

## •神经介入 Neurointervention•

## 平板 CT 脑血容量检测的可行性及应用价值的前瞻性研究

张永巍, 洪波, 黄清海, 许奕, 赵文元, 杨志刚, 赵瑞, 杨鹏飞,  
李强, 方亦斌, 刘建民, 叶汇

**【摘要】** 目的 探讨利用平板探测器血管造影系统进行脑血容量(CBV)检查的可行性和临床价值。方法 采用前瞻性自身对照研究方法,对 2010 年 6 月至 2011 年 3 月诊断为脑缺血性疾病并接受介入治疗的 20 例患者,采用静脉注射对比剂方法进行了灌注 CT(PCT)和平板 CT(FDCT)的检查,采用配对分析两种检查结果在不同部位、不同血管条件下的 CBV 差异。结果 20 例患者均顺利完成 FDCT 和 PCT 检查,两种方法均未见明显的两侧灌注差异,但与健侧相比,患侧 CBV 有减少趋势。两种方法所得数据的 Person 相关系数为 0.68,提示两者显著相关。Bland-Altman 检验提示两种检查方法的同一部位差异值平均为  $-0.25 \pm 2.79$ , FDCT-CBV 数值较 PCT-CBV 数值略低。结论 FDCT-CBV 检查方法在临床上具有可行性,所得结果与 PCT-CBV 无明显差异。FDCT-CBV 可以在手术全过程中提供全脑功能影像,增强了手术计划性,提高了手术安全性。

**【关键词】** 缺血性脑卒中; 平板 CT; 脑血流容积

中图分类号:R743 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2012)-04-0265-05

**The feasibility and clinical application of flat-panel detector computer tomography in evaluating cerebral blood volume: an initial prospective study** ZHANG Yong-wei, HONG Bo, HUANG Qing-hai, XU Yi, ZHAO Wen-yuan, YANG Zhi-gang, ZHAO Rui, YANG Peng-fei, LI Qiang, FANG Yi-bin, LIU Jian-min, YE Hui. Department of Neurosurgery, Changhai Hospital, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

Corresponding author: LIU Jian-min, E-mail: liu118@vip.163.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the feasibility and clinical value of the determination of cerebral blood volume (CBV) map by using flat-panel detector computer tomography (FDCT) angiography system. **Methods** A prospective self-control clinical trial was conducted in 20 patients with cerebral ischemia who were encountered during the period from June 2010 to March 2011. All the patients were diagnosed as cerebral ischemic diseases and were scheduled to take interventional procedures. All patients underwent cerebral perfusion computer tomography (PCT) and CBV map exam which was performed by flat-panel detector computer tomography (FDCT-CBV). The CBV values obtained by the two exam types were analyzed and compared with each other by using statistic methods. **Results** All PCT and FDCT-CBV exams were successfully accomplished in all the twenty patients. A significant correlation existed between the CBV images and CBV values obtained by the two exam types. The correlation coefficient was 0.68 ( $P < 0.01$ ). The Bland-Altman analysis showed a mean difference of  $-0.25 \pm 2.79$  between FDCT-CBV and PCT-CBV, indicating that FDCT-CBV values were only slightly lower than those of PCT-CBV. **Conclusion** CBV exam by using flat-panel detector angiography system is clinically feasible and the results of FDCT-CBV is comparable to those of PCT-CBV. As the FDCT-CBV can offer functional images of the whole brain within the catheter lab, this technique is very helpful in making the reasonable operation plan and in improving the safety of endovascular procedures in neurosurgery. (J Intervent Radiol, 2012, 21: 265-

269)

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2012.04.001

基金项目:上海市科委重点项目(074119506)

作者单位:200433 上海 第二军医大学附属长海医院神经科

通信作者:刘建民 E-mail: liu118@vip.163.com

**【Key words】** ischemic stroke; flat-panel detector computer tomography; cerebral blood volume

目前,随着装备平板探测器的血管造影系统的普及,以平板 CT (flat-panel detector computer tomography, FDCT) 为代表的高级功能在临床中得到越来越广泛的应用。通过这一技术,我们可以在导管室内获得脑实质 CT 样图像。这对医师术中判断脑出血并发症,术后评估支架形态带来了很大的帮助。随着技术的进步,利用 FDCT 已经可以获得全脑的脑血容量(cerebral blood volume, CBV)。此方法的应用价值已在动物实验中得到证实,并在国内外少数中心开始临床研究。但该检查方法目前尚未广泛应用,其检查的准确性尚待临床研究证实。

为此,我们设计了本研究,并经过医院伦理委员会批准通过研究方案内容。患者在签署知情同意后,先后完成常规灌注 CT(PCT)和 FDCT-CBV 检查,对比分析两种检查方法对 CBV 绝对值测定的差异,用以确定 FDCT-CBV 的准确性和临床价值。

## 1 资料与方法

### 1.1 病例选择

自 2010 年 6 月起至 2011 年 3 月,选择 20 例符合条件的患者入组研究,本研究采用前瞻性自身对照研究。20 例患者中,男性 16 例,女性 4 例,年龄 35 ~ 70 岁,平均年龄( $55.20 \pm 9.01$ )岁。所患疾病主要为反复发作的短暂性脑缺血发作(TIA)、脑梗死。临床表现分别为反复发作的 TIA 7 例,脑梗死 12 例,无症状颈动脉闭塞 1 例。20 例中颈动脉闭塞 1 例,颈动脉狭窄 6 例,大脑中动脉狭窄 8 例,椎动脉开口狭窄 1 例,椎动脉颅内狭窄 1 例,基底动脉狭窄 1 例,颈动脉夹层 1 例,另外有 1 例患者于半年前行颅内血管旁路移植手术。

**1.1.1 纳入标准** 年龄大于 18 周岁;临床疑诊脑血流量降低,包括以下疾病类型:脑供血动脉狭窄,低灌注综合征,慢性脑血管疾病,急性脑卒中,蛛网膜下腔出血后血管痉挛,血管内栓塞术后血栓和(或)栓子形成;原发疾病本身需进行脑血管造影检查;能完成常规 PCT 检查项目;能签署知情同意书。

**1.1.2 剔除标准** 碘对比剂过敏;肾功能不全;长期糖尿病或糖尿病性肾病;孕妇;不能耐受或完成两种灌注检查项目;不能签署知情同意书。

### 1.2 影像检查方法

**1.2.1 PCT 检查方法** CT 灌注数据检查在 64 层 CT(Somatom 64; Siemens, Germany)上进行。用标准的方案进行 PCT 检查,参数如下:基底节为中心

的 3 层,以 80 kV,270 mAs 在 40 s 内每秒扫描 1 圈,准直器  $24 \text{ mm} \times 1.2 \text{ mm}$ ,重建层厚 7.2 mm。动态扫描在以 5 ml/s 从外周静脉注入 40 ml 对比剂 10 s 后进行,之后追加 20 ml 生理盐水。对比剂通过 18 G 的导管使用双筒高压注射器从外周静脉注入。随后,用对比剂跟踪技术和以下标准参数获得 CTA 图像。参数:准直器  $64 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm}$ ,120 kV,160 mAs;卷积核 B20 f;螺距:1.3;从外周静脉以 4.5 ml/s 注入 70 ml 对比剂,之后追加 50 ml 生理盐水。整个检查的有效剂量约为 17.8 mSv(2.8 mSv CT, 3 mSv CTA, 12 mSv CTP; information provided by Siemens)。

所得数据在标准的工作站(syngo MultiModality Workplace; Siemens, Germany)上进行后处理。使用标准的 PCT 软件对 CT 脑灌注数据进行半自动分析,获得 CBV 的伪彩灌注参数图。CTA 图像以最大密度投影(MIP)方式重建,轴位上层厚 20 mm,层间距 5 mm;冠状位层厚 10 mm,层间距 5 mm;狭窄或阻塞相应的层面上层厚 5 mm,层间距 3 mm。

**1.2.2 FDCT 检查方法** FDCT 图像在双平板血管造影系统(Artis zee Biplane VC13; Siemens, Germany)上采集,共进行 2 次旋转:第 1 次旋转采集蒙片相,在注射了适当的对比剂之后进行第 2 次旋转,即充盈相的采集。数据采集采用以下参数:采集时间 8 s;曝光参数设定为 70 kV;使用  $30 \times 40$  的平板尺寸;总共旋转  $200^\circ$ ,  $0.5^\circ/\text{帧}$ ;剂量 0.36 mGy/帧。

由于机架速度的限制引起的时间分辨率不足,我们只能在脑实质灌注达到稳态后进行充盈相采集获得 CBV 图像。蒙片开始的同时注射对比剂,当蒙片结束,C 臂回到起始位。这个过程需要约 13 s。当 C 臂回到起始位后,开始 2 帧/s 的二维 DSA 采集。当操作者观察到横窦显影时,我们认为此时对比剂在脑实质内的灌注达到稳态,手动触发充盈相的采集。从注射对比剂到开始充盈相的采集之间的时间间隔为 16 ~ 19 s。使用 60 ml 对比剂以 3 ml/s 通过高压注射器经肘正中静脉注入。

FDCT-CBV 数据在科研工作站(syngo XWP VB15; Siemens, Germany)上使用 syngo Neuro PBV (Siemens, Germany)未上市软件后处理。

**1.2.3 灌注图像分析** 选择侧脑室和基底节区两个层面中的 6 个解剖部位(基底节区、额叶皮层下白质、枕叶皮层下白质、丘脑、半卵圆区、内囊后肢)用于 CBV 的测量。如果 PCT-CBV 图上发现病灶,则在 FDCT 相对应的区域测量并记录。

所有数据均采用匿名化处理,由有经验的神经科医师和神经放射医师分别进行数据测量。每例患者的 PCT-CBV 图像和 FDCT-CBV 图像都尽可能手动匹配以保证选择的解剖部位一致。在选定解剖部位内手动放置感兴趣区,我们不将感兴趣区放在皮层,因为那样感兴趣区包含血管或蛛网膜下腔区域,会影响 CBV 的测量。在每例患者双侧大脑半球的 12 个感兴趣区测量并记录 CBV 值。每个感兴趣点测得的 CBV 数值即为 CBV 绝对值。病变侧感兴趣区 CBV 绝对值和对侧 CBV 绝对值的比值作为相对 CBV 值。

### 1.3 统计方法

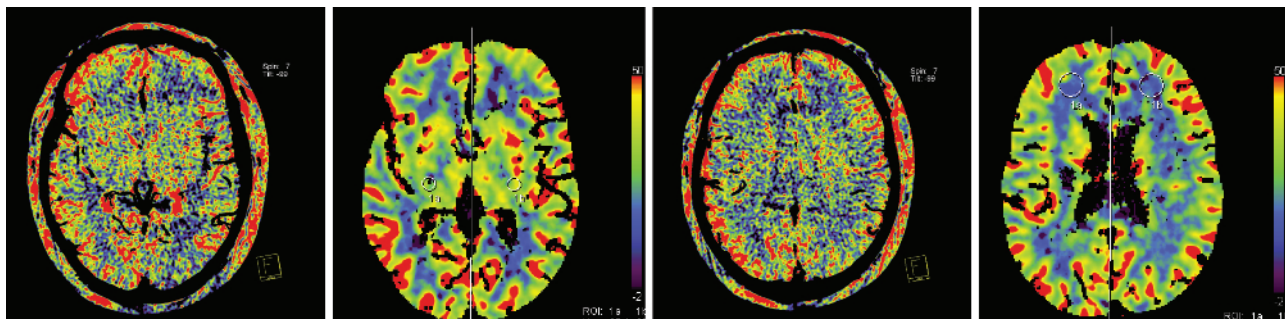
计算每例患者病变侧和对侧 CBV 绝对值的平均值。计算两种方法测量得到的感兴趣区血容量绝对值和相对 CBV 值的 Person 相关系数,评估两者

的相关性。使用 Bland-Altman 分析法评估两种测量方法的具体差异。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义

## 2 结果

20 例患者均完成本研究所需的所有检查项目。所有患者的 FDCT-CBV 均一次检查成功,采取的技术方法与预案相同,均为静脉注射对比剂 60 ml,所得数据经后处理工作站完成数据分析,均可用。

PCT 和 FDCT 所得到的 CBV 伪彩图像类似(图 1)。PCT 检查中,患者病变侧 CBV 均值为  $(26.86 \pm 7.07)$  ml/L,健侧 CBV 均值为  $(27.40 \pm 7.41)$  ml/L。FDCT 检查中,患者病变侧 CBV 均值为  $(24.70 \pm 8.21)$  ml/L,健侧 CBV 均值为  $(28.13 \pm 8.82)$  ml/L。两种方法检查患侧和健侧 CBV 间的差异无统计学意义(患侧  $P = 0.786$ ,健侧  $P = 0.128$ )。



1a 基底节区层面 FDCT-CBV 图像 1b 基底节区层面 PCT-CBV 图像 1c 半卵圆区层面 FDCT-CBV 图像 1d 半卵圆区层面 PCT-CBV 图像  
图 1 FDCT 和 PCT 在两个不同层面上的血容量图比较

不同解剖部位 CBV 值接近,差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),在基底节区、内囊后肢及丘脑部位,CBV 的绝对值较其他部位稍高(图 2)。

两种方法所得 CBV 绝对值的 Person 相关系数为 0.68 ( $P < 0.01$ ),其中病变侧相关系数为 0.69 ( $P < 0.01$ ),病变对侧相关系数为 0.68 ( $P < 0.01$ ),同时计算相对 CBV 值的相关系数为 0.76 ( $P < 0.01$ ),提示两者相关较显著,即两种检查方法所得数据无差异,其中相对 CBV 的相关性更为显

著。Bland-Altman 检验提示两种检查方法的同一部位差值平均为  $-0.25 \pm 2.79$ (图 3),提示 FDCT-CBV 数值较 PCT-CBV 数值略低。

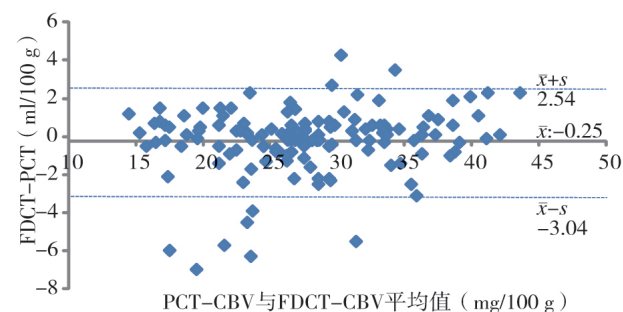


图 3 两种检查方法结果比较

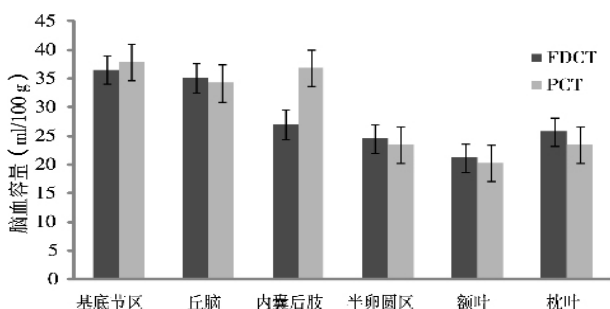


图 2 不同解剖部位脑血容量的分布

## 3 讨论

1999 年,Grass 等<sup>[1]</sup>首先报道了利用 C 臂造影所得的数据进行重建也可以获得组织断面影像,初步应用的结果已经证实了其可行性和有效性。随着平板探测器的升级和重建方法的改进,FDCT 的空间分



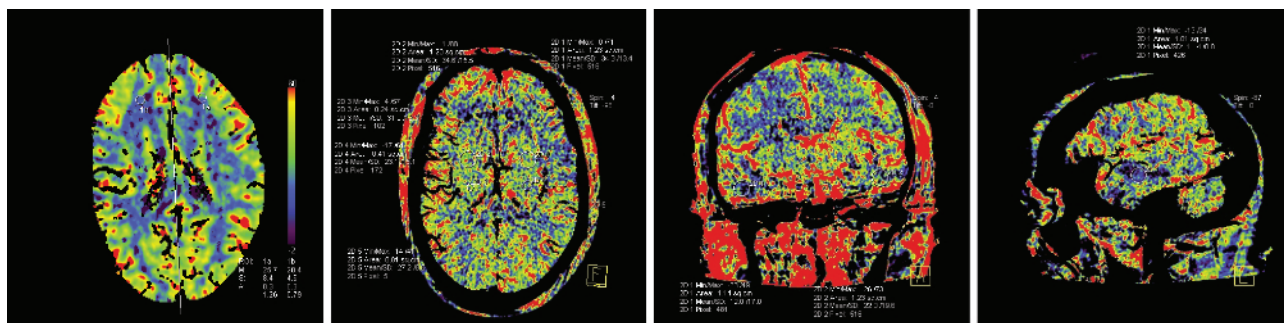
分辨率等参数得到了极大的提高,虽然仍不能与传统 CT 影像媲美,但已可满足组织断面成像的基本需求。FDCT 可以快速分辨术中出现的脑实质内血肿、蛛网膜下腔出血或梗死病灶等情况,同时本研究关注的 FDCT 灌注成像也是其极具前景的功能之一。

本研究中所有患者进行 FDCT-CBV 成像均一次完成,所得数据均可进行后期处理分析,说明目前我们采用静脉注射对比剂进行 FDCT-CBV 数据采集的结果是稳定的,提示应用 FDCT 技术获得大量图像从而进行 CBV 定量检查的方法是可行的。同时,该方法所获得的 CBV 绝对值数据与传统的 PCT-CBV 结果有较高的一致性,相关系数为 0.68,与目前少数文献报道的 0.72 接近。相对 CBV 的相关系数为 0.76,相对 CBV 可能更能与 PCT 结果接近。

本研究结果显示,两种检查方法所得 CBV 结果的差异非常小,为  $-0.25 \pm 2.79$ 。其分布较为规律,但

由于病例数量限制,该结果尚待进一步大样本临床实践证实,同时我们发现差异数值的分布并没有完全按照正态分布,少数数值波动较大,主要是 FDCT 结果较 PCT 结果低,其原因可能是由于测量的误差以及样本量较小造成。

另外,FDCT-CBV 所得数据是全脑灌注数据,这将有助于更加全面地了解脑部灌注状况。例如本研究中,有 1 例患者的 FDCT-CBV 在右侧颞叶发现 CBV 下降明显,平均为 11.7 ml/L,而健侧为 22 ml/L (图 4),但由于 64 排 PCT 扫描层面的限制,未能对这一层面进行检测。CBV 在脑不同解剖部位的分布似有差异,基底节区外囊、丘脑以及内囊后肢较额叶、枕叶等部位的 CBV 绝对值略高,但两侧半球以及不同部位间比较差异均无统计学意义。尚未发现其确切原因,可能与基底节区血管分支丰富、血流储备能力强有关,也可能与测量时截取的相关部位面积等因素有关。



4a PCT 提示双侧 CBV 接近

4b FDCT-CBV 提示双侧 CBV 基本相同

4c 冠状位提示右侧颞叶 CBV 为 12

4d 矢状位成像显示右侧颞叶 CBV 为 11.4

图 4 PCT 未见异常,FDCT-CBV 提示右侧颞叶 CBV 下降,较对侧减少近 50%

对于脑部缺血性损害的评估重点,国内外学者已经由过去单纯评价脑部组织形态学变化开始向评价缺血性脑损害所造成的病理生理变化转变。这一点在对急性缺血性脑卒中的救治过程中显得尤为突出。当脑组织的形态学还未出现损害表现或损害程度非常轻微的时候,脑部功能影像检查已经可以观察到非常明显的变化。

脑 PCT 检查是临床最为常用的评价方法之一。其主要的评价参数包括:平均通过时间(MTT)、脑血流量、CBV 以及达峰时间(TTP)。

对于脑灌注的各项参数的意义目前均未完全明确,单一 CBV 能否真实反映脑缺血后组织生理变化尚需进一步研究证实。以往研究较为一致的观点认为,CBV 反映的是机体代偿的血流动力学变化,而 MTT、TTP 反映的是机体自身对脑缺血代偿的调节机制。CBV 是反映脑缺血后自身调节机制是否还

能发挥作用的最为重要的参数,CBV 下降往往提示着局部脑组织微循环障碍<sup>[3-4]</sup>。也有学者认为,CBV 绝对值变化是反映脑梗死最为准确的参数<sup>[5-7]</sup>。Schramm 等<sup>[8]</sup>研究认为,CBV 变化与 CT 平扫相结合可以用以区分缺血半暗区和梗死的核心坏死区。如果 CBV 损害范围非常明显,同时 CT 平扫已经可见低密度病灶,我们则可以推断该区域的脑组织已经不可修复。因此,我们认为在血管造影机上完成 CBV 一个参数的检查,虽然不能反应出脑灌注的全面信息,但对于急性缺血性脑卒中而言,已经可以帮助医师判断出梗死的情况<sup>[9-11]</sup>。由此推断,本研究所采用的方法对于急性缺血性脑卒中的指导意义可能会更大,当然这还需更进一步的临床研究证实。

我们初步的研究结果显示,FDCT-CBV 与 PCT-CBV 绝对值之间有较好的同一性,但其局限性也比

较明显。首先,FDCT 时间和密度分辨率较之传统的 CT 仍有较大差异,难以对其他反映脑灌注情况的参数进行检查分析。其次,FDCT-CBV 所得伪彩灌注图像对于辨别侧脑室等解剖结构不够清晰,这可能与 FDCT 的密度分辨率不如传统 CT 有关。另外,血管对 FDCT-CBV 成像结果有较大影响,容易导致数据偏差。究其原因,虽然我们可以对血管结构进行自动去除,但 FDCT-CBV 目前采用的软件对于血管影像无法进行自动识别,常将其记录为灌注非常低的区域,而 PCT-CBV 测定时血管影像会自动记录为空白区域,这可能造成测量的偏差。当然这一缺点有可能通过改进后处理软件的功能得以修正。

综上所述,尽管本研究完成的病例数非常有限,但我们依然可以从目前有限的资料中发现 FDCT-CBV 与 PCT-CBV 的测量绝对值、灌注彩图均具有很强的 consistency,可以认为 FDCT 得到的 CBV 数据是准确的。同时 FDCT-CBV 检查开展的最大优势在于可以在血管造影机上进行脑灌注情况评价,而不需要将患者再转运至其他地方。同时该检查还可以对全脑灌注情况进行检查,获得全脑矢状位、冠状位和轴位的 CBV 灌注影像和颅内血管三维重建图像(图 4),所得影像范围较普通 PCT 更广。

#### [参考文献]

- [1] Grass M, Koppe R, Klotz E, et al. Three-dimensional Reconstruction of high contrast objects using C-arm image intensifier projection data[J]. Comput Med Imaging Graph, 1999, 23: 311 - 321.
- [2] Orth RC, Wallace MJ, Kuo MD, et al. C-arm cone-beam CT;

general principles and technical considerations for use in interventional radiology[J]. J Vasc Interv Radiol, 2008, 19: 814 - 820.

- [3] 高培毅. 脑梗死前期脑局部低灌注的 CT 灌注成像表现及分期[J]. 中国卒中杂志, 2008, 3: 115 - 119.
- [4] Ahmed AS, Zellerhoff M, Strother CM, et al. C-arm CT measurement of cerebral blood volume: an experimental study in canines[J]. AJNR, 2009, 30: 917 - 922.
- [5] Wintermark M, Flanders AE, Velthuis B, et al. Perfusion-CT assessment of infarct core and penumbra: receiver operating characteristic curve analysis in 130 patients suspected of acute hemispheric stroke[J]. Stroke, 2006, 37: 979 - 985.
- [6] Kalender W, Flat-detector CT(FD-CT) [J]. Eur Radiol 2007, 17: 2767 - 2779.
- [7] Akpek S, Brunner T, Benndorf G, et al. Three-dimensional imaging and cone beam volume CT in C-arm angiography with flat panel detector[J]. Diagn Interv Radiol, 2005, 11: 10 - 13.
- [8] Schramm P, Schellinger PD, Klotz E, et al. Comparison of perfusion computed tomography and computed tomography angiography source images with perfusion-weighted imaging and diffusion-weighted imaging in patients with acute stroke of less than 6 hours' duration[J]. Stroke, 2004, 35: 1652 - 1658.
- [9] Smith WS, Sung G, Starkman S, et al. Safety and efficacy of mechanical embolectomy in acute ischemic stroke: results of the MERCI trial[J]. Stroke, 2005, 36: 1432 - 1438.
- [10] Bose A, Henkes H, Alfke K, et al. The penumbra system: a mechanical device for the treatment of acute stroke due to thromboembolism[J]. AJNR, 2008, 29: 1409 - 1413.
- [11] Murphy BD, Fox AJ, Lee DH, et al. White matter thresholds for ischemic penumbra and infarct core in patients with acute stroke: CT perfusion study[J]. Radiology, 2008, 247: 818 - 825.

(收稿日期:2011-09-15)

(本文编辑:侯虹鲁)