

论 著

AI辅助CTA成像评估冠状动脉狭窄及斑块性质的价值*

冯 柯¹ 曾春梅² 吕 意¹
黄天勤¹ 莫鸿忠^{1*}1.玉林市第一人民医院放射科
2.玉林市第一人民医院心内科
(广西玉林 537000)

【摘要】目的 分析人工智能(AI)辅助计算机断层扫描血管造影技术(CTA)成像评估冠状动脉狭窄及斑块性质的价值。**方法** 回顾性分析2023年5月至2024年6月在我院进行检查的245例疑似冠状动脉狭窄患者的临床资料,所有患者均接受CTA及冠状动脉血管造影(ICA)检查,随后对影像学图像进行医师人工及AI分析,比较两组斑块性质检测结果、两组冠状动脉不同狭窄程度检出情况,以ICA结果作为诊断“金标准”,分析医师人工及AI判断冠状动脉中重度及以上狭窄程度的一致性。**结果** 两组斑块性质检测结果比较无明显差异($P>0.05$);两组冠状动脉不同狭窄程度检出情况比较无明显差异($P>0.05$);经一致性分析证实,医师人工判断冠状动脉中重度及以上狭窄程度的准确率88.16%、敏感度87.44%、特异度92.11%、阳性预测值98.37%、阴性预测值57.38%、Kappa值=0.638;经一致性分析证实,AI判断冠状动脉中重度及以上狭窄程度的准确率96.33%、敏感度96.62%、特异度94.74%、阳性预测值99.00%、阴性预测值83.72%、Kappa值=0.867。**结论** AI辅助CTA成像评估冠状动脉狭窄及斑块性质的临床诊断准确率、敏感度及特异性较高,值得临床推广。

【关键词】 人工智能;
计算机断层扫描血管造影技术;
冠状动脉狭窄;斑块性质;临床价值

【中图分类号】R543.5

【文献标识码】A

【基金项目】2023年度广西卫健委自筹经费
科研课题(Z-K20231764)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.02.025

Value of AI-assisted CTA Imaging in Assessing Coronary Artery Stenosis and Plaque Properties*

FENG Ke¹, ZENG Chun-mei², LV Yi¹, HUANG Tian-qin¹, MO Hong-zhong^{1*}.

1. Department of Radiology, the First People's Hospital of Yulin, Yulin 537000, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

2. Department of Cardiology, the First People's Hospital of Yulin, Yulin 537000, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

ABSTRACT

Objective To analyze the value of artificial intelligence (AI)-assisted computed tomography angiography (CTA) imaging in evaluating coronary artery stenosis and plaque properties. **Methods** The clinical data of 245 patients with suspected coronary artery stenosis who were examined in our hospital from May 2023 to June 2024 were retrospectively analyzed. All patients underwent CTA and coronary artery angiography (ICA) examination, and the imaging images were then analyzed by physician manual and AI. The results of plaque nature detection and the detection of different degrees of coronary artery stenosis between the two groups were compared, and ICA results were used as the diagnostic "gold standard" to analyze the consistency of artificial and AI judgments of moderate and above severe coronary artery stenosis. **Results** There was no significant difference between the two groups ($P>0.05$). There was no significant difference in the detection of coronary artery stenosis between the two groups ($P>0.05$). Consistency analysis proved that the accuracy, sensitivity, specificity, positive predictive value of 98.37%, negative predictive value of 57.38%, Kappa value of 0.638 were 88.16%, 87.44%, 92.11%, 98.37%, 57.38%, and 0.638 respectively. Consistency analysis confirmed that the accuracy of AI in judging the degree of moderate and severe coronary artery stenosis was 96.33%, sensitivity was 96.62%, specificity was 94.74%, positive predictive value was 99.00%, negative predictive value was 83.72%, and Kappa value was 0.867. **Conclusion** AI-assisted CTA imaging has high diagnostic accuracy, sensitivity and specificity in evaluating coronary artery stenosis and plaque properties, and is worthy of clinical promotion.

Keywords: Artificial Intelligence; Computed Tomography Angiography; Coronary Artery Stenosis; Plaque Nature; Clinical Value

冠状动脉狭窄是引发冠心病的主要原因,冠状动脉是心脏的主要供血血管,当这些血管发生狭窄或阻塞时,心脏的血液供应就会受到影响,从而引发一系列心脏问题,而冠状动脉狭窄通常是由于动脉粥样硬化斑块的形成和积累所导致的^[1]。动脉粥样硬化斑块主要由脂质、胆固醇、钙和其他物质组成,这些斑块在血管壁内逐渐积累,导致血管腔变窄,血流受阻,斑块的性质主要取决于其成分,包括脂质核心的大小、纤维帽的厚度以及炎症细胞的存在情况,因此进一步明确冠状动脉粥样硬化斑块性质,对于临床判断冠状动脉狭窄程度具有重要意义^[2]。计算机断层扫描血管造影技术(CTA)通过结合传统的CT扫描和血管造影技术,能够详细地显示血管结构及其周围组织的情况,在心血管疾病、脑血管疾病以及外周血管疾病的临床诊断和治疗中具有广泛的应用价值^[3]。近年来,随着人工智能(AI)技术的不断进步,其在医学影像领域的应用也日益广泛,可有效提高诊断的准确性的同时进一步缩短影像分析的时间,但将其用于辅助CTA成像评估的相关研究较少^[4]。故本研究将在既往研究基础上进一步分析AI辅助CTA成像评估冠状动脉狭窄及斑块性质的价值,以期临床诊断提供新的参考依据,现做如下报道。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2023年5月至2024年6月在我院进行检查的245例疑似冠状动脉狭窄患者的临床资料,男性137例,女性108例,年龄31~86岁,平均(58.64±10.33)岁;体质指数(BMI)21~28kg/m²,平均(24.93±2.21)kg/m²;合并症:糖尿病133例,高血压151例,高脂血症125例;既往病史:脑梗死85例,心肌梗死47例。本研究经我院医学伦理委员会批准通过(2023-022)。

纳入标准: (1)均接受CTA检查为疑似冠心病患者;(2)CTA图像清晰无伪影,图像质量符合临床诊断标准;(3)就诊前未服用调节心率药物;(4)年龄超过18岁;(5)临床资料完整。排除标准:(1)合并严重肝、肾功能障碍;(2)CTA图像治疗较差,无法用于临床诊断;(3)合并心律失常或严重心律不齐;(4)既往冠状动脉搭桥或支架置入手术史;(5)造影剂过敏患者;(6)临床资料缺失。

1.2 方法 CTA检查方法:检查前常规禁食4~6 h,清空胃肠道内残留食物,入室后患者呈仰卧位,使用双筒高压注射器经上肢静脉注射对比剂碘帕醇(370)或碘普罗胺(370)50-60mL,调整注射流率为5~5.5mL/s,主动脉根部为监测感兴趣区,使用西门子双源CT(Somatom Definition FLASH)或佳能320拍CT(Aquilion ONE TSE-305A)充分扫描气管隆突下至心脏膈面,设置各项扫描参数(电压120kV、电流120~300mA、

【第一作者】冯 柯,女,副主任医师,主要研究方向:心脏大血管放射影像诊断。E-mail: fengke6910@163.com

【通讯作者】莫鸿忠,男,主任医师,主要研究方向:胸部放射影像诊断。E-mail: mohongzhong5033@163.com

0.5mm~0.75mm层厚), 扫描时患者需要屏住呼吸, 以减少运动伪影, 确保图像质量, 将扫描后获取信息使用CTA-AI软件进行处理后由至少2位主任医师进行共同判断。冠状动脉血管造影(ICA)检查方法: 检查前8~12h禁食, 使用西门子或飞利浦数字减影血管造影机及5F血管内造影导管, 通过经皮穿刺桡动脉置入血管鞘采用标准的投照体位, 随后, 冠状动脉导管依次插入左、右冠状动脉, 通过多个投照角度对每支血管进行观察, 以确定是否存在狭窄及其程度, 评估工作由两位高年资医师独立进行。

1.3 观察指标 (1)比较两组斑块性质检测结果, 以ICA结果作为诊断“金标准”, 符合《冠状动脉钙化病变诊治中国专家共识》^[5], 根据斑块的CT值分析所有患者斑块性质, 若整个斑块区域的CT值大于130 HU, 且斑块区域表现出高密度的钙化成分则为钙化斑块; 若斑块区域的CT值较低, 整个斑块区域没有任何钙化成分则为非钙化斑块; 若斑块区域包含至少两种不同的斑块成分, 且至少有一种成分是钙化成分, 表现出相对均匀的密度则为混合斑块。(2)比较两组冠状动脉不同狭窄程度检出情况, 以ICA结果作为诊断“金标准”, 临床指南^[5]将冠状动脉狭窄程度分为: 轻度狭窄(冠状动脉管腔内径缩小在1%至49%之间, 血流尚未受到显著影响); 中度狭窄(冠状动脉管腔内径缩小在50%至69%之间, 血流受到一定限制); 重度狭窄(冠状动脉管腔内径缩小在70%至99%之间, 血流严重受限); 完全闭塞(冠状动脉管腔完全闭塞, 血流完全中断)。(3)以ICA结果作为诊断“金标准”, 分析医师人工判断冠状动脉中重

度及以上狭窄程度的一致性。(4)以ICA结果作为诊断“金标准”, 分析AI判断冠状动脉中重度及以上狭窄程度的一致性。

1.4 统计学分析 采用SPSS 22.0统计学软件分析数据。计数资料以[例(%)]表示, 组间比较采用 χ^2 检验; 计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示, 组间比较采用独立样本t检验。一致性分析采用Kappa检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组斑块性质检测结果比较 两组斑块性质检测结果比较无明显差异($P > 0.05$), 见表1。

2.2 两组冠状动脉不同狭窄程度检出情况比较 两组冠状动脉不同狭窄程度检出情况比较无明显差异($P > 0.05$), 见表2。

2.3 医师人工判断冠状动脉中重度及以上狭窄程度的一致性分析 经一致性分析证实, 医师人工判断冠状动脉中重度及以上狭窄程度的准确率88.16%、敏感度87.44%、特异度92.11%、阳性预测值98.37%、阴性预测值57.38%、Kappa值=0.638, 见表3。

2.4 AI判断冠状动脉中重度及以上狭窄程度的一致性分析 经一致性分析证实, AI判断冠状动脉中重度及以上狭窄程度的准确率96.33%、敏感度96.62%、特异度94.74%、阳性预测值99.00%、阴性预测值83.72%、Kappa值=0.867, 见表4。

2.5 病例分析 见图1~8。

表1 两组斑块性质检测结果比较(个)

组别	例数	钙化斑块	非钙化斑块	混合斑块
医师组	245	275	281	245
AI组	245	282	294	257
χ^2		0.042		
P		0.979		

表2 两组冠状动脉不同狭窄程度检出情况比较[n(%)]

组别	例数	轻度	中度	重度	闭塞
医师组	245	29(11.84)	35(14.29)	74(30.20)	46(18.78)
AI组	245	33(13.47)	43(17.55)	77(31.43)	49(20.00)
χ^2		0.394			
P		0.941			

表3 医师人工诊断冠状动脉中重度及以上狭窄程度的一致性分析(n)

医师	金标准		合计
	阳性	阴性	
阳性	181	3	184
阴性	26	35	61
合计	207	38	245

表4 AI诊断冠状动脉闭塞的一致性分析(n)

AI	金标准		合计
	阳性	阴性	
阳性	200	2	202
阴性	7	36	43
合计	207	38	245



图1~2 治疗前: 左侧冠状动脉前降支近段可见长约40.4mm管壁毛糙段, 可见小点片状斑块影, 致管腔最窄处约狭窄60%; 左侧冠状动脉前降支近段硬化、中度狭窄(见图1)。治疗后: 左主干(LM)未见斑块及明显狭窄。左前降支(LAD)近段管壁可见节段性混合斑块, 管腔轻度狭窄约41%; 左前降支(LAD)中段可见高密度支架影, 长度约3.70cm, 支架通畅, 结构完整; 左前降支(LAD)远段未见斑块及明显狭窄(见图2)。

图3~4 治疗前: 左侧冠状动脉前降支近中段可见长约25.6mm管壁毛糙段, 可见小点片状非钙化斑块影及钙化影, 致管腔最窄处约狭窄24%; 左侧冠状动脉前降支硬化、轻度狭窄(见图3)。治疗后: 左前降支LAD(6段)管壁可见局限性非钙化斑块, 管腔轻微狭窄约20%; LAD(7段)可见高密度支架影, 长度约2.13cm, 未见斑块及明显狭窄; LAD(8段)未见斑块及明显狭窄(见图4)。

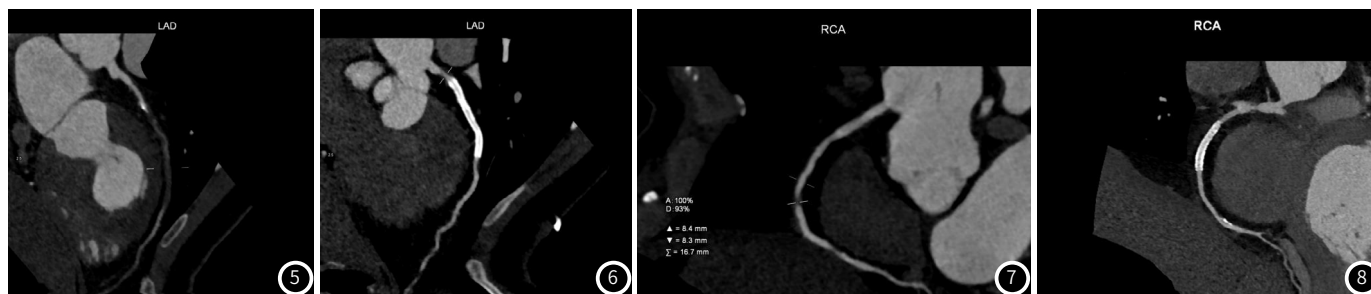


图5~6 治疗前:左侧冠状动脉前降支(LAD)近中段可见长约82mm未见造影剂充盈段、管壁毛糙,可见小点状钙化斑块影及长条状软斑块影,致管腔狭窄95%及以上(见图5)。治疗后:左侧冠状动脉前降支(LAD)近段见支架影,支架形态未见异常,未见变形、狭窄,造影剂未见渗出,支架近端、远端管壁毛糙,提示支架两端冠脉管腔狭窄(见图6)。

图7~8 治疗前:右侧冠状动脉中段可见长约9.7mm管壁毛糙段,可见小点片状软斑块影,致管腔最窄处约狭窄93%,远段可见长约14.2mm管壁毛糙段,可见小点片状软斑块影,致管腔最窄处约狭窄36%(见图7)。治疗后:右冠状动脉RCA(1段)管壁可见局限性钙化斑块,管腔轻微狭窄约10%;RCA(2段)可见高密度支架影,长度约2.56cm,支架通畅,远端显影好;RCA(3段)管壁可见局限性钙化斑块,管腔轻微狭窄约19%(见图8)。

3 讨论

冠状动脉狭窄是指心脏供血冠状动脉的管腔内径变窄,这一现象主要是由于动脉粥样硬化的斑块在血管壁上不断沉积、增厚所致,而根据斑块的成分,可以将其分为钙化斑块、非钙化斑块和混合斑块^[6]。其中钙化斑块通常表现为冠状动脉内壁的高密度影,此类斑块通常被认为是相对稳定的,因为钙化成分可以限制斑块的进一步生长和破裂;非钙化斑块则主要由脂质核心和纤维帽组成,其在影像学上表现为低密度影,这类斑块具有较高的不稳定性,容易发生破裂,从而引发血栓形成和急性冠脉综合征;混合斑块则同时包含钙化和非钙化成分,其影像学表现介于两者之间,混合斑块的临床处理较为复杂,需要综合考虑斑块的稳定性、狭窄程度以及患者的临床症状,因此尽早识别斑块性质,对于临床判断患者病情严重程度,制定治疗方案具有重要意义^[7-8]。

本次研究结果显示,两组斑块性质检测结果比较无明显差异。提示AI与医师人工辅助CTA成像评估冠状动脉粥样硬化患者斑块性质的检出率相当。医师通过多年的学习和实践经验,能够综合患者的临床症状、病史以及影像学资料,进行综合判断,然而,人工判断容易受到如疲劳、经验不足或认知偏差等主观因素的影响,进而导致诊断的不一致性^[9]。而AI可以通过分析CTA图像中的像素强度来区分钙化斑块和非钙化斑块,钙化斑块通常表现为高密度区域,而非钙化斑块则表现为低密度区域,AI算法能够自动识别这些区域,并计算出斑块的钙化分数,从而为临床决策提供重要依据^[10]。其次,AI还可以评估斑块的纤维帽厚度和脂质核心大小,纤维帽较薄且脂质核心较大的斑块更容易破裂,通过AI辅助的图像分析,医生可以更准确地识别这些高风险斑块,从而采取更为积极的治疗措施^[11]。另AI在评估斑块的炎症状态方面也显示出巨大潜力,炎症是斑块不稳定和破裂的重要因素之一,通过分析CTA图像中的纹理特征,AI可以识别出炎症活动较高的斑块区域,这些纹理特征包括斑块边缘的不规则性、斑块内部的异质性等,通过这些信息,AI可以帮助医生评估斑块的炎症程度,从而预测其斑块性质,进而提高诊断准确率^[12-13]。另研究结果显示,两组冠状动脉不同狭窄程度检出情况比较无明显差异,提示AI与医师人工辅助CTA成像评估冠状动脉狭窄程度的检出率相当。考虑是因AI系统将对CTA影像进行降噪、增强对比度和标准化图像格式等预处理,随后利用卷积神经网络(CNN)等深度学习模型,自动提取冠状动脉的特征,如血管边缘、钙化斑块和软斑块等,进一步识别狭窄区域,另AI系统能够识别出冠状动脉中的狭窄区域,并对其进行量化分析,AI系统会计算狭窄的长度、面积和狭窄程度,生成详细的报告供医生参考,除此之外AI辅助CTA成像还可以进行三维重建,提供直观的冠状动脉三维图像,进一步明确狭窄区域的空间位置和形态,提高临床判断狭窄程度的准确性^[14-15]。另笔者行一致性分析发现,医师人工判断冠状动脉中重度及以上狭窄程度的准确率88.16%、敏感度87.44%、特异度92.11%、阳性预测值98.37%、阴性预测值57.38%、Kappa值=0.638,而AI判断冠状动脉中重度及以上狭窄程度的准确率96.33%、敏感度96.62%、特异度94.74%、阳性预测值99.00%、阴性预测值83.72%、Kappa值=0.867,提示AI辅助CTA成像评估冠状动脉狭窄及斑块性质的价值更高,具有更高的准确率、敏感度及特异度。分析是因,AI能够通过深度学习算法,从大量的CTA图像数据中提取出细微的特征,从而实现了对冠状动脉狭窄程度和斑块性质的精确判断,AI辅助系统不仅能够识别出传统影

像学方法难以察觉的微小病变,还能通过多维度的数据分析,提供更为全面的诊断信息^[16-17]。此外,AI技术在处理图像的速度上具有显著优势,传统的人工评估方法需要放射科医师逐帧查看图像,耗时且容易受到主观因素的影响,而AI系统可以在短时间内分析大量数据,大大缩短了诊断时间,提高了临床工作效率,同时,AI辅助评估系统能够持续学习和优化,随着更多数据的积累,其诊断性能将不断提升,进一步提高其临床价值^[18-19]。

综上所述,AI辅助CTA成像评估冠状动脉狭窄及斑块性质的临床诊断准确率、敏感度及特异性较高,值得临床推广。

参考文献

- [1] 李子文, 蔺雅娟, 樊瑞, 等. 中青年冠心病患者中血清尿酸水平与冠状动脉狭窄程度的关系: 一项单中心回顾性研究[J]. 心血管病学进展, 2021, 42(12): 1136-1141, 1153.
- [2] 丁如, 孔丹, 冯云, 等. 冠状动脉周围脂肪CT值与斑块性质及所在分支的相关性研究[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(5): 850-855.
- [3] 王蔚, 厉位明, 刘彪, 等. CCTA在冠心病诊断及斑块性质评估中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(7): 80-82.
- [4] Earls J, Choi A, Barkovich E, et al. Artificial intelligence-enabled coronary ct angiography identifies significant atherosclerotic plaque volume and stenosis even in cases of no or minimal stenosis by invasive quantitative coronary angiography: a post-hoc analysis of the credence trial[J]. Journal of the American College of Cardiology, 2021, 77(1): 1440-1441.
- [5] 《冠状动脉钙化病变诊治中国专家共识》专家组. 冠状动脉钙化病变诊治中国专家共识(2021版)[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2021, 29(5): 251-259.
- [6] 陈敏, 侯洪伟, 王建, 等. 冠状动脉周围脂肪密度指数与代谢综合征组分及斑块参数关系分析[J]. 临床放射学杂志, 2023, 42(8): 1243-1249.
- [7] 王言慷, 勇强, 刘欣, 等. 冠状动脉病变程度与颈动脉粥样硬化斑块易损性相关性研究[J]. 中国超声医学杂志, 2019, 35(7): 601-604.
- [8] 李俊源, 唐春香, 刘通源, 等. 冠状动脉周围脂肪密度指数与斑块参数及血流储备分数关系分析[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(39): 3214-3220.
- [9] 邓以川, 李川, 颜小杭, 等. CT血管成像技术评估血液因子在冠状动脉硬化狭窄的相关性研究[J]. 实用放射学杂志, 2021, 37(4): 567-570, 602.
- [10] 刘洁, 欧阳烽, 吕联江, 等. 人工智能在头颈动脉粥样硬化斑块高分辨磁共振血管壁成像中的应用进展[J]. 磁共振成像, 2024, 15(7): 179-183.
- [11] 祁冬, 姚传顺, 胡淑敏, 等. 人工智能在冠状动脉CT血管成像图像后处理和冠状动脉狭窄诊断中的应用[J]. 江苏大学学报: 医学版, 2023, 33(4): 323-327.
- [12] 段慧, 韩丹, 江杰, 等. 人工智能冠状动脉周围脂肪参数测量的多中心研究[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(8): 1443-1450.
- [13] 赵艳红, 苏治祥, 张明文, 等. 人工智能在冠状动脉CT血管成像对冠心病诊断效能的研究[J]. 实用放射学杂志, 2023, 39(4): 557-560.
- [14] Nagy K, Jatsch A K, Fortner P, et al. The potential of artificial intelligence in the assessment of coronary artery stenosis in follow-up CT examinations[J]. European Heart Journal - Cardiovascular Imaging, 2024, 25(1): 45.
- [15] Omori H, Kawase Y, Mizukami T, et al. Diagnostic accuracy of artificial intelligence-based angiography-derived fractional flow reserve using pressure wire-based fractional flow reserve as a reference[J]. Circulation Journal, 2023, 87(6): 783-790.
- [16] 刘雨森, 惠品晶. 影像组学结合人工智能诊断颈动脉斑块及缺血性卒中的进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2024, 47(2): 154-159.
- [17] Dan Y L, Chun C C, Chieh F K, et al. Artificial intelligence evaluation of coronary computed tomography angiography for coronary stenosis classification and diagnosis[J]. European Journal of Clinical Investigation, 2024, 54(1): 14089-14089.
- [18] 赵福琳, 陈澜菁, 刘俊七, 等. 对比人工与人工智能图像后处理冠状动脉CT血管造影显示冠状动脉解剖及其病变[J]. 中国介入影像与治疗学, 2022, 19(12): 782-786.
- [19] Li Y, Wu Y, He J, et al. Automatic coronary artery segmentation and diagnosis of stenosis by deep learning based on computed tomographic coronary angiography[J]. European Radiology, 2022, 32(9): 6037-6045.

(收稿日期: 2024-11-02)

(校对编辑: 姚丽娜)