBF相对比值取0.85为阈值来鉴别胶质瘤复发和放射性脑损伤时,敏感性、特异性和准确性分别为94.4%、90.0%、92.8%。结论:磁共振DSC灌注成像有助于对胶质瘤复发和放射性脑损伤进行鉴别。

[关键词] 胶质瘤;复发;放射性脑损伤;磁共振灌注加权成像;动态磁敏感对比增强

[中图分类号] R445.2

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-4368(2018)01-0020-05

doi:10.7655/NYDXBNS20180105

The value of dynamic susceptibility-weighted contrast-enhanced MR imaging in differentiating glioma recurrence and cerebral radiation injury

Zhang Junxia¹, Wang Yingyi¹, Wang Min^{2*}, Wang Jianwei², Liu Jun²

¹Department of Neurosurgery, ²Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of NMU, Nanjing 210029, China

[Abstract] **Objective:** To explore the value of dynamic susceptibility-weighted contrast-enhanced(DSC)MR imaging in differentiating glioma recurrence and cerebral radiation injury. **Methods:** Twenty-eight patients who had cerebral gliomas were treated with radiotherapy after operation, presenting newly abnormal enhancement. All the patients underwent routine MR, DSC perfusion. The value of rCBV and rCBF in the new enhanced lesion and the opposite white matter were measured and analyzed. Receiver operating characteristic (ROC) curve was used to find the best classification threshold, and then calculating its sensitivity, specificity and accuracy. **Results:** The relative rCBV and rCBF value in the recurrent lesion were 2.78 ± 1.01 and 1.89 ± 0.82 , respectively, while in the radiation injured lesion were 0.76 ± 0.42 and 0.47 ± 0.31 , respectively (all $P < 0.05$). Analysis of ROC curve showed that: if the relative rCBV value ≥ 1.88 , the diagnosis specificity of recurrent glioma was 100.0%; if the relative rCBV value ≤ 0.62 , the diagnosis sensitivity of radiation injuries was 100.0%. The threshold of the relative rCBV value was 1.88, and the differential diagnosis sensibility, specificity, and accuracy were 94.4%, 100.0% and 96.4%, respectively. If the relative rCBF value ≥ 1.96 , the diagnosis specificity of recurrent glioma was 100.0%; if the relative rCBF value ≤ 0.45 , the diagnosis sensitivity of radiation injuries was 100.0%. The threshold of the relative rCBF value was 0.85, and the differential diagnosis sensibility, specificity, and accuracy were 94.4%, 90.0% and 92.8%, respectively. **Conclusion:** DSC MRI is helpful to differentiate glioma recurrence and cerebral radiation injury.

[Key words] gliomas; recurrence; cerebral radiation injury; magnetic resonance perfusion-weighted imaging; dynamic susceptibility contrast-enhanced

[基金项目] 国家自然科学基金(81302185)

[Acta Univ Med Nanjing, 2018, 38(01):0020-0024]

*通信作者(Corresponding author), E-mail: wangmin_mail@126.com

胶质瘤是颅脑最常见的原发性肿瘤,其具有特殊的侵袭生长特性,因此手术常常难以全部切除,容易造成肿瘤组织残留和复发。目前,手术切除辅以术后放化疗是胶质瘤治疗的主要手段^[1]。部分胶质瘤患者接受放疗后可以出现不同程度的血脑屏障破坏和白质脱髓鞘,即放射性脑损伤^[2]。放射性脑损伤和胶质瘤复发在出现时间、临床表现和常规MRI上均有着相似的表现^[3],但两者的治疗方案和预后却完全不同,因此对两者进行鉴别和正确诊断对选择合理的治疗方案和改善患者预后尤为重要。MR动态磁敏感对比增强(dynamic susceptibility contrast-enhanced, DSC)灌注加权成像(perfusion-weighted imaging, PWI)技术利用对比剂在组织微血管中的分布来反映组织的血流灌注情况,在评判胶质瘤分级方面的应用价值已得到广泛认可^[4-6]。本研究拟通过对DSC灌注成像相关参数分析,探讨DSC灌注成像技术在胶质瘤复发与放射性脑损伤鉴别诊断中的价值。

1 对象和与方法

1.1 对象

搜集2010年1月—2015年10月在南京医科大学第一附属医院神经外科行脑胶质瘤全切术且术后进行放射治疗的患者28例,其中男16例,女12例,年龄29~67岁,平均 (44.9 ± 11.7) 岁。纳入标准:①脑胶质瘤术后,且手术结果均经病理证实;②所有患者术后进行术区局部或全脑放疗,放射总剂量为40~70 Gy;③放疗前MR检查未见明显肿瘤残余表现;④放疗后影像随访复查包括常规MRI平扫及增强、DSC灌注成像,随访时间>6个月。28例患者中接受二次手术的有19例,单纯接受MR随访复查的9例。

符合下述条件之一的诊断为肿瘤复发:①二次手术病理证实有活性肿瘤细胞的;②随访过程中连续两次或两次以上MR复查病灶范围进行性增大的。符合下述条件之一的诊断为放射性脑损伤:①二次手术病理结果未见有活性肿瘤细胞的;②随访过程中连续两次或两次以上MR复查病灶范围逐渐减小或不变的。本组28例研究对象中有18例肿瘤复发,10例放射性脑损伤。

1.2 方法

采用SIEMENS公司3.0T MAGNETOM Trio磁共振成像扫描仪,头颅8通道正交线圈。所有患者均行横轴位T1WI、T2WI、FLAIR、DWI后,予静脉团注对比剂钆喷替酸普甲胺(Gd-DTPA)0.2 mmol/kg,行

DSC灌注成像扫描,然后行T1WI横轴位、冠状位和矢状位增强扫描,对比剂注射完成后以相同流速团注等量生理盐水冲管。具体扫描参数如下:T1WI:TR 250 ms, TE 2.5 ms; T2WI:TR 6 000 ms, TE 93 ms;扫描层厚均为5 mm,层间距1.25 mm,矩阵128×128,FOV 230 mm×230 mm。DWI采用平面回波成像序列,TR 7 000 ms, TE 80 ms, b值取0 s/mm²和1 000 s/mm²;DSC-PWI使用单次激发梯度回波-平面回波成像(GRE-EPI)序列,TR 1 400 ms, TE 32 ms, FOV 230 mm×230 mm,矩阵128×128,层数18,层厚5 mm,间隔1.25 mm。

将采集的原始数据导入Siemens后处理工作站,用perfusion软件包处理获得脑血容量(cerebral blood volume, CBV)图、脑血流量(cerebral blood flow, CBF)图、平均通过时间(mean transit time, MTT)图、达峰时间(time to peak, TTP)图。

观测所得灌注参数图,对照T1WI增强图像,在CBV、CBF图中选取强化最明显的区域设置感兴趣区(region of interest, ROI),同时在同层面对侧正常脑白质内设ROI作为参照,ROI大小均为5个像素,每处测量3次,求平均值,获得强化最明显处的相对脑血容量(rCBV)1、相对脑血流量(rCBF)1,以及对侧正常脑白质的rCBV2、rCBF2,分别将rCBV1与rCBV2、rCBF1与rCBF2相比,得到相应的rCBV相对比值和rCBF相对比值。

1.3 统计学方法

应用SPSS 16.0统计软件包处理,所有数值结果以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,首先对灌注参数数据进行正态性检验,组间比较采用两独立样本 t 检验, $P \leq 0.05$ 为差异有统计学意义。采用ROC曲线评价rCBV相对比值和rCBF相对比值对肿瘤复发与放射性脑损伤进行鉴别的敏感性与特异性。

2 结果

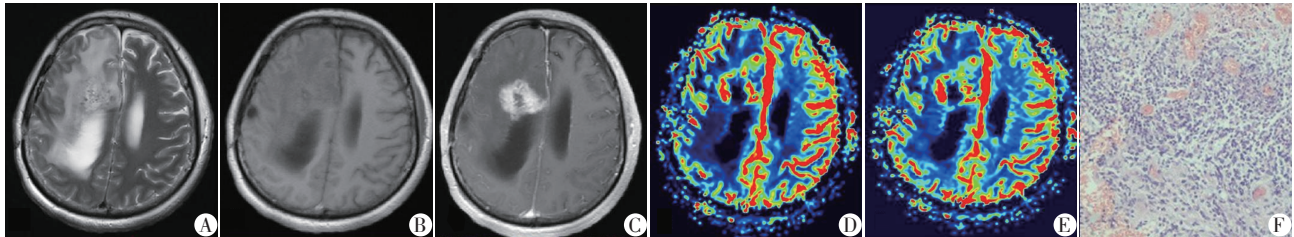
2.1 常规MR图像表现及DSC灌注表现

肿瘤复发与放射性损伤病灶在常规MRI上均表现为:T1WI上呈稍低信号,T2WI上呈高信号,病灶周围伴有水肿区;增强扫描后病灶区均可见斑片状、条絮状或结节样强化影(图1A~C、2A~C)。

18例肿瘤复发的患者T1WI增强扫描强化的区域在灌注成像CBV、CBF图上呈等高-高灌注表现,伪彩图上为黄-红色(图1D、E),其中15例呈高灌注,3例呈等高灌注;病灶周围水肿均呈低灌注,伪彩图上为蓝黑色。10例放射性脑损伤患者T1WI增

强扫描强化的区域在灌注成像CBV、CBF图上呈等-低灌注,伪彩图上为蓝黑色(图2D、E),其中2例

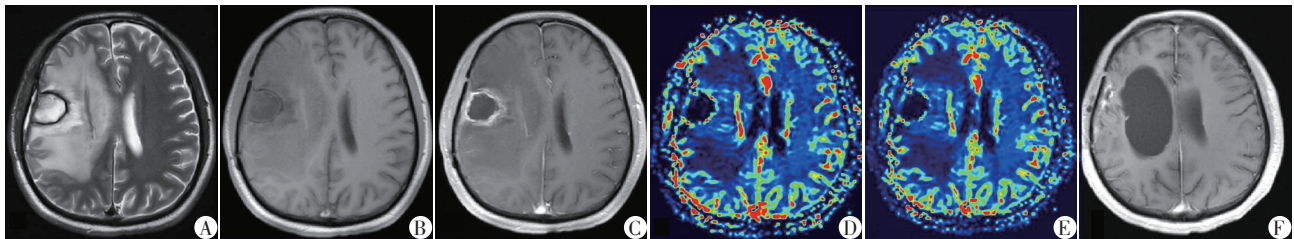
呈等灌注,8例呈低灌注;病灶周围水肿均呈低灌注,伪彩图上为蓝黑色。



患者,男,56岁,右侧额叶胶质瘤(WHO Ⅲ级)术后6个月;A:T2WI示术区见斑片状稍高信号影,周围见高信号的水肿区;B:T1WI示病灶呈低信号;C:增强扫描示病灶边缘环形强化;D、E:DSC-rCBV及rCBF图显示强化的区域呈高血流灌注;F:病理切片图(HE,×40),证实为右侧额叶星形细胞瘤,WHO Ⅲ级,考虑胶质瘤复发。

图1 胶质瘤复发(WHO Ⅲ级)MRI T1WI、T2WI、增强、DSC-rCBV、DSC-rCBF及病理图片

Figure 1 MRI T1WI, T2WI, enhancement, DSC-rCBV, DSC-rCBF and histopathologic image of glioma recurrence (WHO grade III)



患者,男,52岁,右侧额叶胶质瘤(WHO Ⅲ级)术后放疗后6个月;A:T2WI示术区见斑片状稍高信号影,边缘见环形低信号含铁血黄素沉着影,周围见高信号的水肿区;B:T1WI示病灶呈低信号;C:增强扫描示病灶边缘环形强化;D、E:DSC-rCBV及rCBF图显示强化的区域呈等低血流灌注;F:6个月后复查示右侧额叶病灶消失,局部脑组织萎缩,右侧脑室继发性扩张,诊断为放射性脑损伤。

图2 放射性脑损伤MRI T1WI、T2WI、增强、DSC-rCBV、DSC-rCBF及随访增强图片

Figure 2 MRI T1WI, T2WI, enhancement, DSC-rCBV, DSC-rCBF and follow-up of cerebral radiation injury

2.2 DSC灌注成像相关参数比较及ROC曲线分析

DSC灌注成像参数rCBV相对值和rCBF相对值进行单样本Kolmogorov-Smirnov正态性检验均为正态分布(P 值分别为0.517和0.461)。组间采用两独立样本 t 检验,结果显示:胶质瘤复发组rCBV相对比值和rCBF相对比值均明显高于放射性脑损伤组,差异有统计学意义($P < 0.05$,表1)。

表1 胶质瘤复发与放射性脑损伤相关灌注参数比较

Table 1 Comparison of the ratios between glioma recurrence and cerebral radiation injury ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	rCBV相对比值	rCBF相对比值
胶质瘤复发组	18	2.78 ± 1.01	1.89 ± 0.82
放射性脑损伤组	10	0.76 ± 0.42*	0.47 ± 0.31*

与胶质瘤复发比较,* $P < 0.05$ 。

ROC曲线分析结果显示:rCBV相对比值 ≥ 1.88 时,诊断胶质瘤复发的特异性为100.0%,rCBV相对比值 ≤ 0.62 时诊断放射性脑损伤敏感性为100.0%;

rCBV比值取1.88为阈值来鉴别胶质瘤复发和放射性脑损伤时,敏感性、特异性和准确性分别为94.4%、100.0%、96.4%。rCBF相对比值 ≥ 1.96 时,诊断胶质瘤复发特异度为100.0%,rCBF相对比值 ≤ 0.45 时诊断放射性脑损伤敏感性为100.0%;rCBF比值取0.85为阈值来鉴别胶质瘤复发和放射性脑损伤时,敏感性、特异性和准确性分别为94.4%、90.0%、92.8%。

3 讨论

胶质瘤术后复发和放射性脑损伤的鉴别诊断是目前临床和影像的一大难题,常规的MR平扫及增强扫描不能准确区分胶质瘤复发和放射性脑损伤^[7]。因为复发的肿瘤病灶和放射性脑损伤均可以表现为不同程度的占位效应和病灶周围水肿;增强扫描后,具有活性的复发肿瘤病灶可以出现强化征象,而放射性脑损伤由于血脑屏障的破坏也会引起局部组织的强化^[8]。在出现时间和临床表现上,二者也

具有很大的相似性,胶质瘤复发或放射性脑损伤均可发生在术后两年内,患者也常伴有由颅内压增高引发的头痛、恶心、嗜睡等症状,以及局部神经功能损害^[9]。因此,及早诊断和鉴别肿瘤复发和放射性脑损伤直接关系到临床治疗方案的选择和患者预后。

DSC灌注成像是MR灌注成像技术中的一种,它利用静脉团注顺磁性对比剂通过微血管时形成的局部磁场不均匀而导致T2*信号强度的降低来计算脑组织或肿瘤组织的相关参数。通过梯度回波(GRE)成像序列快速反复采样,跟踪对比剂在血管网通过的实际情况。当对比剂自小动脉经毛细血管网回到小静脉,完成一次局部循环后,就会产生一个与时间相关的信号强度变化曲线,曲线下面积相当于rCBV,同时计算出rCBF和对比剂平均通过时间(MTT)^[10-11]。这些量值可以对脑血流动力学状态进行评估,从而评估局部脑组织的灌注情况,提供半定量的血流动力学参数。目前DSC灌注成像广泛应用于胶质瘤的血管增殖程度和血流灌注情况的术前评估^[12-14]。既往研究结果表明^[15-18],胶质瘤的病理学级别与反映肿瘤血管增殖程度的灌注指标rCBV、rCBF之间存在着明显相关性。高低级别之间胶质瘤的rCBV、rCBF也存在显著差异,胶质母细胞瘤和间变性胶质瘤实质部分的rCBV、rCBF明显高于I、II级胶质瘤。复发的胶质瘤组织与原发胶质瘤一样,其发生、发展的过程伴随着肿瘤新生血管的形成,病理显示这些新生的肿瘤血管为不成熟血管,缺乏平滑肌层,其基底膜不完整,因此具有更高的渗透性^[19]。DSC灌注成像则可以通过rCBV、rCBF等参数指标来捕捉这种血管的高增殖和高渗透状态,同时可以通过伪彩图的显示方式表现出其具有高灌注性。而放射性脑损伤缺乏新生血管,血管内皮细胞坏死、血管壁纤维素样坏死,局部脑组织坏死,神经纤维髓鞘脱失、胶质细胞增生^[20],因此rCBV、rCBF明显下降,在灌注图像上呈低灌注。本研究中的18例胶质瘤复发患者病灶即表现为等高-高灌注,10例放射性脑损伤表现为等-低灌注,且胶质瘤复发组的rCBV相对比值和rCBF相对比值均明显高于放射性脑损伤组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。这与胶质瘤复发以及放射性脑损伤的病理生理学特点是相符的。采用ROC曲线对强化病灶的rCBV相对比值和rCBF相对比值进行分析显示,rCBV相对比值 ≥ 1.88 时,诊断胶质瘤复发的特异性为100.0%,rCBV相对比值 ≤ 0.62 时诊断放射性脑损伤敏感性为100.0%;rCBV比值取1.88为阈值来鉴

别胶质瘤复发和放射性脑损伤时,敏感性、特异性和准确性分别为94.4%、100.0%、96.4%。rCBF相对比值 ≥ 1.96 时,诊断胶质瘤复发特异度为100.0%,rCBF相对比值 ≤ 0.45 时诊断放射性脑损伤敏感性为100.0%;rCBF比值取0.85为阈值来鉴别胶质瘤复发和放射性脑损伤时,敏感性、特异性和准确性分别为94.4%、90.0%、92.8%。

本研究还发现,胶质瘤复发灶的rCBV和rCBF与放射性脑损伤有部分重叠的现象,分析其原因,一是可能由于胶质瘤复发和放射性损伤均可以引起血脑屏障破坏,对比剂通过破坏的血脑屏障漏出而造成局部磁场不均匀,影响CBV和CBF数据的测量;二是可能在某一具体的临床患者中存在放射性脑损伤与胶质瘤复发并存的情况,即放射性损伤的组织内再出现复发的有肿瘤活性的组织。Sugahara等^[21]对胶质瘤复发和非肿瘤性强化灶灌注成像进行对比研究时也发现,如果rrCBV > 2.6 时,可以诊断为胶质瘤复发,如果rrCBV < 0.6 时,可以诊断为放射性脑损伤,但是当rrCBV处于二者之间时,则无法作出判断,需进一步检查评判。近年来,有研究报道应用MR波谱成像或PET核素显像对鉴别胶质瘤复发和放射性脑损伤有一定帮助^[22-24],如果将DSC灌注成像技术与其他技术相结合,或许能进一步提高鉴别诊断胶质瘤复发和放射性脑损伤的准确率,有待于今后进一步研究和改进。

总之,DSC灌注成像可以客观反映组织的血流灌注情况,从而可以鉴别胶质瘤复发和放射性脑损伤,rCBV和rCBF相对比值在二者鉴别中具有重要意义,有助于在临床工作中对胶质瘤复发和放射性脑损伤进行鉴别诊断。

[参考文献]

- [1] Kumar S, Arbab AS, Jain R, et al. Development of a novel animal model to differentiate radiation necrosis from tumor recurrence[J]. J Neurooncol, 2012, 108(3):411-420
- [2] Alexiou GA, Tsiouris S, Kyritsis AP, et al. Glioma recurrence versus radiation necrosis: accuracy of current imaging modalities[J]. J Neurooncol, 2009, 95(1):1-11
- [3] 沙琳, 范国光, 曹倩, 等. 联合应用PWI与DWI鉴别胶质瘤复发与放射性损伤[J]. 中国临床医学影像杂志, 2013, 24(12):841-845
- [4] Hakyemez B, Erdogan C, Ercan I, et al. High-grade and low-grade gliomas: differentiation by using perfusion MR imaging[J]. Clin Radiol, 2005, 60(4):493-502
- [5] 王敏, 王德杭, 洪汛宁, 等. MR动脉自旋标记与动态磁敏感对比增强灌注技术在脑胶质瘤术前评估中的对

- 照研究[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2011, 31(9): 1332-1336
- [6] 杨涛. 磁共振多模态影像在脑胶质瘤诊断及分级中的应用研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2014
- [7] 胡兰花, 于韬, 徐婷婷, 等. 动态磁敏感对比增强MRI和动态对比增强MRI鉴别胶质瘤复发和放射性脑损伤[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(1): 11-16
- [8] Sha L, Cao Q, Lv L, et al. Cerebral radiation injury and changes in the brain tissues of rat models with glioma[J]. *Tumour Biol*, 2014, 35(3): 2379-2382
- [9] Kim HR, Kim SH, Lee JI, et al. Outcome of radiosurgery for recurrent malignant gliomas: assessment of treatment response using relative cerebral blood volume[J]. *J Neurooncol*, 2015, 121(2): 311-318
- [10] Hamilton JD, Lin J, Ison C, et al. Dynamic contrast-enhanced perfusion processing for neuroradiologists: model-dependent analysis may not be necessary for determining recurrent high-grade glioma versus treatment effect[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2015, 36(4): 686-693
- [11] Barajas RF, Cha S. Benefits of dynamic susceptibility-weighted contrast-enhanced perfusion MRI for glioma diagnosis and therapy[J]. *CNS Oncol*, 2014, 3(6): 407-419
- [12] Arevalo-Perez J, Peck KK, Young RJ, et al. Dynamic contrast-enhanced perfusion MRI and diffusion-weighted imaging in grading of gliomas[J]. *J Neuroimaging*, 2015, 25(5): 792-798
- [13] Server A, Graff BA, Orheim TE, et al. Measurements of diagnostic examination performance and correlation analysis using microvascular leakage, cerebral blood volume, and blood flow derived from 3T dynamic susceptibility-weighted contrast-enhanced perfusion MR imaging in glial tumor grading[J]. *Neuroradiology*, 2011, 53(6): 435-447
- [14] Awasthi R, Rathore RK, Soni P, et al. Discriminant analysis to classify glioma grading using dynamic contrast-enhanced MRI and immunohistochemical markers[J]. *Neuroradiology*, 2012, 54(3): 205-213
- [15] Rau MK, Braun C, Skardelly M, et al. Prognostic value of blood flow estimated by arterial spin labeling and dynamic susceptibility contrast-enhanced MR imaging in high-grade gliomas[J]. *J Neurooncol*, 2014, 120(3): 557-566
- [16] Roy B, Awasthi R, Bindal A, et al. Comparative evaluation of 3-dimensional pseudocontinuous arterial spin labeling with dynamic contrast-enhanced perfusion magnetic resonance imaging in grading of human glioma[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2013, 37(3): 321-326
- [17] Santarosa C, Castellano A, Conte GM, et al. Dynamic contrast-enhanced and dynamic susceptibility contrast perfusion MR imaging for glioma grading: Preliminary comparison of vessel compartment and permeability parameters using hotspot and histogram analysis[J]. *Eur J Radiol*, 2016, 85(6): 1147-1156
- [18] Xiao HF, Chen ZY, Lou X, et al. Astrocytic tumour grading: a comparative study of three-dimensional pseudocontinuous arterial spin labelling, dynamic susceptibility contrast-enhanced perfusion-weighted imaging, and diffusion-weighted imaging[J]. *Eur Radiol*, 2015, 25(12): 3423-3430
- [19] Schmainda KM, Prah M, Connelly J, et al. Dynamic-susceptibility contrast agent MRI measures of relative cerebral blood volume predict response to bevacizumab in recurrent high-grade glioma[J]. *Neuro Oncol*, 2014, 16(6): 880-888
- [20] Parvez K, Parvez A, Zadeh G. The diagnosis and treatment of pseudoprogression, radiation necrosis and brain tumor recurrence[J]. *Int J Mol Sci*, 2014, 15(7): 11832-11846
- [21] Sugahara T, Korogi Y, Tomiguchi S, et al. Posttherapeutic intraaxial brain tumor: the value of perfusion-sensitive contrast-enhanced MR imaging for differentiating tumor recurrence from nonneoplastic contrast-enhancing tissue[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2000, 21(5): 901-909
- [22] 尹东元, 赵岩. 波谱分析和磁共振灌注成像在胶质瘤复发诊断中的价值[J]. *现代肿瘤医学*, 2015, 23(12): 1655-1658
- [23] Seeger A, Braun C, Skardelly M, et al. Comparison of three different MR perfusion techniques and MR spectroscopy for multiparametric assessment in distinguishing recurrent high-grade gliomas from stable disease[J]. *Acad Radiol*, 2013, 20(12): 1557-1565
- [24] Alexiou GA, Zikou A, Tsiouris S, et al. Comparison of diffusion tensor, dynamic susceptibility contrast MRI and (99m)Tc-Tetrofosmin brain SPECT for the detection of recurrent high-grade glioma[J]. *Magn Reson Imaging*, 2014, 32(7): 854-859

[收稿日期] 2017-09-14