doi:10.11659/jjssx.11E025031

·临床研究·

超声与CT血管成像检查对颈动脉斑块的诊断比较

张 科[1],唐中才[1],陈 颖[1],易照雄[1],柏艳红[1],李雅芬[2] (1.西安交通大学医学部附属三二〇一医院超声医学科,陕西 汉中 723000;2.西安交通大学医学部,陕西 西安 710000)

[摘 要] **目的** 比较超声与CT血管成像(CTA)在无症状人群颈动脉斑块中的检出效能。**方法** 纳入2022年3月至2023年3月我院86例无症状体检者,同期行颈动脉超声与颈动脉-冠状动脉联合CTA检查。由2名经验丰富的医师独立完成超声图像分析并评估观察者内及观察者间的一致性,超声检测颈动脉斑块及内中膜厚度(IMT);CTA量化分析颈动脉与冠状动脉斑块的位置、体积及成分。**结果** 超声对颈动脉斑块检出及总斑块体积评估的观察者内、观察者间一致性均为良好(*Kappa*值0.63~0.79)。以CTA为金标准,超声对颈动脉斑块的检出率为18.60%,显著低于CTA的32.56%(χ^2=4.72,*P*=0.030)。超声检出组钙化斑块占比显著高于超声未检出组,低密度非钙化斑块占比显著低于超声未检出组,差异均有统计学意义(*P*<0.05)。超声检测的颈动脉IMT与CTA检测的颈动脉斑块总体积呈正相关(*r*=0.58,*P*<0.001)。超声检出组与超声未检出组冠状动脉斑块检出率无显著差异(*P*>0.05)。**结论** 超声对无症状人群颈动脉斑块存在明显低估,尤其易漏诊分叉处的低密度非钙化易损斑块。临床应采用分层诊断策略,结合两种检查方法以提高诊断准确性及心血管风险评估的可靠性。

[关键词] 颈动脉斑块;CT血管成像;超声检查;动脉粥样硬化

[中图分类号] R543.4;R445.1 [文献标志码] A [收稿日期] 2025-11-06

Comparison of ultrasound and CT angiography examination in the diagnosis of carotid plaque

ZHANG Ke[1], TANG Zhong-cai[1], CHEN Ying[1], YI Zhao-xiong[1], BAI Yan-hong[1], LI Ya-fen[2] (1. Department of Ultrasound Medicine, Affiliated 3201 Hospital of Medical College of Xi′an Jiaotong University, Hanzhong Shaanxi 723000, China; 2. Medical College of Xi′an Jiaotong University, Xi′an Shaanxi 710000, China)

Abstract: Objective To compare the detection efficacies of ultrasound and CT angiography (CTA) for carotid plaques in asymptomatic populations. **Methods** A total of 86 asymptomatic individuals undergoing physical examination from March 2022 to March 2023 in our hospital were enrolled and underwent concurrent carotid ultrasound and combined carotid-coronary CTA. Ultrasound image analysis was independently performed by two experienced physicians, and intra-observer and inter-observer consistency were evaluated. Ultrasound was used to evaluate carotid plaques and intima-media thickness (IMT). CTA was used to quantitatively analyze the location, volume, and composition of carotid and coronary plaques. **Results** The intra-observer and inter-observer consistency of ultrasound for carotid plaque detection and total plaque volume assessment were both good (*Kappa* value ranged from 0.63 to 0.79). Taking CTA as the gold standard, the detection rate of carotid plaques by ultrasound was 18.60%, which was significantly lower than that of 32.56% by CTA (χ^2=4.72, *P*=0.030). The proportion of calcified plaques in the ultrasound-detected group was significantly higher than that in the ultrasound-undetected

[基金项目] 国家自然科学基金青年基金(82303682)

[通信作者] 柏艳红,E-mail:1203825466@qq.com

[12] 王秀丽,张东芳,闫 露,等.不同清洗方式对硬式内镜手术器械清洗质量的影响[J].河南外科学杂志,2025,31(4):84-86.doi:10.16193/j.cnki.hnwk.2025.04.049.

[13] 廖冰青,任晓梅,魏静蓉,等.不同清洗用水对手术器械去污能力的实验研究[J].局解手术学杂志,2025,34(7):610-613.doi:10.11659/jjssx.07E024032.

[14] 施俊彦,隋铭皓.反渗透浓水回收金属资源的研究进展[J].水处理技术,2025,51(3):17-22.doi:10.16796/j.cnki.1000-3770.2025.03.003.

[15] 魏静蓉,李 斌.三级医院手术器械消毒供应用水系统的设计[J].局解手术学杂志,2015,24(6):637-640.doi:10.11659/jjssx.10E015144.

[16] 王岳娜,任顾群,李海青,等.回收反渗透制水机浓水用于器械清洗的研究[J].中国消毒学杂志,2021,38(8):564-566.doi:10.11726/j.issn.1001-7658.2021.08.002.

[17] 刘 辉,陈 靖,郭子琪,等.全面成本控制管理在消毒供应中心的应用效果[J].医疗装备,2024,37(14):32-35.doi:10.3969/j.issn.1002-2376.2024.14.009.

[18] Shamshurina NG, Prisyazhnaya NV, Pavlova YV, et al. Legal and economic problems of improvement of the control system of the medical waste[J]. Gigiena I Sanitariia, 2020, 99(7): 656-662.

[19] 钱六五,陶 然,王 磊,等.消毒供应中心设计分析——以某国家区域医疗中心为例[J].安徽建筑,2025,32(9):23-24.doi:10.16330/j.cnki.1007-7359.2025.9.07.

(编辑:魏 源)

group, whereas the proportion of low-density non-calcified plaques was significantly lower than that in the ultrasound-undetected group, with statistically significant differences (P<0.05). The carotid IMT measured by ultrasound was positively correlated with total carotid plaque volume detected by CTA (r=0.58, P<0.001). There was no significant difference in the detection rate of coronary plaques between the ultrasound-detected group and ultrasound-undetected group (P>0.05). **Conclusion** Ultrasound significantly underestimates carotid plaques in asymptomatic individuals, and is particularly prone to missing low-density non-calcified vulnerable plaques at the bifurcation. Clinically, A stratified diagnostic strategy should be adopted, and combining both ultrasound and CTA examination methods can improve diagnostic accuracy and the reliability of cardiovascular risk assessment.

Keywords: carotid plaques; CT angiography; ultrasound examination; atherosclerosis

超声检查因操作简便，无需使用造影剂且无放射暴露，已成为筛查颈动脉粥样硬化的首选方法[1-2]，但其在颈动脉斑块成分的详细描述方面仍存在不足。颈动脉斑块成分、斑块表面溃疡和斑块内出血间的关系较为复杂，相关研究结果也不相同[3]。与血管内超声相比，CT血管成像（CT angiography,CTA）技术在冠状动脉斑块特征显示方面具有更高的重复性[4-5]。另有研究表明，在无冠状动脉疾病史的人群中，冠状动脉斑块成分仍可用于预测不良心血管结局[6]。

颈动脉与冠状动脉均为全身动脉粥样硬化的关键受累部位，高血压、高血脂等均是其发生的危险因素，病理基础为脂质沉积与炎症反应。目前，关于颈动脉斑块的CTA成分特征、其与冠状动脉斑块成分及负荷的关联，以及颈动脉管壁改变间关系相关研究较少[7]。因此，本研究通过CTA对无症状受试者的颈动脉斑块特征进行量化分析，并与超声结果、CTA冠状动脉斑块成分结果进行对比，以期为临床颈动脉斑块的诊断提供参考。

1 资料与方法

1.1 临床资料

纳入2022年3月至2023年3月我院86例接受健康评估的无症状体检者，其中男51例、女35例，平均年龄（43.17±11.30）岁。纳入标准：年龄18~75岁；因健康体检自愿接受颈动脉超声、CTA检查及相关临床评估。排除标准：存在超声或CTA检查禁忌证，如对造影剂过敏、幽闭恐惧症等；既往有颈动脉狭窄、颈动脉夹层等颈动脉相关疾病史；既往颈动脉手术史；合并急性感染、自身免疫性疾病、恶性肿瘤等可能影响血管病变评估的疾病；合并心血管疾病或糖尿病；合并肾功能不全（肾小球滤过率<45 mL/min或血肌酐浓度>140 μmol/L）；体质量指数>35 kg/m^2；合并心房颤动。本研究经我院伦理委员会批准（批准号：2022014），参与者均对本研究知情同意。

1.2 方法

1.2.1 颈动脉超声检查 所有颈动脉超声检查均由2名具有5年以上心血管超声检查经验的主治医师完成，操作前均接受统一标准化培训，严格遵循《颈动脉超声检查指南》规范操作。检查结束后，2名医师独立分析图像，若存在分歧，由具有10年以上经验的科室副主任医师进行仲裁，确保结果一致性。采用飞利浦iE33高分辨率B型心血管超声系统，结合Q-LAB软件进行数据分析。记录颈总动脉及颈动脉分叉处的水平位与纵向位图像，覆盖近端、中端、远端3个节段。在每次记录的舒张末期进行内中膜厚度（intima-media thickness,IMT）测定，严格选取颈总动脉及颈动脉分叉处远壁无斑块区域，每个部位连续测量3次，取平均值作为最终IMT。颈动脉斑块的超声诊断标准参照《中国颈动脉超声检查指南（2020版）》[8]：①病灶处血管壁厚度较相邻正常血管壁增加≥50%；②局部IMT≥1.5 mm。满足以上任一标准即可判定为颈动脉斑块。超声检查指标包括：颈总动脉、颈动脉分叉处、颈内动脉及颈外动脉各节段的斑块数量、位置，斑块回声类型（强回声钙化斑块、等回声非钙化斑块、低回声低密度非钙化斑块），以及颈动脉斑块总体积。

1.2.2 冠状动脉钙化评估 采用飞利浦64层CT扫描仪进行冠状动脉钙化扫描[9]。采集受试者吸气屏气状态下的扫描数据。所有图像由2名具有8年以上经验的心血管CT主任医师采用独立盲法分析，Agatston评分差异>10%时共同复核。

1.2.3 颈动脉与冠状动脉CTA联合检查 采用西门子Definition Flash双源CT扫描仪进行颈动脉-冠状动脉联合CTA检查，造影剂选用碘普罗胺（Optiray 350），注射速率4.5~5.0 mL/s，总量60~80 mL，采用回溯性心电门控重建，重建层厚0.625 mm。CTA量化分析指标：颈动脉斑块位置（颈总动脉、颈动脉分叉处、颈内动脉、颈外动脉）、数量、总体积、成分（CT值界定：钙化斑块≥130 HU、非钙化斑块20~129 HU、低密度非钙化斑块<20 HU）；冠状动脉斑块数量、体积、成分及Agatston钙化评分。

1.3 统计学方法

数据采用SPSS 26.0统计学软件进行分析。符合正态分布的连续变量以均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，采用t检验；不符合正态分布的连续变量以中位数（四分位间距）[$M(Q_1,Q_3)$]表示，采用*Mann-Whitney U*秩次检验。

二分类变量以率(%)表示,采用*Fisher*精确检验。相关性分析采用*Spearman*等级相关检验。采用*Bland-Altman*图评估观察者内及观察者间对斑块总体积测量的一致性,采用*Kappa*统计量评估斑块检出的一致性,采用*Spearman*等级相关分析IMT与斑块体积的相关性。以$P<0.05$为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 观察者在超声检查中的一致性分析

观察者在超声检出颈动脉斑块中的一致性良好(观察者内$r=0.63$,$P<0.01$,*Kappa*值为0.63;观察者间$r=0.71$,$P<0.01$,*Kappa*值为0.67)。观察者在超声检测颈动脉斑块总体积中的一致性良好(观察者内$r=0.97$,$P<0.001$,*Kappa*值为0.79;观察者间$r=0.95$,$P<0.0001$,*Kappa*值为0.79)。

2.2 超声与CTA检出颈动脉斑块的结果

CTA共检出颈动脉斑块28例(32.56%),其中颈动脉分叉处17例(60.71%),颈内动脉6例(21.43%),颈总动脉5例(17.86%);共检出冠状动脉斑块21例(24.42%),平均Agatston钙化评分为(18.72±12.54)分。以CTA检查结果为金标准,超声对无症状人群颈动脉斑块的检出率为18.60%,显著低于CTA的32.56%($\chi^2=4.72$,$P=0.030$)。相关性分析显示,超声检测颈动脉IMT与CTA检测的颈动脉斑块总体积呈正相关($r=0.58$,$P<0.001$)。

2.3 颈动脉斑块与冠状动脉斑块成分对比分析

以CTA斑块成分分析为依据,超声检出组与超声未检出组颈动脉斑块成分存在显著差异:超声检出组钙化斑块占比更高,低密度非钙化斑块占比更低,差异均有统计学意义($P<0.05$);2组非钙化斑块占比及颈动脉斑块总体积比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。2组冠状动脉斑块检出情况及冠状动脉斑块总体积比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),见表1。

表1 超声检出组与超声未检出组颈动脉及冠状动脉斑块成分对比

指标		超声未检出组(n=13)	超声检出组(n=15)	t/Z	P
颈动脉斑块	低密度非钙化斑块占比(%)	82.10±5.30	74.30±6.10	3.52	0.020
	非钙化斑块占比(%)	6.80±2.10	5.70±1.90	1.37	0.180
	钙化斑块占比(%)	11.10±3.20	20.00±4.50	−5.89	0.010
	斑块总体积(mm^3)	226.50±102.30	317.70±189.20	−0.96	0.340
冠状动脉斑块	斑块检出率[例(%)]	3(23.08)	4(26.67)	-	1.000
	斑块总体积(mm^3)	12.35(7.21,21.48)	15.62(8.93,25.76)	−0.78	0.435
	Agatston钙化评分(分)	15.23(8.76,24.51)	19.87(10.32,28.64)	−0.65	0.516

-:*Fisher*精确检验

3 讨论

目前,通过超声测量颈动脉IMT以评估颈动脉粥样硬化,并据此预测心脑血管疾病(尤其是脑血管疾病)发生的方法已广泛应用[10]。但超声检查可能因可视化血管节段、扫描角度的选择、颈动脉斑块的定义以及IMT的临界值不同而存在差异[11]。本研究通过对比超声与CTA对无症状人群颈动脉斑块的诊断效能,明确两种方法的优势与不足,旨在为临床制定合理的分层诊断策略提供依据,从而提高无症状人群心血管风险评估的准确性。本研究发现漏诊斑块位于颈动脉分叉处,这主要是由于颈动脉分叉处血管走行迂曲、血流动力学复杂,超声声束难以垂直射入血管壁,导致小斑块及位于血管侧壁的斑块易被遗漏[10,12]。此外,本研究发现超声检出组钙化斑块占比显著高于超声未检出组,而低密度非钙化斑块占比显著低于超声未检出组。这一结果提示,超声对高密度钙化斑块的识别能力较强,因为钙化组织与周围软组织的声阻抗差异大,在超声图像上表现为强回声伴后方声影,易于辨认;但对低密度非钙化斑块的检出存在明显不足,这类斑块与正常血管壁的声阻抗差异小,超声难以区分,而低密度非钙化斑块正是导致斑块破裂、引发急性缺血性脑卒中的主要易损斑块类型[11]。因此,单纯依靠超声筛查可能会显著低估无症状人群的心血管风险。

本研究结果显示,超声检查对颈动脉斑块的检出存在低估现象,这导致超声证实存在颈动脉斑块的参与者,其钙化斑块的检出率显著高于未检出斑块的参与者[13]。目前,采用多普勒超声评估颈动脉血流动力学仍面临挑战,而CT在颈动脉评估中的应用价值仍需进一步研究证实[14-15]。当前指南不建议对普通人群中的无症状受试者进行颈动脉CTA筛查,故本研究结果能否推广至颈动脉斑块的大规模CTA筛查,仍需更多研究探索[16]。超声与CTA在颈动脉斑块诊断中各有优劣,具有互补性。二者的相同点在于均能有效检出体积较大的钙化斑块,且对颈动脉斑块总体积的评估具有较好的一致性,可用于评估动脉粥样硬化负荷[17-18]。不同点主要体现在以下几个方面:①检出能力。CTA空间分辨率更高,能清晰显示颈动脉全程,尤其对颈动脉分叉处、颈内动脉颅内段的小斑块检出率显著高

于超声。②成分评估。CTA可通过CT值准确定量斑块成分,区分低密度非钙化斑块与正常血管壁,而超声对低回声斑块的识别能力有限。③安全性与实用性。超声无创、无辐射、费用低,适合大规模人群筛查;CTA需使用碘造影剂,有辐射,不适合作为常规筛查手段[19-20]。

综上所述,本研究显示:超声对无症状人群颈动脉斑块存在明显低估,漏诊率接近50%,且漏诊斑块多为位于颈动脉分叉处的低密度非钙化易损斑块;而超声对钙化斑块的识别能力较好,但对低密度非钙化斑块的检出能力不足;超声检测的IMT与CTA检测的斑块总体积呈正相关,可在一定程度上反映动脉粥样硬化负荷。基于上述结论,建议临床应采用分层诊断策略:对于普通无症状人群的初步筛查,仍首选无创、无辐射、费用低廉的超声检查;但对于超声结果可疑,存在高血压、高血脂、吸烟等心血管高危因素,或拟行心血管手术评估的患者,应进一步行CTA检查,明确斑块的位置、大小及成分,以准确评估心血管风险,预防急性心脑血管事件的发生。未来可开展多中心、大样本量的前瞻性研究,进一步验证两种检查方法的联合应用价值,并探索人工智能辅助诊断技术在提高超声斑块检出率中的作用。

[参考文献]

[1] 丁瑞雪,伍红瑜,李意奇,等. 银丹心脑通软胶囊通过抑制CaN/NFATc3信号通路改善球囊损伤所致大鼠颈动脉血管内膜增生[J]. 遵义医科大学学报,2023,46(1):14-20. doi:10.14169/j.cnki.zunyixuebao.2023.0003.

[2] 周智慧,邹坤香,黄秀婷,等. 颈动脉超声成像技术对卒中高危患者动脉粥样硬化斑块特征的评估价值[J]. 影像技术,2025,37(5):68-73. doi:10.3969/j.issn.1001-0270.2025.05.12.

[3] Trovato GM. Taking care of the clues already under our eyes: early carotid plaque ultrasound detection may enlighten the age-old paradigm shift of glomerular hyperfiltration[J]. Atherosclerosis,2023,369:112-113. doi:10.1016/j.atherosclerosis.2023.02.015.

[4] 杨彩凤,邓婵翠,夏 洁,等. 冠状动脉周围脂肪组织衰减对冠心病患者主要心血管不良事件的预测能力分析[J]. 遵义医科大学学报,2024,47(12):1201-1209. doi:10.14169/j.cnki.zunyixuebao.2024.0161.

[5] 王 辉,王书健. 不同性别动脉粥样硬化患者的冠状动脉CTA特征差异研究[J]. 影像科学与光化学,2025,43(2):55-59. doi:10.7517/issn.1674-0475.2025.02.08.

[6] Qian C,Su E,NI X. Learning-based initialization for correntropy-based level sets to segment atherosclerotic plaque in ultrasound images[J]. Ultrasonics,2023,127:106826. doi:10.1016/j.ultras.2022.106826.

[7] Brooks SC,Sivilotti M,Hetu MF,et al. Focused carotid ultrasound to predict major adverse cardiac events among emergency department patients with chest pain[J]. CJEM,2023,25(1):81-89. doi:10.1007/s40368-022-00764-5.

[8] 国家卫生健康委员会脑卒中防治专家委员会血管超声专业委员会,中国超声医学工程学会浅表器官及外周血管超声专业委员会,中国超声医学工程学会颅脑及颈部血管超声专业委员会. 头颈部血管超声若干问题的专家共识(颈动脉部分)[J]. 中国脑血管病杂志,2020,17(6):346-352. doi:10.3969/j.issn.1672-5921.2020.06.013.

[9] Su SS,Li LY,Wang Y,et al. Stroke risk prediction by color Doppler ultrasound of carotid artery-based deep learning using Inception V3 and VGG-16[J]. Front Neurol,2023,14:1111906. doi:10.3389/fneur.2023.1111906.

[10] Mazzaccaro D,Giannetta M,Fancoli F,et al. Role of preoperative ultrasound shear-wave elastography and radiofrequency-based arterial wall tracking in assessing the vulnerability of carotid plaques: preliminary results[J]. Diagnostics (Basel),2023,13(4):805. doi:10.3390/diagnostics13040805.

[11] Elbuken G,Aydin C,Ozturk BO,et al. B-mode ultrasound assessment of carotid artery structural features in patients with normocalcaemic hyperparathyroidism[J]. Endokrynol Pol,2023,74(1):67-73. doi:10.5603/EP.a2023.0008.

[12] Zhou R,Ou Y,Fang X,et al. Ultrasound carotid plaque segmentation via image reconstruction-based self-supervised learning with limited training labels[J]. Math Biosci Eng,2023,20(2):1617-1636. doi:10.3934/mbe.2023076.

[13] Li Q,Cai M,Wang H,et al. Diagnostic performance of contrast-enhanced ultrasound and high-resolution magnetic resonance imaging for carotid atherosclerotic plaques: a systematic review and meta-analysis[J]. J Ultrasound Med,2023,42(3):739-749. doi:10.1002/jum.16124.

[14] Han Y,Ren L,Fei X,et al. Association between carotid intraplaque neovascularization detected by contrast-enhanced ultrasound and the progression of coronary lesions in patients undergoing percutaneous coronary intervention[J]. J Am Soc Echocardiogr,2023,36(2):216-223. doi:10.1016/j.echo.2022.10.015.

[15] Cheng L,Zheng S,Zhang J,et al. Multimodal ultrasound-based carotid plaque risk biomarkers predict poor functional outcome in patients with ischemic stroke or TIA[J]. BMC Neurol,2023,23(1):13. doi:10.1186/s12883-022-03047-9.

[16] Jamthikar A,Gupta D,Johri AM,et al. A machine learning framework for risk prediction of multi-label cardiovascular events based on focused carotid plaque B-mode ultrasound: a Canadian study[J]. Comput Biol Med,2022,140:105102. doi:10.1016/j.compbiomed.2022.105102.

[17] Xie J,Li Y,Xu X,et al. CPTV: classification by tracking of carotid plaque in ultrasound videos[J]. Comput Med Imaging Graph,2023,104:102175. doi:10.1016/j.compmedimag.2023.102175.

[18] Guo Y,Wang X,Wang L,et al. The value of superb microvascular imaging and contrast-enhanced ultrasound for the evaluation of neovascularization in carotid artery plaques[J]. Acad Radiol,2023,30(3):403-411. doi:10.1016/j.acra.2022.09.016.

[19] Deng C,Adu J,Xie S,et al. Automatic segmentation of ultrasound images of carotid atherosclerotic plaque based on Dense-UNet[J]. Technol Health Care,2023,31(1):165-179. doi:10.3233/THC-220651.

[20] Dimas GG,Zilakaki M,Giannopoulos A,et al. Assessment of atherosclerosis in ischemic stroke by means of ultrasound of extracranial/intracranial circulation and serum,urine,and tissue biomarkers[J]. Curr Med Chem,2023,30(10):1107-1121. doi:10.2174/0929867329666220615113824.

(编辑:龙小芬)