doi:10.11659/jjssx.01E026051

·临床研究·

低剂量颅颈动脉CTA斑块特征与缺血性脑卒中发病风险的相关性研究

严吉来[1],史兆春[2] (1.南京医科大学第一附属医院放射科,江苏 南京 210029;2.南京医科大学第一附属医院神经内科,江苏 南京 210029)

[**摘 要**] **目的** 评估低剂量颅颈动脉CT血管造影(CTA)斑块特征与缺血性脑卒中发生风险的相关性。**方法** 选取2021年10月至2023年6月在南京医科大学第一附属医院接受低剂量颅颈动脉CTA检查的87例患者为研究对象,根据术后24个月内是否发生缺血性脑卒中分为卒中组(n=23)与非卒中组(n=64)。另选取同期87例在我院接受常规剂量颅颈动脉CTA检查的患者作为辐射剂量对照组。记录2组患者颈动脉斑块的数量、位置、形态、密度及颈动脉狭窄程度,采用多因素Logistic回归分析筛选缺血性脑卒中发生的独立危险因素。**结果** 低剂量颅颈动脉CTA图像质量可满足诊断需求,患者接受的有效辐射剂量较常规剂量降低56.2%。卒中组颈动脉斑块数量≥2个、颈动脉分叉处斑块、斑块形态不规则、混合斑块、颈动脉中度及以上狭窄的患者占比高于非卒中组,差异均有统计学意义(P<0.05)。多因素Logistic回归分析显示,颈动脉分叉处斑块(OR=3.215,95%CI:1.102~9.386)、斑块形态不规则(OR=2.987,95%CI:1.015~8.803)、混合斑块(OR=3.524,95%CI:1.201~10.345)、颈动脉中度及以上狭窄(OR=4.102,95%CI:1.387~12.134)是缺血性脑卒中发生的独立危险因素(P<0.05)。**结论** 低剂量颅颈动脉CTA可在显著降低辐射剂量的前提下,精准评估斑块特征及颈动脉狭窄程度。斑块位于颈动脉分叉处、形态不规则、混合斑块、颈动脉中度及以上狭窄的患者出现缺血性脑卒中的风险增加,可作为临床早期干预的重要参考指标。

[**关键词**] CT血管造影;双源CT;颈动脉斑块;缺血性脑卒中;低辐射剂量

[**中图分类号**] R743.3;R814.42 [**文献标志码**] A [**收稿日期**] 2026-01-10

Correlation between low-dose craniocervical CTA-derived plaque characteristics and the risk of ischemic stroke

YAN Ji-lai[1], SHI Zhao-chun[2] (1.Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing Jiangsu 210029, China; 2.Department of Neurology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing Jiangsu 210029, China)

Abstract: Objective To evaluate the correlation between plaque characteristics and the risk of ischemic stroke by low-dose craniocervical computed tomography angiography (CTA). **Methods** A total of 87 patients who underwent low-dose craniocervical CTA examination in the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University from October 2021 to June 2023 were selected as the research objects. According to the occurrence of ischemic stroke within 24 months after surgery, the patients were divided into the stroke group (n=23) and the non-stroke group (n=64). Another 87 patients who received conventional-dose craniocarotid artery CTA examination in our hospital during the same period were selected as the radiation dose control group. The number, location, morphology, density of carotid plaques, and the degree of carotid artery stenosis of patients in the two groups were recorded. Multivariate Logistic regression analysis was used to screen the independent risk factors for the occurrence of ischemic stroke. **Results** The image quality of low-dose craniocervical CTA can meet the diagnostic requirements, and the effective radiation dose received by patients was reduced by 56.2% compared with the conventional dose. The proportions of patients with ≥2 carotid plaques, plaques located at carotid bifurcation, irregular plaque morphology, mixed plaques, and moderate or severe carotid artery stenosis in the stroke group were significantly higher than those in the non-stroke group (P<0.05). Multivariate Logistic regression analysis showed that plaques located at carotid bifurcation (OR=3.215, 95%CI=1.102 to 9.386), irregular plaque morphology (OR=2.987, 95%CI=1.015 to 8.803), mixed plaques (OR=3.524, 95%CI=1.201 to 10.345) and moderate or severe carotid artery stenosis (OR=4.102, 95%CI=1.387 to 12.134) were the independent risk factors for the occurrence of ischemic stroke (P<0.05). **Conclusion** Low-dose craniocervical CTA can accurately evaluate plaque characteristics and the degree of carotid artery stenosis on the premise of significantly reducing radiation dose. Patients with plaques located at carotid bifurcation, irregular plaque morphology, mixed plaques, and moderate or severe carotid stenosis have an increased risk of ischemic stroke, which may serve as important reference indicators for early clinical intervention.

Keywords: computed tomography angiography; dual-source CT; carotid plaque; ischemic stroke; low radiation dose

[**基金项目**] 南京医科大学第一附属医院青年基金培育计划(PY2022025)

[**通信作者**] 史兆春,E-mail:290694748@qq.com

缺血性脑卒中是全球范围内导致残疾和死亡的主要疾病之一,其发病与颅颈动脉粥样硬化斑块密切相关,斑块破裂、脱落引发的脑动脉栓塞是缺血性脑卒中的重要致病机制[1-2]。颅颈动脉CT血管造影(computed tomography angiography, CTA)凭借无创、快速、高空间分辨率的优势,在脑血管疾病风险评估中具有重要应用价值[3]。但常规剂量颅颈动脉CTA存在辐射剂量偏高的问题,限制了其在高危人群筛查及长期随访中的应用。低剂量CTA通过优化扫描参数,可在降低辐射剂量的同时保证图像质量,近年来逐渐成为影像学研究的热点。

双源CT具有快速扫描、迭代重建及低剂量成像等优势,能够在大幅降低辐射剂量的同时,保障图像的空间分辨率与密度分辨率。目前临床关于颅颈动脉斑块的研究多依赖常规剂量CTA或超声检查,而基于低剂量颅颈动脉CTA的斑块特征对缺血性脑卒中发病风险的预测价值尚缺乏充分临床证据,仍需进一步研究。鉴于此,本研究通过分析87例患者的临床资料,探讨颅颈动脉CTA斑块特征与缺血性脑卒中发病风险的相关性,旨在为临床缺血性脑卒中的早期预防和干预进一步提供影像学依据。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析2021年10月至2023年6月在南京医科大学第一附属医院神经内科就诊并接受低剂量颅颈动脉CTA检查的87例患者的临床资料。纳入标准:①年龄≥40岁;②临床资料完整。排除标准:①既往有缺血性脑卒中、脑出血史;②合并严重肝肾功能不全、恶性肿瘤、自身免疫性疾病;③存在颈动脉夹层、动脉瘤等非粥样硬化性血管病变;④检查前3个月内服用过抗血小板、抗凝药物。本研究经过南京医科大学第一附属医院医学伦理委员会审批(批准号:2023-SRFA-264),回顾性研究已豁免患者知情同意。

根据术后24个月内是否发生缺血性脑卒中,将患者分为卒中组(n=23)与非卒中组(n=64)。缺血性脑卒中的诊断严格遵循《中国急性缺血性卒中诊治指南2023》[4]中的相关标准,并经头颅CT或MRI检查证实。卒中组患者男13例,女10例;年龄45~78岁,平均(62.5±8.2)岁。非卒中组患者男36例,女28例;年龄42~75岁,平均(60.1±7.8)岁。2组患者性别、年龄、高血压、糖尿病、血脂异常、吸烟史及饮酒史等临床资料比较,差异均无统计学意义(P>0.05)。为量化评估低剂量扫描方案的辐射剂量降幅,本研究按照1∶1倾向性评分匹配原则,选取同期87例在我院接受常规剂量颅颈动脉CTA检查的患者作为辐射剂量对照组。匹配因素包括年龄、性别、体质量指数及检查适应证,辐射剂量对照组纳入、排除标准与主研究队列一致,二者基线资料差异无统计学意义(P>0.05),具有可比性。该组仅用于辐射剂量的对照分析,不纳入斑块特征与缺血性脑卒中发病风险的相关性研究。

1.2 检查方法

采用西门子Force双源CT机进行低剂量颅颈动脉CTA检查。患者取仰卧位,头颈部固定,扫描范围从主动脉弓至颅底。低剂量扫描参数:管电压90 kV,管电流采用自动管电流调制技术(CARE Dose 4D,100~200 mA),旋转时间0.28 s/r,层厚0.625 mm,层间距0.5 mm,螺距0.984,采用迭代重建算法(SAFIRE,Level 3)。辐射剂量对照组采用常规剂量扫描方案:管电压120 kV,固定管电流250 mA,扫描范围、对比剂注射方案及图像后处理流程与低剂量组保持一致,图像重建采用滤波反投影算法。

经肘静脉注射非离子型对比剂碘普罗胺(浓度:350 mgI/mL),注射剂量1.2 mL/kg,注射速率3.0~3.5 mL/s,对比剂注射后延迟18~22 s开始扫描。扫描完成后,将原始数据传输至工作站,采用多平面重建、最大密度投影及容积再现技术进行后处理(图1)。

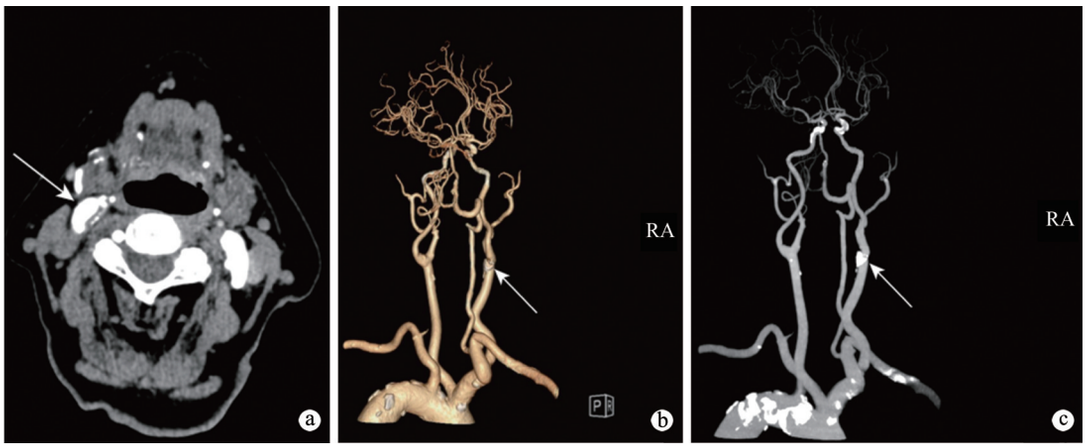
由2名具有5年以上神经血管影像诊断经验的放射科医师双盲阅片,采用4分法评估图像质量:1分,图像模糊无法诊断;2分,图像质量差但可诊断;3分,图像质量良好;4分,图像质量优秀。意见不一致时,由2名医师共同讨论后确定。同时记录患者的有效辐射剂量,并与辐射剂量对照组的辐射剂量进行对比。

1.3 观察指标

斑块评估指标包括:①斑块数量,分为<2个和≥2个;②斑块位置,分为颈动脉分叉处、颈总动脉、颈内动脉;③斑块形态,根据边缘是否光滑分为规则(边缘光滑)和不规则(边缘毛糙、凸起);④斑块密度,根据CT值分为钙化斑块(CT值≥130 HU)、非钙化斑块(CT值<60 HU)、混合斑块(同时存在钙化与非钙化成分);⑤颈动脉狭窄程度,采用北美症状性颈动脉内膜切除术试验标准[4],分为轻度狭窄(狭窄率<50%)、中度狭窄(狭窄率50%~69%)、重度狭窄(狭窄率70%~99%)。

1.5 统计学方法

采用SPSS 26.0统计学软件进行数据分析,计数



a:低剂量扫描轴位图像显示右侧颈总动脉分叉处混合斑块,管腔轻-中度狭窄;b:后处理重建容积再现;c:后处理重建最大密度投影图 箭头:斑块所在位置

图1 低剂量颅颈动脉CTA图像

资料以率(%)表示,组间比较采用χ^2检验;计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用t检验。采用多因素Logistic回归分析筛选引起缺血性脑卒中的独立危险因素。$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 低剂量颅颈动脉CTA图像质量及辐射剂量

87例患者的图像质量评分均>2分,其中3分61例(70.11%),4分26例(29.89%),满足临床诊断需求。低剂量组患者的有效辐射剂量为(1.28±0.32)mSv,低于辐射剂量对照组患者的(2.92±0.56)mSv,差异有统计学意义(t=28.634,$P<0.001$),低剂量组辐射剂量较辐射剂量对照组降低56.2%。

2.2 患者颈动脉斑块特征比较

卒中组颈动脉斑块数量≥2个、斑块位于颈动脉分叉处、斑块形态不规则、混合斑块的患者占比均高于非卒中组,差异有统计学意义($P<0.05$),见表1。

表1 2组患者颈动脉斑块特征比较[例(%)]

指标		卒中组(n=23)	非卒中组(n=64)	χ^2	P
斑块数量	<2个	5(21.74)	38(59.38)	9.231	0.002
	≥2个	18(78.26)	26(40.62)		
斑块位置	颈总动脉	3(13.04)	15(23.44)	6.872	0.032
	颈内动脉	4(17.39)	20(31.25)		
	颈动脉分叉处	16(69.57)	29(45.31)		
斑块形态	规则	4(17.39)	30(46.88)	6.105	0.013
	不规则	19(82.61)	34(53.12)		
斑块密度	钙化斑块	5(21.74)	22(34.38)	7.528	0.023
	非钙化斑块	4(17.39)	18(28.12)		
	混合斑块	14(60.87)	24(37.50)		

2.3 患者颈动脉狭窄程度比较

卒中组颈动脉轻度狭窄的患者占比显著低于非卒中组,中度及以上狭窄的患者占比高于非卒中组,差异均有统计学意义($P<0.05$),见表2。

表2 2组患者颈动脉狭窄程度比较[例(%)]

狭窄程度	卒中组(n=23)	非卒中组(n=64)	χ^2	P
轻度狭窄	6(26.09)	39(60.94)		
中度狭窄	10(43.48)	18(28.12)		
重度狭窄	7(30.43)	7(10.94)		
中度及以上狭窄	17(73.91)	25(39.06)	10.124	0.001

注:"中度及以上狭窄"为二分类亚组分析,采用四格表Pearson χ^2检验

2.4 引起缺血性脑卒中的多因素Logistic回归分析

将单因素分析中差异有统计学意义的指标作为自变量,以是否出现缺血性脑卒中作为因变量,进行多因素Logistic回归分析。所有变量均采用二分类赋值:是否发生缺血性脑卒中(0=未发生,1=发生)、斑块数量(0=<2个,1=≥2个)、斑块位置(0=非颈动脉分叉处,1=颈动脉分叉处)、斑块形态(0=规则,1=不规则)、斑块密度(0=非混合斑块,1=混合斑块)、颈动脉狭窄程度(0=轻度狭窄,1=中度及以上狭窄)。结果显示,颈动脉分叉处斑块、斑块形态不规则、混合斑块、颈动脉中度及以上狭窄是缺血性脑卒中发生的独立危险因素($P<0.05$),斑块数量≥2个在多因素校正后差异无统计学意义($P>0.05$),见表3。

表3 引起缺血性脑卒中的多因素Logistic回归分析

变量	β	SE	Wald χ^2	OR	95%CI	P
斑块数量≥2个	0.623	0.487	1.637	1.864	0.718~4.839	0.201
颈动脉分叉处斑块	1.168	0.524	4.962	3.125	1.102~9.386	0.026
斑块形态不规则	1.094	0.518	4.495	2.987	1.015~8.803	0.034
混合斑块	1.259	0.531	5.628	3.524	1.201~10.345	0.018
颈动脉中度及以上狭窄	1.411	0.512	7.683	4.102	1.387~12.134	0.005

3 讨论

缺血性脑卒中的发病机制复杂,颅颈动脉粥样硬化斑块的不稳定性是引发缺血性脑卒中的关键因素,而斑块特征直接反映其稳定性[6]。常规剂量颅颈动脉CTA虽能清晰呈现斑块的解剖学特征,但辐射剂量偏高,使其在临床筛查中存在局限性。

双源CT的低剂量成像技术具有显著优势,本研究采用90 kV低管电压联合自动管电流调制技术,配合SAFIRE迭代重建算法,结果显示,低剂量组有效辐射剂量较辐射剂量对照组降低56.2%,且图像质量评分均>2分,在有效降低辐射剂量的同时保证了图像质量,完全满足临床诊断需求。这与既往研究[7]中关于双源CT低剂量成像的结论一致。

本研究结果显示,卒中组颈动脉斑块数量≥2个的患者比例显著高于非卒中组,提示斑块数量的增加与缺血性脑卒中发病风险呈正相关。这是由于斑块较多会加剧颈动脉狭窄程度,同时斑块之间的相互作用会破坏血管内皮的完整性,加速斑块的破裂与脱落[8]。卒中组斑块位于颈动脉分叉处的患者比例显著高于非卒中组,且多因素分析证实颈动脉分叉处斑块是引起缺血性脑卒中的独立危险因素,这与颈动脉分叉处特殊的血流动力学环境密切相关。颈动脉分叉处血管管腔突然增宽、血流方向偏转,易形成湍流与低振荡剪切应力区域,持续的血流动力学异常会损伤血管内皮屏障功能,加速低密度脂蛋白浸润与单核巨噬细胞募集,促进动脉粥样硬化斑块的形成与发展;同时,颈动脉分叉处斑块长期受血流的周期性冲击,纤维帽易发生疲劳性损伤,斑块破裂后暴露的胶原与脂质核心可快速激活血小板与凝血系统,形成原位血栓,血栓脱落后随血流进入颅内动脉,最终导致缺血性脑卒中[9-10]。

斑块形态是评估斑块稳定性的核心指标,本研究卒中组斑块形态不规则的患者占比显著高于非卒中组,且多因素分析证实斑块形态不规则是引起缺血性脑卒中的独立危险因素。斑块形态是直观评估斑块易损性的核心形态学指标。从病理机制分析,斑块形态不规则多提示纤维帽厚薄不均、存在溃疡或局部隆起,其内部往往伴随较大的脂质坏死核心与活动性炎症,斑块抗血流剪切应力的能力显著下降;在血压波动、血流速度加快等诱因下,薄纤维帽处易发生破溃,斑块内容物释放入血可迅速触发凝血级联反应,形成的血栓及脱落的斑块碎屑可随血流栓塞远端脑动脉,直接诱发缺血性脑卒中[11]。相比之下,边缘光滑的规则斑块多提示纤维帽完整、内部成分相对稳定,发生破裂栓塞的风险显著降低。

斑块密度特征与缺血性脑卒中的关系一直是临床研究的重点,本研究按CT密度将颈动脉斑块分为钙化斑块、非钙化斑块和混合斑块三类,结果显示,卒中组混合斑块的患者占比显著高于非卒中组,且混合斑块是引起缺血性脑卒中的独立危险因素。病理研究证实,混合斑块同时存在钙化结节与脂质坏死核心,软硬成分的交界面易出现应力集中现象,钙化结节可向管腔侧凸起并破坏纤维帽的连续性,同时,非钙化的脂质核心多伴随斑块内新生血管与炎症细胞浸润,易发生斑块内出血,二者共同作用显著提升了斑块的破裂风险[12]。相较而言,均质钙化斑块纤维帽厚、整体硬度高,不易发生破裂;纯非钙化斑块因无钙化结节的机械切割作用,其易损性低于异质性的混合斑块[13]。

颈动脉狭窄程度与缺血性脑卒中的相关性已得到临床广泛认可,本研究多因素分析结果显示,颈动脉中度及以上狭窄是缺血性脑卒中发生的独立危险因素(*OR*=4.102),在所有纳入的斑块相关指标中风险关联强度最高。从病理生理机制分析,颈动脉中度及以上狭窄可通过两条通路共同提升卒中风险:一方面,管腔狭窄直接导致远端脑组织血流灌注下降,慢性低灌注状态下脑组织缺血耐受力降低,在血压波动、血容量不足等诱因下易发生分水岭梗死;另一方面,颈动脉狭窄部位血流速度加快、局部剪切应力升高,会持续侵蚀斑块表面的纤维帽,加速斑块破裂与原位血栓形成,血栓或斑块碎屑脱落随血流栓塞远端脑动脉,这是诱发急性缺血性脑卒中的核心机制[14]。同时,狭窄程度越严重通常斑块负荷越大,狭窄的血管与斑块易损性形成叠加效应,会进一步增加卒中发病风险。

基于本研究结果,临床可针对低剂量颅颈动脉CTA检出的高危斑块特征制定分层干预策略。对于颈动脉分叉处存在不规则混合斑块且合并中度及以上狭窄的患者,应列为缺血性脑卒中极高风险人群,建议将随访周期缩短至每3~6个月1次,同时强化抗血小板、调脂稳斑药物治疗,定期进行低剂量颅颈动脉CTA检查评估斑块稳定性[15]。对于仅存在单一钙化斑块或轻度狭窄的低风险人群,可优先干预患者生活方式,包括戒烟限酒、低盐低脂饮食、规律运动等,配合基础药物治疗并每年进行1次低剂量颅颈动脉CTA检查。

此外,低剂量颅颈动脉CTA可作为无症状颅颈动

脉狭窄人群的首选筛查手段,尤其是中老年高血压、糖尿病、高血脂等高危人群,在保证诊断准确性的同时降低辐射剂量,实现缺血性脑卒中的“早发现、早干预”[16-17]。临床医师在解读低剂量颅颈动脉CTA报告时,不应仅关注狭窄程度,还需综合评估斑块的位置、形态及密度特征,从而更精准地判断发病风险,制定个体化防治方案[18-19]。

然而,本研究为单中心研究,样本量较小,可能存在选择偏倚;同时,随访时间较短,未能观察长期缺血性脑卒中的发生风险;此外,未纳入患者的用药情况、生活习惯等因素,可能对研究结果产生影响。未来需开展多中心、大样本、前瞻性、长期随访的研究,并纳入更多影响因素,进一步验证低剂量颅颈动脉CTA斑块特征对缺血性脑卒中发病风险的预测价值。

综上所述,低剂量颅颈动脉CTA可在显著降低辐射剂量的前提下,精准评估斑块位置、形态、成分及颈动脉狭窄程度,其结果与缺血性脑卒中发病风险密切相关,斑块位于颈动脉分叉处、形态不规则、混合斑块及颈动脉中度及以上狭窄的患者更易出现缺血性脑卒中。临床可通过低剂量颅颈动脉CTA评估颈动脉斑块特征,对高风险人群采取针对性干预措施,降低缺血性脑卒中的发生风险。

[参考文献]

[1] 中国卒中学会,中国卒中学会神经介入分会,中华预防医学会卒中预防与控制专业委员会介入学组,等. 急性缺血性卒中血管内治疗中国指南2023[J]. 中国卒中杂志,2023,18(6):684-711. doi:10.3969/j.issn.1673-5765.2023.06.010.

[2] 杨海蕾,陈 晨,屈秋民. 社区脑卒中高危人群颈动脉粥样硬化与缺血性脑卒中的关系[J]. 西安交通大学学报(医学版),2019,40(6):916-921. doi:10.7652/jdyxb201906014.

[3] 吕发金. 头颈CT血管成像临床应用研究与技术进展[J]. 重庆医科大学学报,2019,44(10):1249-1253. doi:10.13406/j.cnki.cyxb.002258.

[4] North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators, Barnett HJM, Taylor DW, et al. Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis[J]. N Engl J Med, 1991, 325(7): 445-453. doi: 10.1056/NEJM199108153250701.

[5] 中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性卒中诊治指南2023[J]. 中华神经科杂志,2024,57(6):523-559. doi:10.3760/cma.j.cn113694-20240410-00221.

[6] Rizvi A, Seyedsaadat SM, Alzuabi M, et al. Carotid plaque vulnerability on magnetic resonance imaging and risk of future ischemic events: a systematic review and meta-analysis[J]. J Neurosurg Sci, 2020, 64(5): 480-486. doi:10.23736/S0390-5616.20.04959-0.

[7] 吴 磊,仝 贺,李 松,等. 基于CTA的颈动脉斑块钙化特征与急性缺血性脑卒中风险的相关性研究[J]. 蚌埠医科大学学报,2025,50(9):1264-1268. doi:10.13898/j.cnki.issn.2097-5252.2025.09.015.

[8] 张玉芳. 颈动脉超声评估颈动脉粥样硬化斑块易损性的临床应用研究[J]. 内蒙古医学杂志,2016,48(4):410-412. doi:10.16096/J.cnki.nmgyxzz.2016.48.04.010.

[9] Chrencik MT, Khan AA, Luther L, et al. Quantitative assessment of carotid plaque morphology (geometry and tissue composition) using computed tomography angiography[J]. J Vasc Surg, 2019, 70(3): 858-868. doi:10.1016/j.jvs.2018.11.050.

[10] Pakizer D, Kozel J, Elmers J, et al. Carotid plaque characteristics by computed tomography: a diagnostic accuracy systematic review[J]. Int J Cardiol Heart Vasc, 2025, 58: 101656. doi: 10.1016/j.ijcha.2025.101656.

[11] Saba L, Sanfilippo R, di Martino M, et al. Volumetric analysis of carotid plaque components and cerebral microbleeds: a correlative study[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2017, 26(3): 552-558. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2016.11.123.

[12] Aizaz M, Bierens J, Gijbels MJJ, et al. Differentiation of atherosclerotic carotid plaque components with dual-energy computed tomography[J]. Invest Radiol, 2025, 60(8): 508-516. doi: 10.1097/RLI.0000000000001153.

[13] Arasu R, Arasu A, Muller J. Carotid artery stenosis: an approach to its diagnosis and management[J]. Aust J Gen Pract, 2021, 50(11): 821-825. doi:10.31128/AJGP-10-20-5664.

[14] Kosmopoulos M, Rojas-Salvador C, Koukousaki D, et al. The link between carotid artery stenosis and outcomes in patients with refractory out-of-hospital cardiac arrest[J]. Resuscitation, 2024, 201: 110289. doi:10.1016/j.resuscitation.2024.110289.

[15] Saba L, Saam T, Jäger HR, et al. Imaging biomarkers of vulnerable carotid plaques for stroke risk prediction and their potential clinical implications[J]. Lancet Neurol, 2019, 18(6): 559-572. doi:10.1016/S1474-4422(19)30035-3.

[16] 中华医学会放射学分会头颈放射学组. 头颈部CT血管成像扫描方案与注射方案专家共识[J]. 中华放射学杂志,2019,53(5):348-353. doi:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.05.003.

[17] 王碧昊. CTA与MRI评估无症状性颈动脉狭窄及其临床关联[J]. CT理论与应用研究,2019,28(6):763-769. doi:10.15953/j.1004-4140.2019.28.06.10.

[18] Brinjikji W, Huston J 3rd, Rabinstein AA, et al. Contemporary carotid imaging: from degree of stenosis to plaque vulnerability[J]. J Neurosurg, 2016, 124(1): 27-42. doi:10.3171/2015.1.jns142452.

[19] Baradaran H, Foster T, Harrie P, et al. Carotid artery plaque characteristics: current reporting practices on CT angiography[J]. Neuroradiology, 2021, 63(7): 1013-1018. doi: 10.1007/s00234-020-02610-w.

(编辑:贺绍梅)