

探讨不同输入动脉对烟雾病 CT 灌注参数的影响

刘兴利, 薛静, 高培毅, 王昊, 张亚男

【摘要】 目的:探讨烟雾病 CT 灌注后处理过程中不同输入动脉对灌注参数的影响。方法:选取 19 例烟雾病患者术前行能谱 CT 容积穿梭扫描,在灌注图像后处理过程中,每例分别选择大脑前动脉 A2 段(ACA 组)和基底动脉(BA 组)作为输入动脉,上矢状窦为输出静脉,比较两组灌注参数间的差异;将 ACA 组、BA 组的相对脑血流量(rCBF)分别与单光子发射计算机断层成像(SPECT)结果进行对比。所有资料均符合正态分布,采用配对 t 检验, $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。结果:ACA 组和 BA 组拟手术侧灌注参数对比:脑血流量(CBF)、达峰时间(TTP)差异均无统计学意义(P 均 > 0.05),而脑血容量(CBV)、平均通过时间(MTT)差异均具有统计学意义(P 均 < 0.05)。ACA 组、BA 组拟手术侧 rCBF 分别与对应 SPECT 结果比较:大脑前动脉、大脑中动脉分布区 BA 组与 SPECT 结果差异均无统计学意义(P 均 > 0.05),而相应区域 ACA 组与 SPECT 结果差异均具有统计学意义(P 均 < 0.05);大脑后动脉分布区 BA 组、ACA 组与 SPECT 结果差异均无统计学意义(P 均 > 0.05),但 BA 组更接近 SPECT 结果。结论:烟雾病 CT 灌注后处理过程中,输入动脉选择非受累动脉(BA)得到的灌注参数较选择受累动脉(ACA)更加准确,故在烟雾病患者行传统 CT 灌注扫描时,可适当调整扫描基线以使 BA 包括在扫描范围内。

【关键词】 脑血管,烟雾病;灌注成像;体层摄影术,X 线计算机;大脑前动脉;基底动脉

【中图分类号】 R743.4; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)02-0151-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.02.013

The influence of different arterial input function for postprocessing of cerebral CT perfusion on the perfusion parameters in moyamoya disease LIU Xing-li, XUE Jing, GAO Pei-yi, et al. Department of Radiology, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, P. R. China

【Abstract】 Objective: To discuss the influence of different artery input on cerebral blood perfusion parameters of the moyamoya disease. **Methods:** CT perfusion (CTP) datasets which were obtained from 19 preoperative moyamoya patients were retrospectively postprocessed using the same venous output function and different artery input function (AIF) selections. The basilar artery (BA group) and the second segment of the anterior cerebral artery (ACA group) were used as the input arteries. CTP values obtained from different AIF were measured and compared. At last, the relative cerebral blood flow (rCBF) of the ACA group and BA group were compared with SPECT respectively, and paired t test was used. **Results:** Comparing the perfusion values of BA group with ACA group on the potential surgical side, the difference of CBV and MTT was statistically significant ($P < 0.05$), while the difference of CBF and TTP was not. Comparing the rCBF of ACA and MCA distribution in the potential surgical side with SPECT, the difference with ACA group was statistically significant ($P < 0.05$) and the BA group was not ($P > 0.05$), while on the PCA distribution, either ACA group or BA group had no statistical significance ($P > 0.05$), but the mean value of BA group was closer to the SPECT. **Conclusion:** The use of non-affected AIF can make the perfusion parameters more accurate. So the baseline of the conventional CT perfusion scanning can be adjusted so as to make the basilar artery included in the scan range.

【Key words】 Cerebrovascular moyamoya disease; Perfusion imaging; Tomography, X-ray computed; Anterior cerebral artery; Basilar artery

CT 灌注(CT perfusion, CTP)是指静脉团注对比剂同时进行快速动态 CT 扫描,再通过特定的数学模型计算出血流灌注参数。在 CTP 图像后处理过程中,需要选择一个输入动脉和输出静脉以获取每一像素的

时间-密度曲线(time-density curve, TDC)^[1]。王欣等^[2]研究发现不同的输入动脉会对肺灌注结果产生影响。在常规的头颅 CTP 扫描中,输入动脉通常选择大脑前动脉(anterior cerebral artery, ACA),输出静脉选择上矢状窦。然而,烟雾病患者的 ACA、大脑中动脉(middle cerebral artery, MCA)往往呈慢性进行性狭窄或闭塞,此时若输入动脉仍选择 ACA,其获得的输入动脉 TDC 图可能与正常时有所差别^[3]。本文旨在探讨在输出静脉相同的前提下,不同输入动脉对烟雾病患者 CTP 参数的影响。由于传统扫描模式中扫

作者单位:100050 北京,首都医科大学附属北京天坛医院放射科(刘兴利、薛静、高培毅、王昊);100050 北京,北京市神经外科研究所(薛静、高培毅);100050 北京,磁共振成像脑信息学北京市重点实验室(薛静、高培毅);100010 北京,首都医科大学附属北京中医医院放射科(张亚男)

作者简介:刘兴利(1988-),女,四川泸州人,硕士研究生,住院医师,主要从事神经系统影像诊断和研究。

通讯作者:薛静, E-mail: xuejing2006@126.com

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BA108B09);北京市卫生系统高层次卫生技术人才培养计划(2013-3-049)

描范围的限制,前、后循环血管常不能同时包含在扫描范围内,故本研究统一采用能谱 CT 容积穿梭扫描技术,覆盖全脑的扫描范围^[4]以便于实现不同输入动脉的选择。

材料与方 法

1. 病例资料

搜集 2013 年 11 月—2014 年 9 月经我院 DSA 确诊且接受单光子发射计算机断层成像(single photon emission computerized tomography, SPECT)检查的 19 例烟雾病患者。19 例患者中,男 6 例,女 13 例,年龄 16~52 岁,平均 33.6 岁。19 例患者的临床分型:8 例为短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack, TIA)型,CT 检查未见明显异常;9 例为缺血型;2 例为出血型。本组 19 例患者均为双侧烟雾病且未接受过血运重建术。

2. SPECT 检查

所有患者均行 SPECT 检查(GE 公司 Infinia Hawkeye 型双探头 SPECT 仪),与 CTP 检查间隔时间为 0~14 d,平均 3.26 d。感兴趣区(ROI)默认选择基底节或侧脑室层面的大脑前动脉(ACA)、大脑中动脉(MCA)及大脑后动脉(posterior cerebral artery, PCA)的皮层分布区。每一血管分布区的相对脑血流量(the relative cerebral blood flow, rCBF)值等于该区域的 CBF 值与双侧小脑半球 CBF 之和的比值。有研究表明^[5],这种小脑半球比值法在烟雾病的血流灌注半定量评估中更加准确、客观。扫描过程中为提高其准确性,ROI 层面一般连续扫 4 层(层厚 2.95 mm),其中每层 MCA 分布区又被划分为 4 个区域,故计算时每个血管分布区的 rCBF 值等于各层面之和的均值。

3. CTP 检查

所有患者均接受 GE Discovery CT 750HD(宝石能谱 CT)容积穿梭扫描。扫描参数如下:管电压 100 kV,管电流 400 mA,转速 0.4 s,视野 25 cm×25 cm,矩阵 512×512,层厚 5 mm。使用双筒高压注射器(Ulrich Missouvi XD2501-C)向肘正中静脉以团注的方式注射 60 mL 对比剂(碘普罗胺,370 mg I/mL),团注流率为 5 mL/s,延迟 5~10 s 开始进行容积穿梭扫描,扫描范围约 110 mm。

4. CTP 图像后处理

扫描结束后,获得 450 幅层厚

为 5 mm 的 shuttle 序列图像并传送到 GE AW 4.4 工作站进行灌注图像的后处理。手动选择输入动脉及输出静脉,并在去除脑脊液及颅骨的影响后通过去卷积法获取每一像素的 TDC 图,从而重建出 CTP 参数图。输入动脉先后选择 ACA、基底动脉(basilar artery, BA),输出静脉选择上矢状窦得到 ACA 组和 BA 组的灌注参数: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)。CTP 参数图的 ROI 统一选择与该患者 SPECT 检查 ROI 相同或相近的层面,拟手术侧 ACA、MCA 及 PCA 的皮层分布区被勾画出来作为 ROI,并通过自动镜像法勾画对侧的区域。双侧小脑半球最大层面也同时被勾画出来以便计算 rCBF(rCBF 等于该区域的 CBF 与双侧小脑半球 CBF 之和的比值)。

5. 统计学分析

采用 SPSS 16.0 统计学软件,计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,所有资料均符合正态分布,选择配对 *t* 检验进行统计学分析, $P < 0.05$ 认为差异具有统计学意义。

结 果

当 ACA 作为输入动脉时,其动脉的 TDC 图较 BA 作为输入动脉时峰值低,TTP 延后(图 1)。不同输入动脉所得到的灌注参数图不完全相同,但两组灌注参数图灌注异常区均与 SPECT 能较好地吻合(图 2)。

ACA、MCA 分布区 BA 组与 ACA 组拟手术侧灌注参数对比:CBF、TTP 间差异均无统计学意义(P 均 > 0.05),CBV、MTT 间差异均有统计学意义(P 均 < 0.05 ,表 1、2)。ACA、MCA 分布区 BA 组拟手术侧 rCBF 与 SPECT 结果间差异均无统计学意义(P 均 $>$

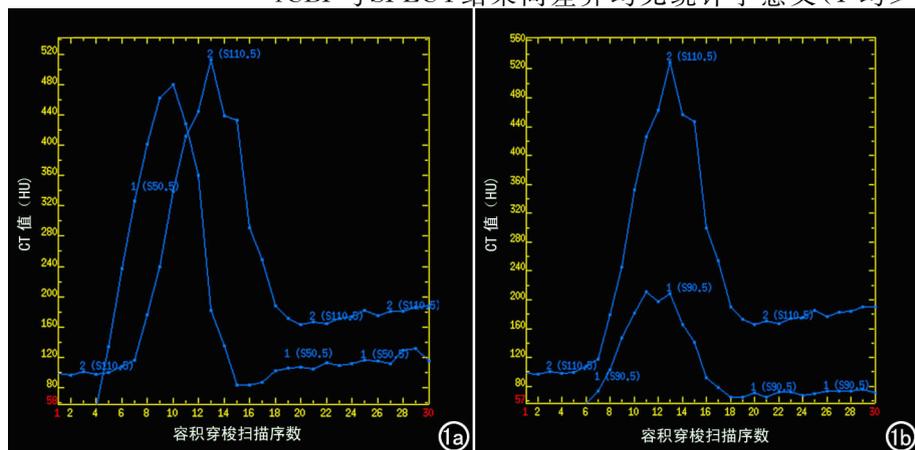


图 1 a) BA 作为输入动脉得到的动、静脉 TDC 图,其动脉 TDC 图峰值约 480HU,PN=10; b) ACA 作为输入动脉得到的动、静脉 TDC 图,其动脉 TDC 图略呈双峰型,峰值约 220HU,PN=11,13。PN 代表容积穿梭扫描序数。

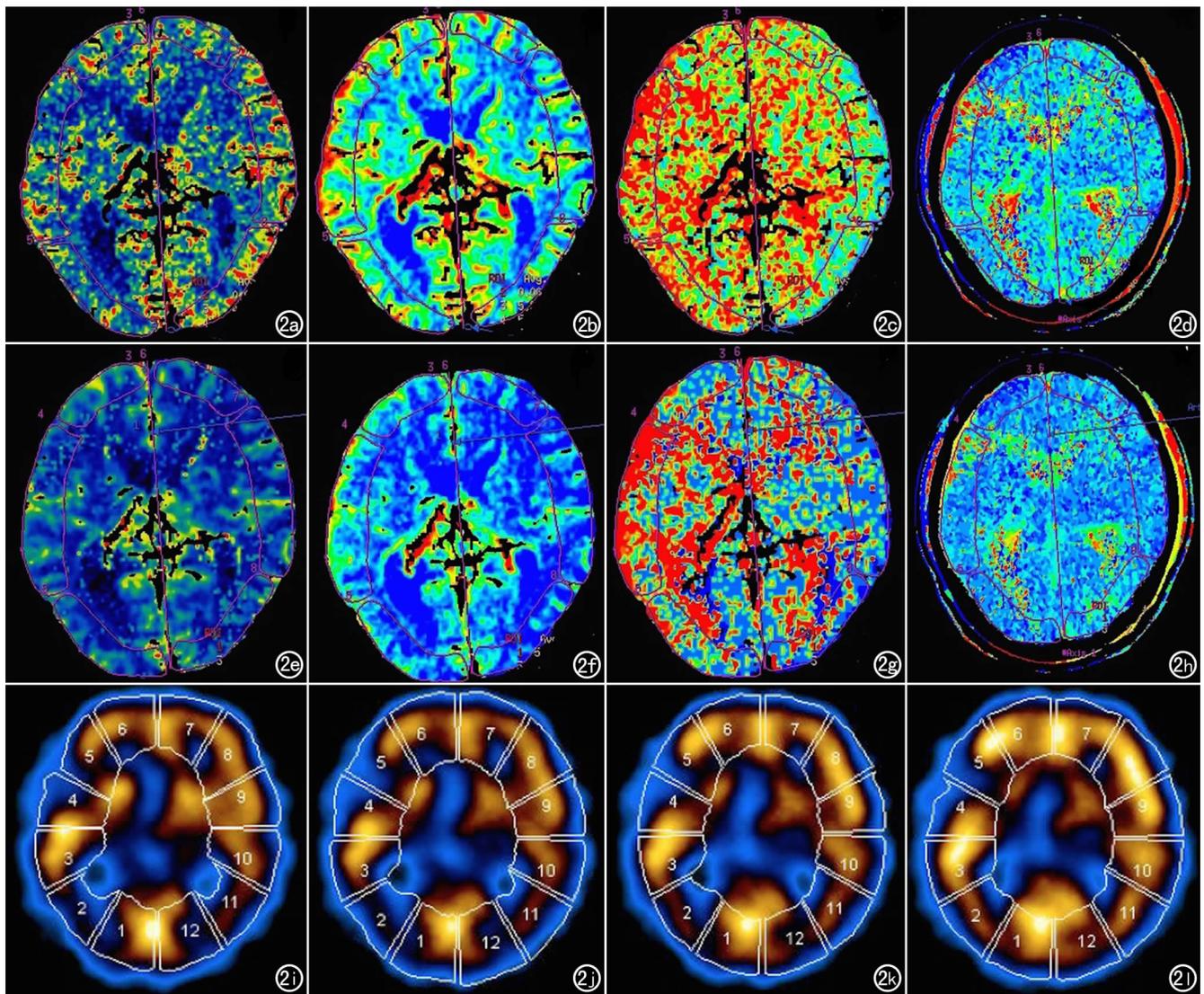


图2 男,40岁,出血型烟雾病。a~d图为BA作为输入动脉得到的灌注图像:a)CBF图示右侧额叶CBF减低;b)CBV图示双侧额叶、右侧额、枕叶CBV升高;c)MTT图示双侧额叶、右侧额、枕叶MTT延长;d)TTP图示右侧额叶、左侧额叶TTP延长。e~h图为ACA作为输入动脉得到的灌注图像:e)CBF图示右侧额、枕叶CBF减低;f)CBV图示右侧额、额、枕叶CBV升高;g)MTT图示右侧额、枕叶、左侧额叶MTT延长;h)TTP图示右侧额叶、左侧额叶TTP延长。i~l为SPECT连续4个扫描层面,其中MCA皮层区被均分为4个区域,i~l示右侧额、额叶、双侧枕叶(右侧为著)放射性分布减低。

0.05);而ACA组拟手术侧rCBF与SPECT结果间差异均有统计学意义(P 均 <0.05 ,表3,4)。

PCA分布区BA组与ACA组拟手术侧灌注参数对比:CBF、TTP间差异均无统计学意义(P 均 >0.05),CBV、MTT间差异均具有统计学意义(P 均 <0.05 ,表5)。PCA分布区BA组、ACA组拟手术侧rCBF与SPECT结果间差异均无统计学意义(P 均 >0.05),但BA组均值较ACA组更接近SPECT结果(表6)。

表1 ACA分布区BA组与ACA组拟手术侧灌注参数对比

| | BA组 | ACA组 | t 值 | P 值 |
|--------------------|------------|------------|-------|-------|
| CBF[mL/(100g·min)] | 37.55±6.71 | 39.94±9.72 | 1.135 | 0.271 |
| CBV(mL/100g) | 4.82±1.36 | 4.41±1.36 | 2.198 | 0.041 |
| MTT(s) | 11.23±2.83 | 10.09±2.42 | 4.411 | 0.000 |
| TTP(s) | 20.29±3.04 | 20.23±3.10 | 0.684 | 0.503 |

表2 MCA分布区BA组与ACA组拟手术侧灌注参数对比

| | BA组 | ACA组 | t 值 | P 值 |
|--------------------|------------|-------------|-------|-------|
| CBF[mL/(100g·min)] | 40.24±9.92 | 39.92±11.06 | 0.156 | 0.878 |
| CBV(mL/100g) | 5.16±1.70 | 4.57±1.44 | 2.80 | 0.012 |
| MTT(s) | 10.93±3.09 | 10.06±3.00 | 3.54 | 0.002 |
| TTP(s) | 20.28±3.86 | 20.54±4.12 | 0.747 | 0.465 |

表3 ACA分布区ACA组、BA组拟手术侧rCBF与SPECT结果对比

| CTP | SPECT | t 值 | P 值 |
|--------------------|-----------|-------|-------|
| 93.77±24.83(BA组) | 94.5±8.96 | 0.118 | 0.907 |
| 117.37±31.82(ACA组) | 94.5±8.96 | 3.113 | 0.006 |

表4 MCA分布区ACA组、BA组拟手术侧rCBF与SPECT结果对比

| CTP | SPECT | t 值 | P 值 |
|--------------------|-------------|-------|-------|
| 99.40±25.93(BA组) | 87.55±11.92 | 1.77 | 0.094 |
| 116.27±29.09(ACA组) | 87.55±11.92 | 4.152 | 0.001 |

表5 PCA分布区BA组与ACA组拟手术侧灌注参数对比

| | BA组 | ACA组 | t值 | P值 |
|--------------------|------------|------------|-------|-------|
| CBF[mL/(100g·min)] | 34.99±5.51 | 35.4±8.79 | 0.201 | 0.843 |
| CBV(mL/100g) | 4.26±1.29 | 3.89±1.37 | 2.18 | 0.042 |
| MTT(s) | 10.72±2.82 | 9.65±2.20 | 2.967 | 0.008 |
| TTP(s) | 20.02±4.04 | 19.69±4.00 | 0.395 | 0.697 |

表6 PCA分布区ACA组、BA组拟手术侧rCBF与SPECT结果对比

| | CTP | SPECT | t值 | P值 |
|--|--------------------|-------------|-------|-------|
| | 86.79±19.00(BA组) | 92.63±11.08 | 1.108 | 0.282 |
| | 105.40±34.57(ACA组) | 92.63±11.08 | 1.441 | 0.167 |

讨论

本研究灌注图像后处理过程中的数学模型使用去卷积法,该数学模型综合考虑灌注的输入动脉和输出静脉,得到的CBF与实际生理过程更接近^[6,7]。该模型原理为将每个像素的位置时程转化为能够代表对比剂随时间的推移在组织内残留情况的推动剩余函数(impulse residue function, IRF),即随时间变量改变的IRF的总和等于与总的动脉内对比剂浓度相关的组织时间密度曲线,计算公式为 $C(t) = CBF \cdot [Ca(t) \otimes R(t)]$,其中 $C(t)$ 为某一像素组织的对比浓度, $Ca(t)$ 为相应动脉内对比剂的浓度, $R(t)$ 为推动剩余函数, \otimes 代表卷积运算^[8,9],即 $CBF = C(t) / [Ca(t) \otimes R(t)]$,由公式可知, CBF值受输入动脉的影响。同时,根据中心容积定理^[10-12], $CBF = CBV / MTT$ 。

本文研究结果显示在CTP图像后处理过程中,不同的输入动脉对CBV、MTT影响显著而对CBF、TTP影响不明显,其原因可能为受累动脉不同程度的狭窄或闭塞导致其血流速度及血管通透性与非受累动脉不同,从而造成CBV、MTT具有差异性^[13]。

本研究还得出:不同输入动脉得到的rCBF与SPECT结果间具有差异性,而这种差异在ACA、MCA分布区最为明显;表3、4、6还表明,与SPECT结果相比,各血管分布区受累动脉组(ACA组)均较非受累动脉组(BA组)明显高估rCBF值,其原因可能与公式中CBF值与相应动脉内对比剂浓度呈反比有关,而在BA组与ACA组的TDC图对比中发现,BA组的输入动脉对比剂浓度均较ACA组高。

本研究的局限性:首先样本数量较少;其次手动勾画的CTP的ROI与SPECT自动勾画的ROI存在一定的误差,有待增加样本量进一步研究。

在烟雾病的CTP图像后处理过程中,不同输入动脉会对灌注参数产生影响,应尽量选择非受累动脉如

BA作为输入动脉。传统CTP扫描模式下,因扫描范围的限制,可能无法同时将后循环非受累动脉包含在扫描范围内,此时可适当改变扫描定位线或使用全脑灌注,以便在图像后处理过程中选择非受累动脉作为输入动脉从而进行更为准确的灌注图像后处理。

参考文献:

- [1] Wintermark M, Sincic R, Sridhar D, et al. Cerebral perfusion CT: technique and clinical applications[J]. *Neuroradiol*, 2008, 35(5): 253-260.
- [2] 王欣, 于丽娟, 刘瑞宝, 等. 输入动脉选择对CT Perfusion 3.0软件包肺灌注成像的影响[J]. *放射学实践*, 2008, 23(12): 1298-1300.
- [3] Kang KH, Kim HS, Kim SY, et al. Quantitative cerebrovascular reserve measured by acetazolamide-challenged dynamic CT perfusion in ischemic adult moyamoya disease: initial experience with angiographic correlation[J]. *AJNR*, 2008, 29(8): 1487-1493.
- [4] 顾卫彬, 高培毅, 薛静, 等. 110mm容积螺旋扫描在全脑灌注及脑血管联合成像中应用的探讨[J]. *中国卒中杂志*, 2013, 8(6): 443-448.
- [5] 马潞娜, 张东, 李立伟, 等. ^{99m}Tc-ECD SPECT脑血流断层显像两种不同半定量指标评价烟雾病血管重建术疗效的比较[J]. *实用医学杂志*, 2012, 28(3): 424-426.
- [6] Eastwood JD, Lev MH, Azhari T, et al. CT perfusion scanning with deconvolution analysis: pilot study in patients with acute middle cerebral artery stroke[J]. *Radiology*. 2002, 222(1): 227-236.
- [7] Cuenod CA, Leconte I, Siauve N, et al. Deconvolution technique for measuring tissue perfusion by dynamic CT: application to normal and metastatic liver[J]. *Acad Radiol*, 2002, 9(1): S205-211.
- [8] Wirestam R, Andersson L, Ostergaard L, et al. Assessment of regional cerebral blood flow by dynamic susceptibility contrast MRI using different deconvolution techniques[J]. *Magn Reson Med*, 2000, 43(5): 691-700.
- [9] 霍福涛, 苏续清, 张维新. CT灌注成像的原理、技术及其临床应用[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2004, 2(2): 49-54.
- [10] Meier P, Zierler KL. On the theory of the indicator-dilution method for measurement of blood flow and volume[J]. *Appl Physiol*, 1954, 6(12): 731-744.
- [11] Kudo K, Terae S, Katoh C, et al. Quantitative cerebral blood flow measurement with dynamic perfusion CT using the vascular-pixel elimination method: comparison with H₂15O positron emission tomography[J]. *AJNR*, 2003, 24(3): 419-426.
- [12] Axel L. Tissue mean transit time from dynamic computed tomography by a simple deconvolution technique[J]. *Invest Radiology*, 1983, 18(1): 94-99.
- [13] 刘静红, 高思佳, 石强, 等. 不同输入参考动脉对CT灌注图像参数的影响研究[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2007, 18(8): 579-581.

(收稿日期: 2015-08-31 修回日期: 2015-11-10)