

◆ 中枢神经影像学

## CT perfusion imaging combined with CT angiography in assessment of cerebral perfusion and impact of Willis circle structure in patients with internal carotid artery or middle cerebral artery stenosis

YAN Li-hui, DAI Zhen-yu\*, YAO Li-zheng, LI Xin, ZHOU Gui-long

(Department of Radiology, Yancheng Hospital, Southeast University, Yancheng 224001, China)

**[Abstract]** **Objective** To assess the cerebral perfusion and the impact of Willis circle structure in patients with internal carotid artery (ICA) or middle cerebral artery (MCA) stenosis using CT perfusion (CTP) imaging combined with CTA. **Methods** Totally 42 patients with unilateral carotid artery stenosis screened by transcranial doppler (TCD) underwent combined CTP and CTA examination. The site and extent of stenosis, structure of Willis circle and blood perfusion were studied. **Results** Abnormal signs were observed in all patients, including ICA stenosis in 29 cases and MCA stenosis in 13 cases. Mild, moderate and severe stenosis was found in 11, 13 and 14 cases, respectively, and occlusion was found in 4 cases. There was no significant difference of perfusion parameters between bilateral vessels in mild stenosis cases (all  $P > 0.05$ ). MTT and TTP of stenosis side vessel were higher than those of contralateral side in moderate stenosis cases (all  $P < 0.05$ ). In severe stenosis or obstruction cases, CBV, MTT and TTP of stenosis side vessel were higher than those of contralateral side, while CBF of stenosis side vessel was lower than contralateral side (all  $P < 0.05$ ). Abnormal cerebral perfusion was observed in 21 patients. Significant statistical difference of abnormal cerebral perfusion classification was found between ICA and MCA stenosis patients. **Conclusion** CTP combined with CTA is an effective method to assess cerebral perfusion and the structure of Willis circle in patients with ICA or MCA stenosis.

**[Key words]** Tomography, X-ray computed; Perfusion imaging; Willis circle; Hemodynamics

## CT 灌注成像联合 CT 血管造影评价 颈内动脉或大脑中动脉狭窄患者脑血流灌注及 Willis 环结构对灌注分布的影响

颜利辉, 戴真煜\*, 姚立正, 李 新, 周桂龙

(东南大学附属盐城医院影像科, 江苏 盐城 224001)

**[摘要]** **目的** 探讨脑 CT 灌注(CTP)成像联合 CTA 检查颈内动脉或大脑中动脉狭窄患者脑血流灌注情况及 Willis 环结构对脑血流灌注分布影响的价值。**方法** 对经颅多普勒(TCD)诊断为单侧颈动脉狭窄的 42 例患者行 CTP 联合 CTA 检查, 观察血管狭窄部位、程度、Willis 环形态及脑血流灌注情况。**结果** 经 CTP 联合 CTA 检查, 29 例为颈内动脉狭窄, 13 例为大脑中动脉狭窄; 轻度狭窄 11 例, 中度狭窄 13 例, 重度狭窄 14 例, 闭塞 4 例。狭窄侧与对侧血管相比, 轻度狭窄患者各灌注参数差异均无统计学意义( $P$  均  $> 0.05$ ); 中度狭窄患者狭窄侧 MTT、TTP 高于对侧( $P$  均  $< 0.05$ ); 重度狭窄

**[基金项目]** 盐城市科技局科技立项资助项目(YK201067)。

**[作者简介]** 颜利辉(1976—)女, 江苏盐城人, 硕士, 副主任医师。研究方向: 神经系统影像学。E-mail: 1061077693@qq.com

**[通讯作者]** 戴真煜, 东南大学附属盐城医院影像科, 224001。E-mail: zzzzg120@163.com

**[收稿日期]** 2011-07-05 **[修回日期]** 2011-11-22

或闭塞患者狭窄侧 CBF 低于对侧, CBV、MTT、TTP 高于对侧 ( $P$  均  $< 0.05$ )。42 例中 21 例存在灌注异常, 颈内动脉与大脑中动脉狭窄患者间异常灌注区分型差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。结论 CTP 联合 CTA 检查可较好地评价颈内动脉或大脑中动脉狭窄患者脑血流动力学及 Willis 环血管形态。

[关键词] 体层摄影术; X 线计算机; 灌注成像; Willis 环; 血流动力学

[中图分类号] R543.5; R814.42 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2012)03-0435-04

颈动脉狭窄程度与同侧脑卒中发病率并无明显关联, 其中一个重要原因在于脑具有强大的储备功能<sup>[1]</sup>。Willis 环是脑储备能力发挥作用途径中重要的一级结构储备, 变异较多, 个体差异较大。慢性颈动脉狭窄时, Willis 环的代偿机制与其他代偿机制存在交叉。传统 CT 检查方法仅能显示 Willis 环的情况, 不能同时反映脑灌注状态<sup>[2]</sup>。本研究利用脑 CT 灌注 (CT perfusion, CTP) 成像联合 CTA 观察颈动脉狭窄患者 Willis 环及脑血流灌注情况, 探讨该方法的临床应用价值。

### 1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2008 年 5 月—2009 年 10 月经颅多普勒筛查诊为单侧颈动脉狭窄的患者 42 例, 男 22 例, 女 20 例, 年龄 36~76 岁, 平均  $(55.0 \pm 9.1)$  岁; 均有症状性脑缺血, 25 例发作时出现肢体乏力、麻木, 9 例头晕, 2 例言语不清, 6 例一侧肢体乏力伴头晕。所有患者均经常规颅脑 CT 平扫排除脑出血及占位性病

变, 其中 CT 平扫正常 15 例, 无明确责任血管的腔隙性梗死 13 例, 基底节区及半卵圆区梗死 6 例, 后分水岭区梗死 4 例, 前分水岭区梗死 2 例, 额叶梗死 1 例, 枕叶梗死 1 例。

1.2 检查方法 采用 GE LightSpeed VCT 64 层 CT 扫描仪, 对所有患者均行 CTP 联合 CTA 检查。

1.2.1 CTP 检查 选用电影 (Cine) 扫描模式, 管电压 80 kV, 管电流 200 mA, 探测器宽度 40 mm, 层厚 5 mm, 层间距 0, 旋转速度 1 s/rot。采用双筒高压注射器经肘前静脉以 4.5 ml/s 注入 40 ml 非离子型对

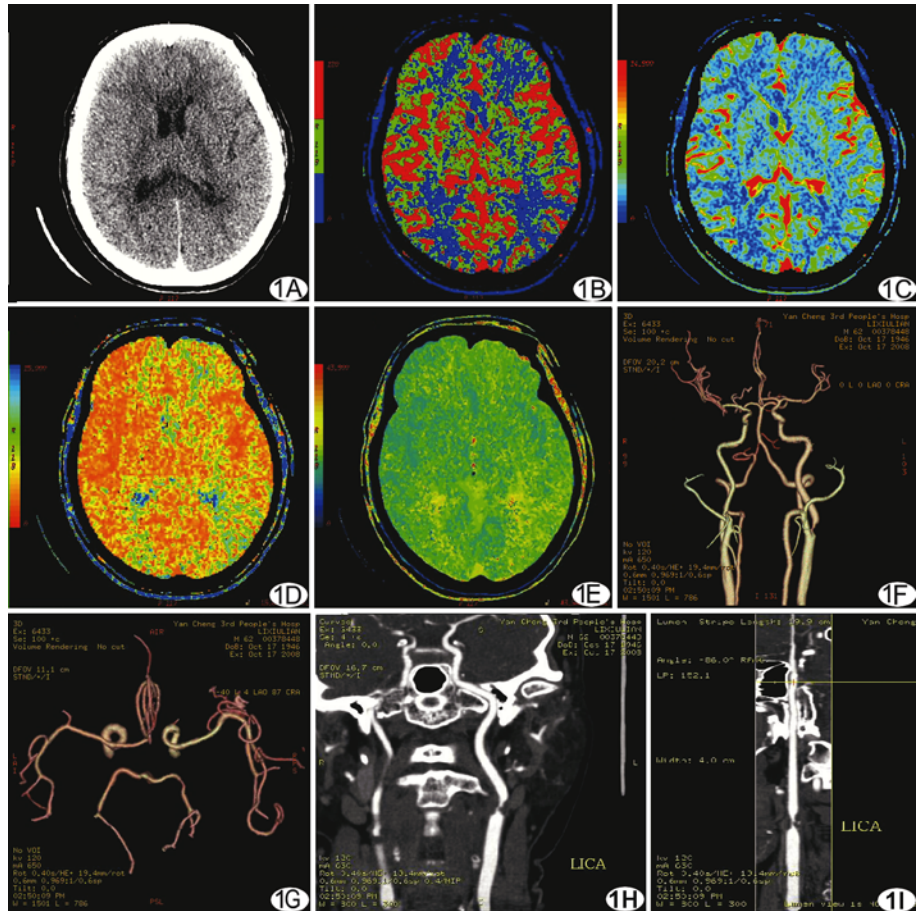


图 1 左侧颈内动脉重度狭窄 A. CT 平扫未见梗死灶; B. 左侧大脑半球 CBF 不同程度下降, 以分水岭区为主; C. 分水岭区、大脑中动脉供血区 CBV 增高; D~E. 分水岭区 MTT、TTP 延迟较大脑中动脉供血区更明显; F、G. VR 重建示左颈内动脉重度狭窄, 对侧大脑前动脉 A1 段显示缺如, 双侧后交通动脉未显示; H~I. CPR 重建示左颈内动脉起始部重度狭窄, 软斑块形成

剂 (欧乃派克, 350 mgI/ml), 而后以相同速率注入 20 ml 生理盐水, 取基底节区及其上下层面进行灌注成像, 延迟时间 8 s, 扫描总时间 50 s。

1.2.2 CTA 检查 选用连续容积扫描模式, 管电压 120 kV, 管电流 650 mA, 层厚 5 mm, 层间距 5 mm, 螺距 0.969 : 1, 旋转速度 0.4 s/rot。扫描范围自主动脉弓至颅顶, 所用对比剂为欧乃派克 (350 mgI/ml), 剂量 60 ml, 注射速率 4.5 ml/s。利用 Perfusion 3 灌注软件包获取大脑前动脉时间密度曲线, 以选择 CTA 扫描延迟时间, 延迟时间 = 大脑前动脉时间 - 密度曲线

表 1 单侧颈动脉狭窄患者脑灌注检测结果(  $\bar{x} \pm s$  )

狭窄程度	CBF[ml/(min·100 g)]			CBV(ml/100 g)			MTT(s)			TTP(s)		
	狭窄侧	对侧	P 值	狭窄侧	对侧	P 值	狭窄侧	对侧	P 值	狭窄侧	对侧	P 值
轻度(n=11)	46.13±13.13	47.99±9.85	0.80	2.47±0.58	2.60±0.31	0.67	4.11±0.44	3.66±0.37	0.05	12.80±0.93	12.56±1.23	0.38
中度(n=13)	45.84±13.50	47.14±10.52	0.87	2.67±0.62	2.54±0.42	0.60	4.72±0.73	3.82±0.46	0.02	13.92±0.45	12.63±0.34	0.01
重度及闭塞(n=18)	38.02±6.73	45.44±7.47	0.04	2.79±0.38	2.36±0.41	0.02	5.70±1.85	3.90±0.92	0.01	16.09±2.05	14.53±1.64	0.01

最大密度层面所对应的时间—3 s。

1.3 图像处理 将所有图像数据均传至 GE AW 4.3 工作站进行后处理及分析。

1.3.1 CTP 图像 通过 Perfusion 3 灌注软件包获得脑血流量(cerebral blood flow, CBF)、脑血容量(cerebral blood volume, CBV)、平均通过时间(mean transit time, MTT)、达峰时间(time to peak, TTP)的伪彩图。分别于双侧额叶皮层、颞叶皮层、枕叶皮层、基底核及丘脑等部位设置面积为 1 cm<sup>2</sup> 的标准 ROI 并进行测量; 双侧大脑半球 ROI 大小、位置一致, 避开陈旧性脑梗死灶及大血管, 分别记录 CBF、CBV、MTT、TTP, 至少测量 2 次, 取平均值。以狭窄侧灌注参数的绝对值超出对侧参数的 95% 可信区间为灌注异常。异常灌注区分型<sup>[3]</sup>: I 型, 仅累及大脑中动脉供血区; II 型, 仅累及分水岭区; III 型, 累及分水岭区伴大脑中动脉区。

1.3.2 CTA 图像 重建方法包括 CPR、VR 及 MIP, 观察血管狭窄部位、程度、Willis 环形态特征及侧支循环情况。参照北美症状性颈动脉内膜切除试验(North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial, NASCET)标准, 管腔 0~29% 狭窄为轻度; 30%~69% 狭窄为中度; 70%~99% 狭窄为重度; 100% 狭窄为闭塞。如为多发狭窄, 则以狭窄最严重处计算狭窄率。

1.4 统计学分析 应用 SPSS 13.0 统计软件, 对狭窄侧与对侧灌注参数的比较采用配对 t 检验, 对存在灌注异常且狭窄部位不同的患者间异常灌注区分型的比较采用  $\chi^2$  检验, 以 P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 CTA 结果 CTA 对 42 例患者的 Willis 环, 颈内动脉(特指 Willis 环以下的颈内动脉, 以便与大脑中动脉相区别), 大脑前、中、后动脉, 椎动脉及其远端 2 级血管分支均可清晰显示。42 例中, 轻度狭窄 11 例(8 例位于颈内动脉, 3 例位于大脑中动脉)、中度狭窄 13 例(9 例位于颈内动脉, 4 例位于大脑中动脉)、重度狭窄 14

例(10 例位于颈内动脉, 4 例位于大脑中动脉)、闭塞 4 例(2 例位于颈内动脉, 2 例位于大脑中动脉)。

Willis 环结构及侧支循环情况: 11 例轻度狭窄患者中, 9 例前交通动脉显影, 1 例前交通动脉增粗, 2 例大脑前动脉 A1 段显示缺如, 2 例前交通动脉未显示; 前循环完整 7 例; 4 例后交通动脉显影, 7 例后交通动脉未显示; 眼动脉增粗 1 例。13 例中度狭窄患者中, 11 例前交通动脉显影, 3 例前交通动脉增粗, 1 例前交通动脉瘤, 4 例大脑前动脉 A1 段显示缺如, 2 例前交通动脉未显示; 前循环完整 7 例; 6 例后交通动脉显影, 7 例后交通动脉未显示; 3 例眼动脉增粗。18 例颈动脉重度狭窄或闭塞患者中, 16 例前交通动脉显影, 6 例前交通动脉明显增粗, 2 例前交通动脉瘤; 2 例有 3 支大脑前动脉, 2 例前交通动脉未显示; 前循环完整 10 例; 6 例后交通动脉显影, 12 例后交通动脉未显示; 6 例大脑前动脉 A1 段显示缺如; 眼动脉、椎动脉增粗各 3 例。

2.2 CTP 结果 11 例轻度狭窄患者, 狭窄侧与对侧相比各灌注参数差异均无统计学意义(P 均>0.05)。13 例中度狭窄患者狭窄侧 MTT、TTP 高于对侧(P 均<0.05)。18 例重度狭窄或闭塞患者狭窄侧 CBF 低于对侧, CBV、MTT、TTP 高于对侧(P 均<0.05, 表 1)。

4 例中度狭窄患者(2 例位于颈内动脉, 2 例位于大脑中动脉)MTT、TTP 灌注异常, 17 例重度狭窄或闭塞患者(11 例位于颈内动脉, 6 例位于大脑中动脉)MTT 灌注异常(图 1)。存在灌注异常的 21 例患者中, 不同狭窄部位(颈内动脉狭窄 13 例, 大脑中动脉狭窄 8 例)的异常灌注区分型见表 2。

2.3 灌注异常患者 Willis 环结构及侧支循环情况

表 2 不同狭窄部位患者的异常灌注区分型[例(%)]

狭窄部位	异常脑灌注区分型			合计
	仅累及大脑中动脉供血区(I 型)	仅累及分水岭区(II 型)	累及分水岭区及大脑中动脉供血区(III 型)	
颈内动脉	0	3(23.07%)	10(76.92%)	13
大脑中动脉	6(75.00%)*	0*	2(25.00%)*	8

注: \* : 与颈内动脉相比, P<0.05

13 例颈内动脉狭窄中, II 型 3 例, 其中 2 例前循环完整, 均为狭窄侧后交通动脉未显示, 另 1 例狭窄侧大脑前动脉 A1 段显示缺如, 狭窄侧后交通动脉显影。III 型 10 例, 其中 7 例前循环显示不完整, 包括前交通动脉未显示 2 例, 狭窄侧大脑前动脉 A1 段显示缺如 3 例, 对侧大脑前动脉 A1 段显示缺如 2 例; 另 3 例可见软脑膜侧支循环。8 例大脑中动脉狭窄患者中, I 型 6 例, 其中 4 例前循环显示完整, 2 例前交通动脉未显示; 且 4 例存在软脑膜侧支循环, 2 例眼动脉增粗。III 型 2 例, 1 例重度狭窄患者大脑前动脉 A1 段显示缺如; 另 1 例大脑中动脉闭塞患者, 大脑前动脉 A1 段显示缺如, 存在软脑膜侧支循环。

### 3 讨论

CTP 是一种功能成像, 可反映脑血流动力学的变化, 最初被用于诊断急性脑缺血性病变, 以早期发现梗死灶、确定梗死范围及估计预后。国外研究<sup>[4]</sup>报道, CTP 可以敏感地反映颈动脉狭窄造成的血流动力学改变。CTP 联合 CTA 将血管形态学和功能影像学检查相结合, 有利于综合评价脑血管解剖和血流动力学。

颈动脉狭窄是引起脑血流动力学异常的诱因之一, 但是否发生血流动力学损害视侧支循环建立情况而异。脑血流动力学状态可在一定程度上反映侧支循环状况。颈内动脉重度狭窄或闭塞主要通过前交通使双侧颈内动脉相通而代偿, 但组成侧支循环的血管需完整, 即狭窄或闭塞同侧和对侧大脑前动脉交通段完整<sup>[5]</sup>。本研究中, 18 例重度狭窄或闭塞患者前交通动脉开放率达 88.89% (16/18), 且 6 例前交通动脉明显增粗, 提示前交通动脉明显代偿血流, 血管越粗代偿能力越强; 但本研究病例数较少, 所得前交通开放率尚需加大样本量进一步研究。此外, 本组 18 例重度狭窄或闭塞患者中, 前交通动脉未显示或大脑前动脉 A1 段显示缺如 (8 例) 者均有不同程度的灌注异常, 提示轻、中度脑血管狭窄患者主要靠通过狭窄侧小动脉和毛细血管的代偿性扩张或收缩 (Bayliss 效应) 来维持脑血流稳定, 而重度狭窄或闭塞的代偿很大程度上依赖完整的 Willis 环前循环, 与陈雪梅等<sup>[6]</sup> 研究结果相符。在各种代偿方式中, Willis 环被看作原发代偿方式, 而

软脑膜血管吻合及颈外动脉代偿途径被视为继发性代偿方式。单纯 Willis 环代偿时, 脑梗死发生率低, 而软脑膜或脑外代偿时脑梗死发生率较高<sup>[7]</sup>, 表明一旦进入继发代偿状态, 则脑血管的原发代偿能力已经很差, 处于不稳定代偿期, 在其他诱因作用下易发生脑梗死。

本研究结果显示, 颈内动脉狭窄患者与大脑中动脉狭窄患者的侧支循环代偿方式不同, 分析原因, 在于分水岭区皮质末梢动脉吻合网较脑内其他部位少, 且血管较细, 易发生异常低灌注<sup>[8]</sup>, 颈内动脉狭窄或闭塞患者脑灌注图像中的异常灌注区首先出现在分水岭区, 随着颈内动脉狭窄程度加重而累及大脑中动脉供血区; 但当同侧后交通存在并可充分代偿时, 可有效避免分水岭区发生梗死。大脑中动脉狭窄患者以大脑中动脉供血区灌注异常为主, 较少累及分水岭区。

### [参考文献]

- [1] Fukuda T, Ogasawara K, Kobayashi M, et al. Prediction of cerebral hyperperfusion after carotid endarterectomy using cerebral blood volume measured by perfusion-weighted MR imaging compared with single-photon emission CT. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2007, 28(4):737-742.
- [2] 戴峰, 高歌军, 卢万俊, 等. 颈内动脉狭窄或闭塞患者的血流动力学观察. *中国医学影像技术*, 2009, 25(1):4-7.
- [3] 高艳, 李坤成, 杜祥瑞, 等. 64 层螺旋 CT 脑灌注成像和头颈部 CT 血管成像在颈内动脉和大脑中动脉狭窄和闭塞中的应用研究. *中华放射学杂志*, 2007, 41(10):1049-1053.
- [4] Hoeffner EG, Case I, Jain R, et al. Cerebral perfusion CT: Technique and clinical applications. *Radiology*, 2004, 231(3):632-644.
- [5] 颜利辉, 高歌军, 戴峰. 64 层螺旋 CTA 评估脑缺血患者供血动脉和 Willis 环动脉. *中国医学影像技术*, 2009, 25(4):525-528.
- [6] 陈雪梅, 徐运. 脑血管储备功能的分期及其在缺血性卒中的应用价值. *中国卒中杂志*, 2007, 2(8):675-677.
- [7] Kluytmans M, van der Grond J, van Everdingen KJ, et al. Cerebral hemodynamics in relation to patterns of collateral flow. *Stroke*, 1999, 30(7):1432-1439.
- [8] 焦力群, 凌锋, 缪中荣, 等. 大脑中动脉狭窄或闭塞的形态学与血液动力学评价. *实用放射学杂志*, 2005, 21(2):117-119.