

Research progress of CT in evaluation of unstable carotid artery plaque

HUANG Lin, LYU Fajin*

(Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China)

[Abstract] Carotid artery plaque, especially unstable plaque, is the important factor for causing acute cerebral vascular disease. The detection of carotid plaque is of significant value for diagnosis, treatment and prognosis of stroke. In the clinic, imaging examinations include ultrasound, MSCT, MRI, etc. As an effective and handy method, CT is worthy of promoting. The research progress of CT in evaluation of unstable carotid plaque were reviewed in this paper.

[Key words] Carotid artery diseases; Tomography, X-ray computed; Angiography

DOI:10.13929/j.1672-8475.201806007

CT 评估不稳定性颈动脉斑块研究进展

黄琳 综述, 吕发金* 审校

(重庆医科大学附属第一医院放射科, 重庆 400016)

[摘要] 颈动脉斑块, 尤其颈部不稳定斑块, 是引起急性脑血管事件的重要原因, 故检出颈动脉斑块对于急性脑卒中患者的诊断、治疗、预后至关重要。临床检测颈动脉斑块的影像学方法有超声、MSCT 和 MRI 等, 其中 MSCT 作为一种高效、可操作性强的检查方式值得推广。本文对 CT 评估不稳定性颈动脉斑块的研究进展进行综述。

[关键词] 颈动脉疾病; 体层摄影术, X 线计算机; 血管造影术

[中图分类号] R543.5; R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8475(2018)12-0765-04

脑动脉粥样硬化是缺血性脑血管事件的重要病因, 约 18%~25% 脑卒中患者的致病因素为颈动脉粥样硬化^[1], 由颈动脉粥样硬化斑块引起的脑血管疾病的发病率不断增高。传统上多以颈动脉狭窄程度评估、预测脑卒中的发生风险, 但多项研究^[2-3]发现轻—中度狭窄的颈动脉斑块亦可导致缺血性脑卒中, 仅根据颈动脉狭窄程度来评估脑卒中发生的风险并不全面; Gupta 等^[4]则认为不稳定斑块才是导致脑卒中的主要因素。目前高分辨率 MRI 对于斑块成分的研究较大程度地提高了不稳定斑块的发现率, 但由于其操作复杂及费用较高等原因, 常不作为颈动脉斑块的首

选检查方法。MSCT 可通过计算 CT 值, 并采用 CPR、MIP、MPR、VR 等多种后处理技术以及能谱分析技术来评估斑块成分、形态及血管整体形态、狭窄程度等。本文对 CT 评估不稳定性颈动脉斑块的进展进行综述。

1 CT 值与斑块稳定性的关系

不稳定斑块是指具有较大偏心性脂质核心、纤维帽较薄、伴有巨噬细胞、炎症细胞浸润以及外膜滋养血管增生的斑块。斑块内泡沫细胞瓦解、平滑肌细胞丢失, 炎症细胞产生金属蛋白酶基质均可导致斑块进展; 血管壁缺氧会造成不成熟的新生血管增生, 使斑块易于破裂而发生继发性出血^[5]。

斑块成分与斑块稳定性关系密切。CT 能够为推测斑块成分提供重要依据。斑块可根据 CT 值分为软斑(脂质斑块, CT 值 < 60 HU)、硬斑(钙化斑块, CT 值 > 130 HU)及混合斑^[1]。通过特殊的计算机算法,

[第一作者] 黄琳(1991—), 女, 四川德阳人, 在读硕士, 医师。研究方向: 颈动脉斑块成像。E-mail: 1126275969@qq.com

[通信作者] 吕发金, 重庆医科大学附属第一医院放射科, 400016。

E-mail: fajinlv@163.com

[收稿日期] 2018-06-04 **[修回日期]** 2018-10-30

CTA 可在血管外边界上勾画 ROI^[6-7], 并自动计算出总像素个数及不同 CT 值的像素总数, 不同 CT 值代表不同的斑块成分, 并予以不同的颜色标记。但 CT 值仅能大致评估斑块成分, 且通过 CT 值阈值设定的方法计算出斑块成分的量也存在误差。

2 CT 测量斑块数据与斑块稳定性的关系

采用 CT 能较准确、简便地测量血管狭窄程度、血管腔面积、管壁厚度、斑块厚度及容积^[4-5]。目前关于斑块厚度测量及斑块厚度与脑梗死关系的研究较多。

2.1 颈动脉狭窄程度 观察斑块厚度与脑梗死的关系, 须排除颈动脉狭窄程度对脑梗死的影响, 因为颈动脉狭窄程度会一定程度影响颅内血流动力学的改变。测量颈动脉狭窄程度的方法有北美症状性颈动脉内膜切除术 (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial, NASCET) 方法、欧洲颈动脉外科实验 (European Carotid Surgery Trial, ECST) 方法和颈总动脉测量 (common carotid, CC) 方法等^[8]。CT 测量斑块狭窄程度多沿用 NASCET 方法: 动脉狭窄率 = $(1 - \text{横断面最狭窄部位直径} / \text{远端正常血管直径}) \times 100\%$, 管腔狭窄率 0~49% 为轻度狭窄, 50%~69% 为中度狭窄, 70%~99% 为重度狭窄, 管腔狭窄率 100% 为完全闭塞^[1,8]。

2.2 斑块厚度测量 CT 通常测量的是最大斑块厚度^[4], 其定义为狭窄程度最大处的斑块厚度, 对钙化斑块和非钙化斑块厚度应分别测量。Adraktas 等^[9]发现, 管壁厚度百分比可以表示钙化斑块与非钙化斑块的位置, 0 代表含钙化或非钙化成分斑块的位置接近血管的内边界, 100% 表示含钙化成分斑块与非钙化成分斑块的位置接近血管外边界, 这种位置表示方法有助于提高斑块成分与脑梗死预后关系研究的准确性。

2.3 斑块厚度与脑梗死的关系 近年来, 关于斑块厚度与脑梗死关系的 CT 研究较多。Gupta 等^[4]观察中度狭窄颈动脉近期发生脑卒中或短暂性脑缺血发作患者, 发现症状性颈动脉疾病患者的软斑厚度显著增高, 而非症状性颈动脉疾病患者的硬斑厚度更高。Gupta 等^[10]观察 48 例近期发生脑卒中或短暂性脑缺血发作的中重度颈动脉狭窄患者的斑块特征, 发现 MRA 上存在斑块内高信号的患者中软斑厚度更大, 不存在斑块内高信号的患者硬斑厚度更大, 而斑块内高信号已被证实为不稳定斑块的重要 MR 指标^[11-12]。通过测量斑块厚度, 能在一定程度上区分症状性斑块与非症状性斑块, 从而对斑块危险程度进行分层, 有利于指导临床治疗以及评估预后; 但目前大多为回顾性研究, 对

于斑块特征与未来发生脑血管事件关系还有待深入研究。

3 不稳定斑块的 CT 形态学特征

颈动脉斑块表面形态可分为平滑、不规则以及溃疡 3 种: 平滑表面定义为光滑的管腔, 无任何溃疡及不规则形态; 不规则表面指管腔表面起伏 0.3~0.9 mm^[13]; 溃疡表面定义为对比剂沿斑块表面进入斑块组织大于 1 mm 或 2 mm^[14-15]。不规则表面及溃疡表面均为引起短暂性脑缺血发作或脑卒中的危险因素^[16]。MPR、CPR、MIP 等 CT 后处理技术可从不同角度观察斑块表面形态。多项研究^[17-19]表明, CT 检出斑块溃疡的敏感度、特异度均较高, 且优于超声检查; 但 CT 存在边缘模糊效应, 不利于检出小溃疡。Qiao 等^[20]报道个别颈动脉斑块患者的溃疡表面在数月后愈合; van Gils 等^[21]发现 CT 显示颈动脉斑块溃疡表面的愈合时间约为 2 年, 且愈合概率较小; 在此期间约 88% 斑块能保持稳定, 8% 斑块表现为更不规则形, 4% 表现为表面光滑, 提示溃疡已愈合。

4 CT 动态扫描评估斑块的易损性

Saba 等^[22]发现斑块的易损性与 CT 增强扫描后斑块的强化有关, 以强化值超过 15 HU 预测斑块易损性的价值更高。越来越多的研究^[23-24]结果显示颈动脉斑块进展与外膜滋养血管及新生血管有关。对于有脑血管症状的颈动脉重度狭窄患者, CT 发现斑块出现早期强化更为常见^[23], 而 DCE-MRI 显示斑块延迟强化更明显^[24], 可能与斑块新生血管形成不一致有关。Ha 等^[25]发现, 斑块强化的平均 CT 值在高度颈动脉狭窄患者的症状侧更高, 并且延迟期时这种差异更明显。斑块壁延迟强化的机制与外膜新生血管形成和炎症有关^[26], 新生血管形成和炎症均提示斑块存在不稳定性。延迟强化的最佳时间尚待确定, 期待通过更多对比性研究来探究斑块不稳定性与斑块延迟强化的关系。此外, 斑块的 CT 延迟强化特点也可作为评估斑块危险分层的指标而指导临床治疗。

5 能谱技术研究斑块的不稳定性

5.1 能谱 CT 的优势 人体组织在不同能量水平具有不同的衰减, 使得双能量 CT 能够鉴别组织成分, 降低图像伪影, 改变图像对比度、信噪比, 并进一步鉴别碘、钙化以及出血^[27]。对头颈部血管图像通过自动去骨和去斑块减影技术得到减影图像, 可清楚显示血管病变; 血管减影后的 MIP 图像能清楚显示血管内斑块的形态。传统 CT 受肩胛区及颅底区的射线硬化束伪影的影响, 减影后的图像质量不佳。双能量 CT 可通

过不同的能量组合(如 80/sv 140 kV, 100/sv 140 kV)^[27]提高减影后的图像质量,有利于评估斑块的形态。

5.2 能谱 CT 相对于传统 MSCT 的优势 相比传统 MSCT,能谱 CT 能在降低辐射剂量的同时提高图像对比度,增强后图像更为清晰,并更少受金属伪影的影响;通过分析能谱曲线,还可对斑块成分进行分析。Wang 等^[28]对比能谱 CT 与传统 CT 诊断斑块不稳定性的差异,发现能谱 CT 的敏感度、特异度及准确率均高于 MSCT,原因是能谱 CT 的单一能谱曲线分析能有效区分混合斑块的物质构成,从而提高了混合斑块的检出率。另外,能谱 CT 具有较好的图像对比度,能更好地评估斑块狭窄程度以及斑块厚度,有利于评估斑块的不稳定性。

6 展望

能谱技术,CT MPR、MIP 等后处理技术及外膜灌注成像技术的应用大大提高了 CT 对于不稳定斑块的准确率,但对于动脉斑块 CT 特点与脑梗死的关系有待进一步研究。相信随着多模态影像学研究、跨学科研究的深入,CT 也能成为斑块危险分层的有效工具,为颈动脉斑块的诊断、临床治疗及预后评估方面提供重要依据。

【参考文献】

- [1] Saba L, Yuan C, Hatsukami TS, et al. Carotid artery wall imaging: Perspective and guidelines from the ASNR vessel wall imaging study group and expert consensus recommendations of the American society of neuroradiology. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2018,39(2):E9-E31.
- [2] Astor BC, Sharrett AR, Coresh J, et al. Remodeling of carotid arteries detected with MR imaging: Atherosclerosis risk in communities carotid MRI study. *Radiology*, 2010, 256 (3): 879-886.
- [3] Redgrave JN, Lovett JK, Rothwell PM. Histological features of symptomatic carotid plaques in relation to age and smoking: The oxford plaque study. *Stroke*, 2010,41(10):2288-2294.
- [4] Gupta A, Mtui EE, Baradaran H, et al. CT angiographic features of symptom-producing plaque in moderate-grade carotid artery stenosis. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2015,36(2):349-354.
- [5] Saba L, Anzidei M, Piga M, et al. Multi-modal CT scanning in the evaluation of cerebrovascular disease patients. *Cardiovasc Diagn Ther*, 2014,4(3):245-262.
- [6] Rozie S, de Weert TT, de Monyé C, et al. Atherosclerotic plaque volume and composition in symptomatic carotid arteries assessed with multidetector CT angiography; relationship with severity of stenosis and cardiovascular risk factors. *Eur Radiol*, 2009,19(9): 2294-2301.
- [7] Chien JD, Furtado A, Cheng SC, et al. Demographics of carotid atherosclerotic plaque features imaged by computed tomography. *J Neuroradiol*, 2013,40(1):1-10.
- [8] Adla T, Adlova R. Multimodality imaging of carotid stenosis. *Int J Angiol*, 2015,24(3):179-184.
- [9] Adraktas DD, Tong E, Furtado AD, et al. Evolution of CT imaging features of carotid atherosclerotic plaques in a 1-year prospective cohort study. *J Neuroimaging*, 2014,24(1):1-6.
- [10] Gupta A, Baradaran H, Mtui EE, et al. Detection of symptomatic carotid plaque using source data from MR and CT angiography: A correlative study. *Cerebrovasc Dis*, 2015,39(3/4):151-161.
- [11] Gupta A, Baradaran H, Kamel H, et al. Intraplaque high-intensity signal on 3D time-of-flight MR angiography is strongly associated with symptomatic carotid artery stenosis. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2014,35(3):557-561.
- [12] Qiao Y, Etesami M, Malhotra S, et al. Identification of intraplaque hemorrhage on MR angiography images: A comparison of contrast-enhanced mask and time-of-flight techniques. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2011,32(3):454-459.
- [13] Saba L, Anzidei M, Marincola BC, et al. Imaging of the carotid artery vulnerable plaque. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2014,37(3):572-585.
- [14] Rafailidis V, Chrysogonidis I, Tegos T, et al. Imaging of the ulcerated carotid atherosclerotic plaque: A review of the literature. *Insights Imaging*, 2017,8(2):213-225.
- [15] 刘伟,吕国土,刘占标,等. 64 排螺旋 CT 血管成像检测溃疡斑块在缺血性脑卒中的应用价值. *解放军医药杂志*, 2013, 25 (4): 76-78.
- [16] Wasserman BA, Smith WI, Trout HH, et al. Carotid artery atherosclerosis: In vivo morphologic characterization with gadolinium-enhanced double-oblique MR imaging initial results. *Radiology*, 2002,223(2):566-573.
- [17] Saba L, Caddeo G, Sanfilippo R, et al. CT and ultrasound in the study of ulcerated carotid plaque compared with surgical results: Potentialities and advantages of multidetector row CT angiography. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2007, 28 (6): 1061-1066.
- [18] Saba L, Caddeo G, Sanfilippo R, et al. Efficacy and sensitivity of axial scans and different reconstruction methods in the study of the ulcerated carotid plaque using multidetector-row CT angiography: Comparison with surgical results. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2007,28(4):716-723.
- [19] Kuk M, Wannarong T, Beletsky V, et al. Volume of carotid artery ulceration as a predictor of cardiovascular events. *Stroke*, 2014,45(5):1437-1441.
- [20] Qiao Y, Farber A, Semaan E, et al. Images in cardiovascular medicine. Healing of an asymptomatic carotid plaque ulceration. *Circulation*, 2008,118(10):e147-e148.

- [21] van Gils MJ, Homburg PJ, Rozie S, et al. Evolution of atherosclerotic carotid plaque morphology: Do ulcerated plaques heal? A serial multidetector CT angiography study. *Cerebrovasc Dis*, 2011, 31(3):263-270.
- [22] Saba L, Mallarini G. Carotid plaque enhancement and symptom correlations: An evaluation by using multidetector row CT angiography. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2011, 32 (10): 1919-1925.
- [23] Romero JM, Babiarz LS, Forero NP, et al. Arterial wall enhancement overlying carotid plaque on CT angiography correlates with symptoms in patients with high grade stenosis. *Stroke*, 2009, 40(5):1894-1896.
- [24] Kerwin WS, O'Brien KD, Ferguson MS, et al. Inflammation in carotid atherosclerotic plaque: A dynamic contrast-enhanced MR imaging study. *Radiology*, 2006, 241(2):459-468.
- [25] Ha SM, Suh SI, Seo WK, et al. Arterial wall imaging in symptomatic carotid stenosis: Delayed enhancement on MDCT angiography. *Neurointervention*, 2016, 11(1):18-23.
- [26] Xiong L, Deng YB, Zhu Y, et al. Correlation of carotid plaque neovascularization detected by using contrast-enhanced US with clinical symptoms. *Radiology*, 2009, 251(2):583-589.
- [27] Korn A, Bender B, Schabel C, et al. Dual-source dual-energy CT angiography of the supra-aortic arteries with Tin filter: Impact of tube voltage selection. *Acad Radiol*, 2015, 22(6):708-713.
- [28] Wang JJ, Fan SJ, Wang LL, et al. Clinical relevance of gemstone spectral CT in the diagnosis of carotid atherosclerosis. *Exp Ther Med*, 2017, 13(6):2629-2636.

本刊可以直接使用的英文缩略语(一)

- 计算机断层摄影术(computed tomography, CT)
 多层螺旋 CT(multiple-slice CT, MSCT)
 多排螺旋 CT(multi-detector CT, MDCT)
 高分辨率 CT(high resolution CT, HRCT)
 容积 CT(volumetric computed tomography, VCT)
 CT 血管造影(computed tomographic angiography, CTA)
 CT 静脉造影(CT venography, CTV)
 磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)
 功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)
 扩散(弥散)加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)
 磁敏感加权成像(susceptibility-weighted imaging, SWI)
 扩散(弥散)张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)
 灌注加权成像(perfusion weighted imaging, PWI)
 磁共振血管造影(magnetic resonance angiography, MRA)
 磁共振波谱(magnetic resonance spectroscopy, MRS)
 氢质子磁共振波谱(proton magnetic resonance spectroscopy, ¹H-MRS)
 表观扩散(弥散)常数(apparent diffusion coefficient, ADC)
 数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)
 经导管动脉化疗栓塞术(transcatheter arterial chemoembolization, TACE)
 经颈静脉肝内门-体分流术(transjugular intrahepatic porto-systemic shunt, TIPS)
 冠状动脉血管造影术(coronary angiography, CAG)
 最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)
 容积再现技术(volume rendering technique, VRT)
 表面阴影成像(surface shaded displace, SSD)
 最小密度投影(minimum intensity projection, MinIP)
 多平面重建(multi-planar reconstruction, MPR)
 多平面重组(multi-planar reformation, MPR)
 容积再现(volume rendering, VR)
 容积重建(volume reconstruction, VR)
 曲面重组(curved planar reformation, CPR)
 曲面重建(curved planar reconstruction, CPR)
 自旋回波(spin echo, SE)
 快速自旋回波(fast spin echo, FSE)或者(turbo spin echo, TSE)
 快速场回波(fast field echo, FFE)
 平面回波成像(echo planar imaging, EPI)
 梯度回波(gradient echo, GRE)
 信噪比(signal noise ratio, SNR)
 对比噪声比(contrast noise ratio, CNR)
 血氧水平依赖(blood oxygenation level dependent, BOLD)
 视野(field of view, FOV)
 时间飞跃法(time of flight, TOF)
 激励次数(number of excitation, NEX)
 各向异性分数(fractional anisotropy, FA)
 钆喷替酸葡甲胺(Gadolinium-DTPA, Gd-DTPA)