

# MR灌注加权成像与CT灌注成像评估烟雾病患者脑血流动力学的比较研究\*

张金戈<sup>1</sup>, 刘科伶<sup>1</sup>, 赵俐红<sup>1</sup>, 钱伟强<sup>2</sup>, 彭婉琳<sup>1</sup>, 刘翼<sup>2</sup>, 夏春潮<sup>1</sup>, 李真林<sup>1△</sup>

1. 四川大学华西医院 放射科(成都 610041); 2. 四川大学华西医院 神经外科(成都 610041)

**【摘要】 目的** 探讨磁共振灌注加权成像(MR perfusion weighted imaging, PWI-MRI)与CT灌注成像(CT perfusion imaging, CTP)评估烟雾病患者脑血流动力学结果的相关性。**方法** 选取24例经数字减影血管造影术(digital subtraction angiography, DSA)或时间飞跃法-磁共振血管成像(time of flight-MR angiography, TOF-MRA)证实、并行脑血管重建术的烟雾病患者,回顾性分析术前一周内PWI-MRI及CTP的灌注参数图像[灌注参数包括脑血流量(cerebral blood flow, CBF)、脑血容量(cerebral blood volume, CBV)、达峰时间(time to peak, TTP)和平均通过时间(mean transit time, MTT)],分别得到拟手术侧灌注缺损区与同侧小脑对照区的相对灌注参数(rCBF、rCBV、rMTT、rTTP)。另选取无灌注缺损并排除脑血管疾病的17例患者作为对照组。对烟雾病组和对照组的灌注结果进行比较,并对各组的参数进行Pearson相关分析。**结果** 与对照组相比,烟雾病组患者的PWI-MRI、CTP各参数图上均有不同程度的灌注缺损区,烟雾病组rCBF、rCBV下降, rMTT、rTTP延长( $P<0.01$ )。在烟雾病组患者中, PWI-MRI与CTP所得同种灌注参数之间的差异均具有统计学意义( $P<0.01$ ),但相关分析显示同种灌注参数之间均具有较强相关性( $r$ 值:rCBF为0.791, rCBV为0.832, rMTT为0.748, rTTP为0.812)。**结论** PWI-MRI与CTP均能得到定量的灌注参数,对烟雾病患者灌注缺损的部位与程度作出评估。

**【关键词】** MR灌注加权成像 CT灌注成像 烟雾病

**Comparison of MR Perfusion Weighted Imaging and CT Perfusion Imaging in Assessing Hemodynamics of Patients with Moyamoya Disease** ZHANG Jin-ge<sup>1</sup>, LIU Ke-ling<sup>1</sup>, ZHAO Li-hong<sup>1</sup>, QIAN Wei-qiang<sup>2</sup>, PENG Wan-lin<sup>1</sup>, LIU Yi<sup>2</sup>, XIA Chun-chao<sup>1</sup>, LI Zhen-lin<sup>1△</sup>. 1. Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Department of Neurosurgery, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

△ Corresponding author, E-mail: lzld01@126.com

**【Abstract】 Objective** To determine consistencies between MR perfusion weighted imaging (PW-MRI) and CT perfusion imaging (CTP) in assessing hemodynamics of patients with moyamoya disease (MMD). **Methods** Images of PWI and CTP scan [including the map of cerebral blood flow (CBF), cerebral blood volume (CBV), time to peak (TTP), and mean transit time (MTT)] of 24 MMD patients diagnosed by digital subtraction angiography (DSA) or time of flight-MR angiography (TOF-MRA) were obtained in the week before vascular reconstruction operations. Relative perfusion parameters (rCBF, rCBV, rMTT, rTTP) at the operative side within the middle cerebral artery territory and cerebellar hemisphere were compared with those of 17 patients without hypoperfusion and cerebrovascular disease using independent sample  $t$  test. Paired  $t$  test and Pearson correlation analyses were performed between the results of PWI-MRI and CTP. **Results** Different parameters were found in the MMD patients compared with the controls ( $P<0.05$ ). The parameter results of PWI-MRI differed from those of CTP, but they were strongly correlated. **Conclusion** Both PWI-MRI and CTP can detect the area and degree of hypoperfusion of MMD patients.

**【Key words】** MR perfusion weighted imaging CT perfusion imaging Moyamoya disease

烟雾病(moyamoya disease, MMD)又名脑底异常血管网症,是一组以 Willis 环双侧主要分支血管慢性进行性狭窄或闭塞,继发出现侧支异常的小

血管网为特点的脑血管病。因脑血管造影时呈现许多密集成堆的小血管影,似吸烟时吐出的烟雾,故名烟雾病<sup>[1]</sup>。迄今为止,关于烟雾病的病因尚不清楚,但有研究发现其发病具有一定家族遗传性,从流行病学来看发病率在东亚国家较高,但其仍然属于一种罕见的脑血管病。烟雾病在临床上主要表现为缺

\* 四川省重点项目(No. 2017SZ0016)资助

△ 通信作者, E-mail: lzld01@126.com

血型 and 出血型,临床症状包括短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack, TIA)、癫痫、蛛网膜下腔及脑实质出血、急性脑梗等<sup>[2]</sup>。目前对有症状的烟雾病治疗手段主要为外科血管手术建立血管通路,以改善血供情况,降低脑缺血发作、脑梗的发生率。若确定患者的症状是由血流动力学异常引起的,此时再进行血管重建术则更加合理<sup>[3]</sup>。

目前,包括单光子发射计算机断层成像术(single-photon emission computed tomography, SPECT)、CT 灌注成像(CTP)、磁共振灌注加权成像(PWI-MRI)等在内的影像学检查已经成为评估脑血流动力学的重要手段<sup>[4-5]</sup>。本研究旨在对 CTP 和 PWI-MRI 两种放射科内常用的灌注成像方法进行比较,探讨其在评估术前烟雾病患者血流动力学中的价值。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

选取 2017 年 4~8 月在四川大学华西医院神经外科行颞浅动脉-大脑中动脉吻合术、结合脑-硬脑膜-肌肉血管融合术治疗的 24 例烟雾病患者为研究对象,回顾性分析术前 1 周行 CTP 及 PWI-MRI 检查结果。所有患者均经数字减影血管造影术(DSA)或时间飞跃法磁共振血管成像(TOF-MRA)证实为烟雾病,有明显脑缺血或出血症状,且在术前 1 周内四川大学华西医院放射科内行 CTP 及 PWI-MRI 检查。其中男性 14 例,女性 10 例,年龄 11~57 岁,平均年龄( $37.2 \pm 15.2$ )岁。另选取经影像检查(DSA 或 TOF-MRA)证实无烟雾病或其他脑血管疾病的 17 例患者作为对照组,对照组男性 9 例,女性 8 例,年龄 22~64 岁,平均年龄( $40.8 \pm 13.7$ )岁。烟雾病组患者与对照组年龄差异无统计学意义( $t=0.778$ ,  $P>0.05$ )。

### 1.2 扫描方法及参数

**1.2.1 CTP 扫描参数** 采用西门子 128 层双源 CT(Siemens Definition Flash)进行扫描,选择 4D“摇篮床模式”扫描。选择 128 mm×0.6 mm 准直器,管电压 70 kV,管电流 150 mAs,层厚 5 mm,扫描范围覆盖颅底以上 100 mm,单次扫描时间 1.5 s,球管旋转时间 0.28 s,总共扫描 29 次,扫描总时间 44.81 s。对比剂注射:经肘前静脉以 6.0 mL/s 的速度注射碘帕醇(370 mg/mL)40~50 mL,对比剂注射完毕后再以 5.0 mL/s 的速度追加注射 20 mL 生理盐水进行冲刷。使用西门子后处理工作站 syngo

MMWP(VE40A)上的 VPCT Neuro 软件对灌注数据进行处理,得到脑血流量(CBF)、脑血容量(CBV)、达峰时间(TTP)和平均通过时间(MTT)的伪彩参数图。同时利用西门子双源 CT 自带的辐射剂量评估软件,得到 CTP 扫描序列的容积 CT 剂量指数(CTDIvol)、剂量长度乘积(DLP)。根据公式  $E = DLP \times W$  ( $E$  为有效剂量,  $W$  为组织权重因子)<sup>[6]</sup>,可计算得到单个患者接受 CTP 序列扫描的有效剂量。

**1.2.2 PWI-MRI 扫描参数** 采用西门子 3.0T 磁共振(Siemens Skyra 3.0T)进行扫描,使用 20 通道头颈线圈,用平面回波(EPI)序列连续扫描 60 期,扫描总时间 105 s,重复时间(TR)1 640 ms,回波时间(TE)30 ms,翻转角 90°,层厚 5 mm,层间距为 1.5 mm,扫描层数 21,采集矩阵 128×128,激励次数 1。对比剂注射方案:打开实时图像窗,待第 3 期图像扫描完成后由高压注射器以 5.0 mL/s 的速率按 0.2 mL/kg 注射钆喷酸葡胺(规格为 20 mL, 9.38 g),对比剂注射完毕后以 5.0 mL/s 的速率注射 30 mL 生理盐水进行冲刷。使用西门子后处理工作站 syngo MMWP(VE40A)上的 Perfusion MR 软件处理 PWI 数据,得到 CBF、CBV、TTP、MTT 伪彩参数图。

### 1.3 相对灌注参数的计算

由 3 位放射科医师分别独立地绘制感兴趣区(region of interests, ROI),测量拟手术侧大脑中动脉(middle cerebral artery, MCA)供血区及同侧小脑半球的灌注参数,分别得到 ROI 内 CBF、CBV、TTP、MTT 的值,取 3 组平均值计算拟手术侧 MCA 供血区/小脑半球的相对灌注参数(rCBF、rCBV、rTTP、rMTT)。绘制 ROI 时要求避开脑沟、脑裂、大血管、陈旧性梗死灶及钙化灶。ROI 绘制如图 1。

### 1.4 统计学方法

计量资料用  $\bar{x} \pm s$  表示。采用两独立样本  $t$  检验,并采用 Pearson 相关分析 CTP 和 PWI-MRI 所得的同种参数之间的相关性。 $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 烟雾病组和对照组相对灌注参数的比较

24 例烟雾病患者在拟手术侧 MCA 供血区域内均出现有不同程度的灌注缺损区(图 2)。烟雾病

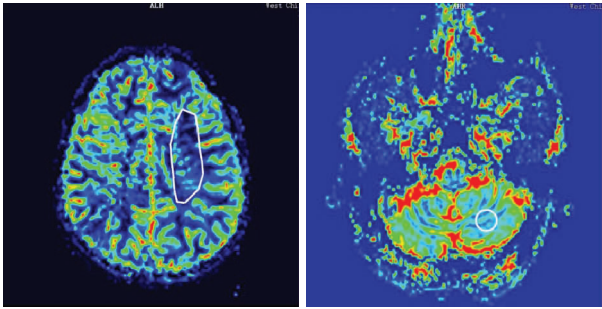


图 1 拟手术侧小脑半球的 ROI 勾画示意图及同侧 MCA 供血区  
Fig 1 ROI drawing of MCA territory and cerebellar hemisphere on the operative side of patients

组与对照组相对灌注参数的比较见附表。结果显示,无论是 CTP 还是 PWI-MRI,所得对照组与烟雾病组的各组参数差异均存在统计学意义( $P < 0.05$ )。与对照组相比,烟雾病组患者的 rCBF、rCBV 下降,rMTT、rTTP 延长。

2.2 烟雾病组患者 CTP 和 PWI 相对灌注参数的比较

由附表可见,烟雾病患者两种灌注成像方法所得各组参数之间的差异均具有统计学意义( $P < 0.001$ ),与 CTP 相比,PWI-MRI 图像上所测得的 rCBF 较高,而 rCBV、rMTT、rTTP 较低。

附表 对照组与烟雾病组的相对灌注参数

Table Relative perfusion parameters in the MMD patients and controls

| Parameter | Control group (n=17) | MMD group (n=24) | t      | P      |
|-----------|----------------------|------------------|--------|--------|
| CTP       |                      |                  |        |        |
| rCBF      | 1.10±0.25            | 0.55±0.11 *      | 8.728  | <0.001 |
| rCBV      | 1.83±0.39            | 0.99±0.23 *      | 7.985  | <0.001 |
| rMTT      | 1.79±0.32            | 2.08±0.28 *      | -3.185 | 0.003  |
| rTTP      | 1.09±0.17            | 1.53±0.17 *      | -8.158 | <0.001 |
| PWI-MRI   |                      |                  |        |        |
| rCBF      | 1.66±0.28            | 0.67±0.13        | 13.473 | <0.001 |
| rCBV      | 1.79±0.20            | 0.87±0.24        | 12.888 | <0.001 |
| rMTT      | 1.07±0.45            | 1.42±0.25        | -2.94  | 0.007  |
| rTTP      | 1.16±0.22            | 1.34±0.16        | -2.985 | 0.005  |

\*  $P < 0.001$ , vs. PWI-MRI group in the parameter

2.3 相关分析

见图 3。对烟雾病组患者 CTP 和 PWI-MRI 所

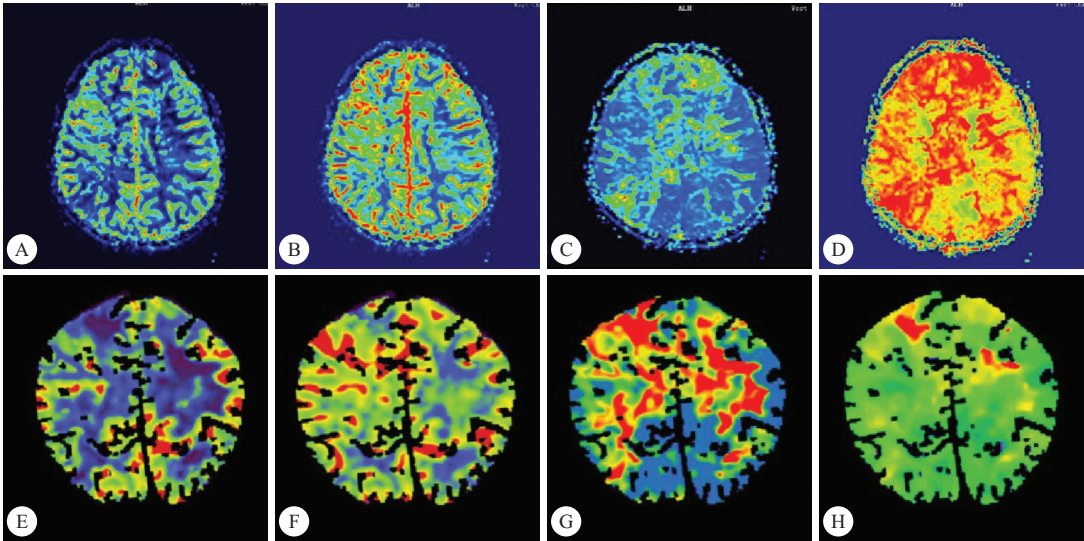


图 2 34 岁男性 MMD 患者伴 TIA,灌注伪彩图

Fig 2 Perfusion parameter maps of a 34 years old male MMD patient with TIA

A,B,C,D: CBF, CBV, MTT and TTP parameters of PWI-MRI; E,F,G,H: CBF, CBV, MTT and TTP parameters of CTP

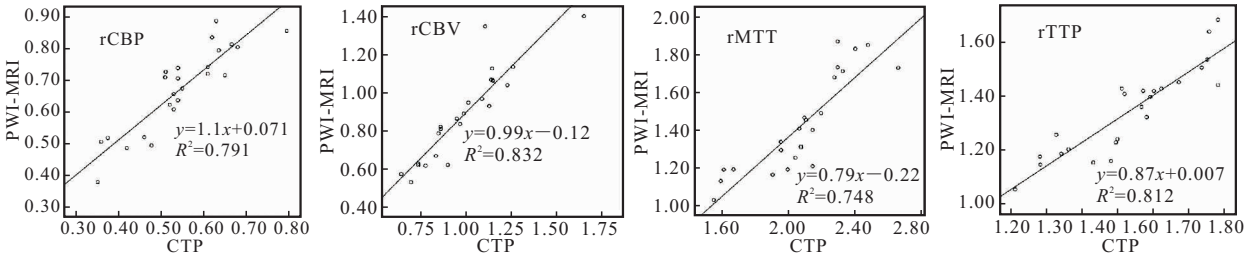


图 3 MMD 组 CTP 与 PWI-MRI 参数的 Pearson 相关性分析

Fig 3 Pearson correlation between CTP and PWI-MRI results in the MMD patients

得同种相对灌注参数进行 Pearson 相关分析, PWI-MRI 与 CTP 所得相对灌注参数均呈正相关, 且具有较强相关性。rCBF、rCBV、rMTT、rTTP 的  $r$  值分别为 0.889、0.912、0.865、0.901,  $P$  均  $< 0.01$ 。

## 2.4 CTP 扫描的辐射剂量

CTP 序列扫描 CTDIvol 为 120.15 mGy, DLP 为 1417 mGy·cm, 根据颅脑权重因子 0.0023 计算出单个患者接受 CTP 序列扫描的有效剂量为 3.26 mSv。

## 3 讨论

### 3.1 灌注成像对烟雾病患者手术决策的意义

不同烟雾病患者由于病情进展各异, 而且 Willis 环、软脑膜血管及颅内外血管间侧支循环的广泛存在, 使得脑内血流动力学改变较为复杂<sup>[7]</sup>。其特征性的“烟雾血管”是非常细小而脆弱的异常血管网, 不仅无法满足脑组织的灌注需求, 而且容易破裂导致脑出血, 所以患者的脑缺血出血症状很大程度上取决于血管狭窄程度及烟雾血管形成情况。

目前针对烟雾病的治疗手段主要包括药物治疗和外科手术治疗, 外科治疗常用的术式是颞浅动脉-大脑中动脉吻合术结合脑-硬脑膜-肌肉血管融合术。根据日本专家 2012 年发表的烟雾病诊断治疗指南<sup>[8]</sup>, 烟雾病进行外科手术的指征为: ①存在排除其他因素导致的脑缺血症状或颅内出血; ②存在脑血流动力学损害的证据; ③排除其他手术禁忌症。若没有出现明显症状或灌注缺损, 则应选择药物治疗为宜。DSA 或 TOF-MRA 等影像学检查虽然能够从脑血管形态上确诊烟雾病, 却不能评估患者的灌注情况。对于经 DSA 或 TOF-MRA 证实的烟雾病患者, 还需要结合灌注成像结果和患者症状综合判断是否需要血管重建术。因此, 在术前了解烟雾病患者的血流动力学状态, 评估脑缺血区域灌注情况, 对于临床手术决策具有重要意义。

### 3.2 MRI-PWI 与 CTP 所得灌注结果的比较

在灌注成像的研究中, 通常会采用灌注参数的相对值而非绝对值来评估灌注情况, 以排除序列不同、患者个体差异等因素对绝对值造成的影响。本研究中, 由于烟雾病常常累及双侧大脑前动脉及大脑中动脉, 若按常规方法选择对侧镜像区作为参考计算相对值, 则可能无法准确反映灌注缺损的程度, 故参照王斌等<sup>[9]</sup>的研究选择主要由后循环供血的小脑半球作为对照区域。

国内外已有较多研究证实, 在心肌灌注成像和

脑灌注成像中, MRI-PWI 与 CTP 所得的灌注结果具有较高相关性<sup>[10-11]</sup>。但由于烟雾病在欧美国家发病率较低, 国外相关研究较少。国内学者王斌<sup>[9]</sup>、崔若棣<sup>[12]</sup>等对烟雾病患者术前术后 MRI-PWI 与 CTP 所得的灌注结果进行了对照研究, 证实二者均能对烟雾病患者术后灌注改善的情况作出评估, 但未对二者所得结果进行相关性分析。

本研究结果证实, PWI-MRI 与 CTP 均能检测出术前烟雾病患者灌注缺损的部位与程度。不仅能从伪彩图上直观地看到灌注缺损区域, 还能通过计算相对灌注参数定量地评估缺血程度, 与对照组的数据相比差异具有统计学意义。虽然两种成像方法得到的相对灌注参数之间差异具有统计学意义, 但经 Pearson 相关分析证实这两种方法所得 rCBF、rCBV、rMTT、rTTP 之间均具有较高相关性。

### 3.3 PWI-MRI 与 CTP 各自的优势与不足

在目前国内外烟雾病的诊疗指南中, 只提到了 SPECT 和正电子发射计算机断层显像 (PET) 能有效评估缺血的严重程度, 而并未提及其他影像学灌注成像方法<sup>[8,13]</sup>。近年来随着 CT 和 MRI 成像技术的快速发展, CT 灌注成像和磁共振 PWI 成像已经成为临床上评估患者大脑灌注情况的重要手段, 并且经研究证实其与 SPECT、PET 的结果相比一致性较好<sup>[14]</sup>。

CT 灌注成像是一种目前在临床上广泛应用的灌注成像方法, 具有成像速度快、检查费用低的优势, 并且可以在后处理工作站上通过 4D 降噪、运动校正等处理最大限度地降低运动伪影的影响, 以保证得到高质量的伪彩灌注图, 特别适用于病情较危重或配合较差的患者。缺点则主要是伴随 CT 检查产生的辐射危害, 相对于普通的 CT 检查来说, CTP 扫描需要对同一部位进行持续的曝光, 导致 CTP 序列扫描时产生的辐射剂量往往较高。随着多层螺旋 CT 在临床上的广泛应用, CT 检查所产生的辐射危害也逐渐受到广大研究人员和公众的关注<sup>[15]</sup>。尽管近年来低剂量 CTP 扫描技术已经取得较大进展并投入实用<sup>[16-17]</sup> (本研究亦采用的是 70 kV、150 mAs 的低剂量扫描模式, 单个患者 CTP 序列的有效剂量仅为 3.26 mSv), 但辐射剂量仍是限制 CTP 在一些特殊人群中运用的重要因素。

PWI-MRI 成像是一种近年来新兴的灌注成像方法, 并且在临床上的应用逐渐增多。与 CTP 相比, 其具有安全、无电离辐射的优势, 特别适用于碘造影剂过敏患者、儿童、育龄期妇女等特殊人群的血

流动力学检查。但同时,PWI-MRI也有检查费用高、检查时间较长、易受运动伪影影响等缺点。并且,当患者有幽闭恐惧症或有金属植入物等磁共振检查禁忌症时,也不能接受PWI-MRI检查。

综上所述,CTP与PWI-MRI均能对术前烟雾病患者脑缺血区域的灌注情况进行定量评价,且所得结果具有较强相关性。临床医生在对烟雾病患者进行诊疗时,应了解CTP与PWI-MRI各自的优势与不足,综合考虑各方面因素决定患者应该采取哪种灌注成像方法,避免重复检查导致医疗资源的浪费。

本研究还存在一些不足:①样本量较少;②没有将患者术后的数据纳入分析。在今后进一步的研究中,将继续增大样本量并且做好术后远期随访,观察烟雾病患者术后长期的血流改变情况,并对不同的灌注成像方法进行对照研究。

## 参 考 文 献

- [1] 高山,倪俊,黄家星,等.烟雾病临床特点分析.中华神经科杂志,2006,39(3):176-179.
- [2] HISHIKAWA T, SUGIU K, DATE I. Moyamoya disease: a review of clinical research. *Acta Med Okayama*, 2016, 70(4):229-236.
- [3] LI Z, ZHOU P, XIONG Z, *et al.* Perfusion-weighted magnetic resonance imaging used in assessing hemodynamics following superficial temporal artery-middle cerebral artery bypass in patients with moyamoya disease. *Cerebrovasc Dis*, 2013, 35(5):455-460.
- [4] SAKAMOTO S, OHBA S, SHIBUKAWA M, *et al.* CT perfusion imaging for childhood moyamoya disease before and after surgical revascularization. *Acta Neurochir*, 2006, 148(1):77-81.
- [5] 赵剑婷,王慧敏,董敏,等.磁共振灌注成像对TIA疾病治疗及预后的应用价值.中国实用神经疾病杂志,2016,19(24):66-68.
- [6] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP*, 2007, 37(2/3/4):1-332.
- [7] JIANG T, PERRY A, DACEY RG, *et al.* Intracranial atherosclerotic disease associated with moyamoya collateral formation: histopathological findings. *J Neurosurg*, 2013, 118(5):1030-1034.
- [8] HASHIMOTO N, TOMINAGA T, MIYAMOTO S, *et al.* Guidelines for diagnosis and treatment of moyamoya disease (spontaneous occlusion of the circle of Willis). *Neurol Med Chir(Tokyo)*, 2012, 52(5):245-266.
- [9] 王斌,朱凤萍,周茜,等.运用MR血管成像及灌注加权成像评价烟雾病责任血管、术后重建血管及手术前后脑血流动力学变化.中华放射学杂志,2014,48(5):381-385.
- [10] RIEF M, CHEN MY, VAVERE AL, *et al.* Coronary Artery Disease: analysis of diagnostic performance of CT perfusion and MR perfusion imaging in comparison with quantitative coronary angiography and SPECT-Multicenter prospective trial. *Radiology*, 2018, 286(2):461-470.
- [11] CHIU FY, KAO YH, TENG MM, *et al.* Validation and absolute quantification of MR perfusion compared with CT perfusion in patients with unilateral cerebral arterial stenosis. *Eur J Radiol*, 2012, 81(12):4087-4093.
- [12] 崔若棣,易明岗. CT灌注与MR灌注加权成像评价烟雾病血管重建术对烟雾病患者短期脑血流的影响.中国CT和MRI杂志,2015,13(11):10-12.
- [13] 任斌,段炼. 2012年烟雾病(Willis环自发性闭塞)诊断治疗指南(日本)的解读.中国脑血管病杂志,2014,11(1):6-9.
- [14] KARONEN JO, OSTERGAARD L, VAINIO P, *et al.* Diffusion and perfusion MR imaging in acute ischemic stroke: a comparison to SPECT. *Comput Meth Prog Bio*, 2001, 66(1):125-128.
- [15] 李真林,邓开鸿,邓莉萍.多层螺旋CT辐射剂量控制与监督的临床意义.华西医学,2010,25(8):1584-1586.
- [16] 李万江,张凯,彭礼清,等.70 kV颅脑CT灌注成像的可行性研究.华西医学,2015,30(10):1910-1913.
- [17] LI ZL, LI H, ZHANG K, *et al.* Improvement of image quality and radiation dose of CT perfusion of the brain by means of low-tube voltage (70 kV). *Eur Radiol*, 2014, 24(8):1906-1913.

(2018-03-08收稿,2018-07-10修回)

编辑 沈进