

论著

AI技术用于冠脉CTA对冠状动脉病变的诊断价值分析*

肖源 谭广毅 王琦*

华南理工大学附属第六医院心脏医学中心
(广东佛山 528200)

【摘要】目的 分析人工智能(AI)技术用于冠脉CT血管成像(CCTA)对冠状动脉病变的诊断价值。**方法** 选取2022年5月至2024年5月我院收治的100例疑似冠心病(CHD)患者,均接受CCTA检查和冠状动脉血管造影(CAG)检查,CCTA图像由高年资医师和AI冠状动脉辅助诊断软件进行处理,以CAG结果为金标准,评价AI辅助诊断软件对冠状动脉狭窄、狭窄程度及斑块性质的诊断效能。**结果** 100例患者可评价节段1290个,CAG诊断出冠脉狭窄517个,其中轻度狭窄162个,中度狭窄217个,中度狭窄123个,闭塞15个。以CAG为金标准,AI辅助诊断冠状动脉狭窄的准确率、敏感度、特异度、阳性和阴性预测值为96.05%、91.88%、98.84%、98.14%和94.79%,与CAG诊断一致性较高(Kappa=0.917);AI辅助诊断冠脉轻度狭窄、中度狭窄、重度狭窄、闭塞的符合率为95.68%、93.55%、83.74%、93.33%。医师诊断冠状动脉狭窄的准确率、敏感度、特异度、阳性和阴性预测值为96.28%、92.26%、98.97%、98.55%和94.91%,与CAG诊断一致性较高(Kappa=0.922);医师诊断冠脉轻度狭窄、中度狭窄、重度狭窄、闭塞的符合率为95.68%、93.55%、84.55%、100.0%。AI辅助诊断与医师诊断冠脉狭窄准确率、敏感度、特异度、阳性和阴性预测值及冠脉狭窄程度符合率比较无显著差异($P>0.05$)。医师诊断共检出斑块541个,其中钙化斑块161个,非钙化斑块237个,混合斑块143个。AI辅助诊断钙化斑块、非钙化斑块和混合斑块准确率为92.55%、85.65%、77.62%,AI和医师诊断解读CCTA识别斑块性质一致性较高(Kappa=0.776)。**结论** AI技术辅助CCTA诊断冠脉病变的价值较高,并对斑块性质具有良好的评估,是较好的辅助医师诊断冠脉病变的工具。

【关键词】 人工智能;冠脉CT血管成像;
冠状动脉病变;诊断

【中图分类号】 R543.5

【文献标识码】 A

【基金项目】 2022年佛山市自筹经费类
科技创新项目(医学类科技攻关
(2220001004419))

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.12.022

Diagnostic Value of AI Technology in Coronary CTA for Coronary Artery Lesions*

XIAO Yuan, TAN Guang-yi, WANG Qi*

Heart Medical Center, the Sixth Affiliated Hospital of South China University of Technology, Foshan 528200, Guangdong Province, China

ABSTRACT

Objective To analyze the diagnostic value of AI technology in CCTA for coronary artery lesions. **Methods** One hundred patients who were suspected of CHD and admitted to the hospital from May 2022 to May 2024 were selected. All of them underwent CCTA and CAG. CCTA images are processed by senior physicians and AI coronary aid diagnostic software. CAG results were used as the gold standard to evaluate the diagnostic efficacy of AI assisted diagnostic software for coronary artery stenosis, degree of stenosis, and nature of the plaque. **Results** Among 100 patients, there were 1,290 assessable segments. 517 segments of coronary artery stenosis were diagnosed by CAG, including 162 segments with mild stenosis, 217 segments with moderate stenosis, 123 segments with severe stenosis, and 15 segments with occlusion. 484 segments of coronary artery stenosis were diagnosed by CAG, including 160 segments with mild stenosis, 202 segments with moderate stenosis, 108 segments with severe stenosis, and 14 segments with occlusion. The accuracy, sensitivity, specificity, positive and negative predictive values of AI-assisted diagnosis of coronary artery stenosis were 96.05%, 91.88%, 98.84%, 98.14% and 94.79%. There was relatively high consistency between AI and CAG in diagnosing coronary artery stenosis (Kappa value=0.917). The coincidence rates of AI-assisted diagnosis of mild coronary stenosis, moderate stenosis, severe stenosis and occlusion were 95.68%, 93.55%, 83.74% and 93.33%. The accuracy, sensitivity, specificity, positive predictive value, positive predictive value, and negative predictive value were 96.28%, 92.26%, 98.97%, 98.55% and 94.91%, respectively, which were consistent with the diagnosis of CAG (Kappa=0.922). The coincidence rates of mild stenosis, moderate stenosis, severe stenosis and occlusion were 95.68%, 93.55%, 84.55% and 100.0%. There were no differences in accuracy, sensitivity, specificity, positive and negative predictive values and the coincidence rate of coronary artery stenosis degree between AI-assisted diagnosis and physician diagnosis of coronary artery stenosis ($P>0.05$). A total of 541 plaques were detected, including 161 calcified, 237 non-calcified, and 143 mixed plaques. The accuracy rates of AI-assisted diagnosis of calcified, non-calcified and mixed plaques were 92.55%, 85.65% and 77.62%. There was a high consistency between AI and physician diagnostic interpretation of CCTA in identifying plaque properties (Kappa=0.776). **Conclusion** AI technology has a high value in assisting CCTA in the diagnosis of coronary artery diseases, and has a good evaluation of plaque properties, which is a good tool to assist physicians in the diagnosis of coronary artery diseases.

Keywords: Artificial Intelligence; Coronary CT Angiography; Coronary Artery Lesion; Diagnosis

冠心病(CHD)是由冠状动脉供血不足导致的心肌缺血性疾病,已成为全球致死率最高的疾病之一,严重威胁患者生命^[1]。冠状动脉血管造影(CAG)是诊断冠状动脉狭窄金标准,但其有创性和高成本限制了其在常规筛查中的应用^[2]。冠脉CT血管成像(CCTA)作为非侵入性检查,能够清晰显示冠状动脉解剖结构,评估冠状动脉斑块性质,为CHD早期诊断和风险评估提供了重要信息,且还具有简便、可重复性好等优点,已成为筛查和诊断CHD重要工具^[3]。然而,CCTA技术原理相对复杂,且其扫描产生的图像数据较大,影像医师在后处理工作站上花费大量时间进行图像重建、调整、分析和判读,使其在日常工作中常处于精力下降状态,不但降低了工作效率,也增加了漏诊风险^[4]。近年来,人工智能(AI)技术逐渐应用于冠状动脉病变诊断中,其通过深度学习算法,能够自动分析CCTA图像,快速准确地识别冠状动脉狭窄和斑块,提供可靠诊断支持^[5]。目前国内关于AI技术用于CCTA中的报道较少,故本文以CAG为金标准,与医师诊断进行比较,探讨AI技术辅助CCTA对冠状动脉病变的诊断价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2022年5月至2024年5月收治的100例疑似CHD患者,其中男63例,女37例,年龄35~78岁,平均年龄(58.27±6.19)岁。

纳入标准: 患有可疑冠脉狭窄及血流动力学异常;均为首诊病例,行CCTA、CAG检查,2种检查时间间隔<2周;知情同意。排除标准: 肝肾功能不全;碘造影剂过敏;严重心律失常; CCTA图像血管伪影重,影响诊断者;冠脉支架植入或搭桥者。

1.2 检查方法

1.2.1 CCTA检查 西门子双源64排螺旋CT,取仰卧位,扫描范围:气管隆突下至心脏膈面水平,参数:管电压100kV,自动毫安控制技术,层厚0.625mm,层距5mm。双筒注射器经肘前静脉注射对比剂碘帕醇注射液,流率4~5mL/s,剂量0.8mL/kg体重,追加生理盐水40mL。对比剂智能追踪触发技术,监测点位于升主动脉管腔内,触发阈值60HU,延迟7s触发扫描,冠脉运动冻结技术重建获取冠脉成像最佳期相。

【第一作者】 肖源,男,主治医师,主要研究方向:冠心病、电生理与起搏、心力衰竭、高血压。E-mail: 13202914688@163.com

【通讯作者】 王琦,男,副主任医师,主要研究方向:冠心病及心律失常。E-mail: wangqi0225@126.com

1.2.2 CAG检查 Philips FD20数字血管造影机, 对比剂为碘帕醇, 经皮穿刺桡动脉或股动脉行冠脉造影, 明确冠脉病变情况, 每个体位注射对比剂4~6mL。

1.3 图像分析 按照国际心血管协会冠状动脉树18段分段法, 评估直径≥1.5mm冠脉节段。狭窄程度分为轻度(≤50%)、中度(50%~69%)及重度狭窄(70%~99%)和闭塞(100%)。斑块分为钙化、非钙化和混合斑块。AI设备为深睿医疗AI冠脉造影图像CT血管狭窄分析软件。AI接收最佳图像后进行分析、重建, 得到冠脉CTA图像后处理图像。由2位具有10年以上的医师评价CAG冠脉狭窄程度, 最终结果作为金标准, 斑块性质由2位医师结合CAG与CCTA结果作出最终诊断作为金标准。

1.4 统计学分析 采用SPSS 26.0软件分析数据, 计数资料以(n)表示, χ^2 检验, 以 $P < 0.05$ 为差异具有显著性。

2 结果

2.1 AI辅助和医师诊断冠状动脉狭窄与CAG对照 100例患者可评价节段1290个, CAG诊断出冠脉狭窄517个, 以CAG为金标准, AI辅助诊断为真阳性475个, 真阴性764个, 医师诊断为真阳性477个, 真阴性765个。Kappa分析显示, AI与CAG诊断

一致性较高(Kappa=0.917), 医师诊断与CAG诊断一致性较高(Kappa=0.922), 见表1。

表1 AI辅助和医师诊断冠状动脉狭窄与CAG对照(n)

诊断方式	CAG		合计	
	阳性	阴性		
AI诊断	阳性	475	9	484
	阴性	42	764	806
医师诊断	阳性	477	8	485
	阴性	40	765	805
合计	517	773	1290	

2.2 AI辅助和医师诊断冠状动脉狭窄的效能 AI辅助诊断冠状动脉狭窄的效能与医师诊断比较无显著差异($P > 0.05$), 见表2。

2.3 AI辅助和医师诊断冠状动脉狭窄程度结果比较 517个冠脉狭窄中, 轻度狭窄162个, 中度狭窄217个, 中度狭窄123个, 闭塞15个。以CAG为金标准, AI辅助与医师诊断冠状动脉狭窄程度符合率比较无显著差异($P > 0.05$), 见表3。

表3 AI辅助和医师诊断冠状动脉狭窄程度结果比较[%(n)]

诊断方式	轻度狭窄	中度狭窄	重度狭窄	闭塞
AI诊断	95.68%(155/162)	93.55%(203/217)	83.74%(103/123)	93.33%(14/15)
医师诊断	95.68%(155/162)	93.55%(203/217)	84.55%(104/123)	100.0(15/15)
χ^2	0.000	0.000	0.031	1.035
P	1.000	1.000	0.861	0.309

表2 AI辅助和医师诊断冠状动脉狭窄的效能[%(n)]

诊断方式	敏感度	特异度	阳性预测值	阴性预测值	准确率
AI诊断	91.88%(475/517)	98.84%(764/773)	98.14%(475/484)	94.79%(764/806)	96.05%(1239/1290)
医师诊断	92.26%(477/517)	98.97%(765/773)	98.55%(477/484)	94.91%(765/806)	96.28%(1242/1290)
χ^2	0.053	0.060	0.254	0.013	0.095
P	0.818	0.807	0.614	0.910	0.758

2.4 AI辅助和医师诊断冠状动脉斑块性质结果比较 医师诊断共检出钙化斑块161个, 非钙化斑块237个, 混合斑块143个。AI识别钙化、非钙化和混合斑块准确率为92.55%、85.65%、77.62%, 和医师诊断一致性较高(Kappa=0.776), 见表4。

表4 AI辅助和医师诊断冠状动脉斑块性质结果比较

诊断方式	医师诊断				合计	
	钙化斑块	非钙化斑块	混合斑块	无斑块		
AI诊断	钙化斑块	149	4	14	12	179
	非钙化斑块	2	203	11	2	218
	混合斑块	4	1	111	8	124
	无斑块	6	29	7	0	42
合计	161	237	143	22	563	





图1 男, 55岁, 反复胸闷1年, 图1A-1C分别为冠脉造影、AI辅助诊断后处理及医师后处理。

图2 女, 78岁, 反复胸闷30年, 再发加重2月, 图2A-2C分别为冠脉造影、AI辅助诊断后处理及医师后处理。

3 讨论

近年来, CHD发病率逐渐上升。据统计显示, CHD在全球范围内发病率约为14.4%, 其死亡率高于其他疾病, 包括恶性肿瘤, 且占比超过30%^[6]。CHD目前主要以药物、介入和手术治疗为主, 具体治疗策略需根据冠脉狭窄程度而定^[7]。因此, 准确评估CHD冠脉狭窄程度对于制定治疗方案和改善预后至关重要。

CAG是评价冠状动脉病变的金标准, 但因其有创性、操作复杂等因素, 限制了在临床上的应用^[8]。随着CT成像技术的不断进步, CCTA因无创、经济、准确等特点, 已成为检测冠状动脉疾病的手段, 能够评估冠脉解剖结构和病变情况^[9]。然而行CCTA检查后为了进一步的可视化和诊断, 需对CCTA图像进行重建后处理, 但目前对CCTA图像的后处理完全依赖于大量的人工工作, 易因长时间处理图像易产生疲劳, 且不同级别影像医生对冠脉狭窄的评判受临床经验、水平限制存在偏倚, 易生影响临床决策^[10-11]。近年来, AI技术在医疗影像分析中不断突破, 为CCTA诊断提供了新的解决方案。AI技术能够快速准确地完成冠脉自动分割、定位和特征提取, 减轻了医师工作负担, 且相比传统手工绘制分割线法, AI能更精准地描绘冠脉边界轮廓, 减少因主观因素造成的测量误差, 此外, AI技术能够基于大量临床病例数据, 学习提取冠状动脉斑块的纹理、密度等定量指标, 为疾病诊断提供依据^[12]。与人工读片相比, AI技术可定量分析, 降低了因医生经验和主观因素造成的诊断差异, 且还能够提供量化的病变严重程度评分, 为临床医生制定个性化的诊疗方案提供更有价值的信息^[13]。有报道显示, AI技术对阻塞性冠脉狭窄具有较好的诊断效能, 且可缩短后处理时间^[14]。本研究显示, AI辅助诊断冠脉狭窄准确率、敏感度、特异度、阳性和阴性预测值为96.05%、91.88%、98.84%、98.14%和94.79%, 与CAG诊断一致性较高(Kappa=0.917), 与祁冬等^[15]报道相近, 且与医师诊断比较无差异, 表明AI辅助CCTA诊断能够准确识别冠脉狭窄情况, 由于AI能够利用先进的深度学习算法从CCTA中提取出与冠状动脉狭窄相关的关键特征, 实现对冠状动脉狭窄的精确识别, 且不受医生主观经验、疲劳程度等因素的影响, 从而提高了诊断的可靠性。且AI辅助CCTA诊断冠脉轻度、中度重度狭窄和闭塞的符合率为95.68%、93.55%、83.74%、93.33%, 与医师诊断比较无差异, 表明AI辅助CCTA判断冠脉狭窄程度准确性高, 但仍有部分患者误诊, 这是由于AI在识别小血管病变方面存在局限性, 故导致部分病例误诊。此外, 结果显示, 医师诊断共检出钙化斑块161个, 非钙化斑块237个, 混合斑块143个, AI识别钙化、非钙化和混合斑块准确率为92.55%、85.65%、77.62%, 和医师诊断一致性较高(Kappa=0.776), 表明AI技术可较好识别冠脉斑块性质, 对监测CHD病情变化具有重要意义。

综上, AI技术用于CCTA能够提高对CHD患者冠脉狭窄和狭窄程度的诊断价值, 并可评估斑块性质, 减轻医师工作负担, 可作为CCTA诊断冠脉病变的辅助工具。

参考文献

- [1] 宋思育, 何廉旗, 胡庆薇, 等. 血清Lp-PLA2和ANGPTL8水平对冠心病及冠状动脉病变程度的诊断价值研究[J]. 重庆医学, 2023, 52(16): 2459-2464.
- [2] 苗珂, 葛洪, 夏蕾, 等. CT血管造影在冠状动脉狭窄程度及其斑块类型评估中的应用价值[J]. 实用心肺脑血管病杂志, 2022, 30(2): 116-119.
- [3] Serruys PW, Kotoku N, Nørgaard BL, et al. Computed tomographic angiography in coronary artery disease[J]. EuroIntervention, 2023, 18(16): e1307-e1327.
- [4] 马红丽, 任玉菊, 许磊, 等. 动态心电图, 超声及CTA对不同严重程度冠状动脉病变的诊断价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(5): 119-122.
- [5] 张晓浩, 刘军波, 范丽娟. 人工智能技术应用于冠状动脉CTA图像后处理的可行性[J]. 放射学实践, 2021, 36(8): 994-999.
- [6] Li M, Yuan DH, Yang Z, et al. Serum cystatin C, monocyte/high-density lipoprotein-C ratio, and uric acid for the diagnosis of coronary heart disease and heart failure[J]. World J Clin Cases, 2024, 12(18): 3461-3467.
- [7] Mortensen MB, Dzayez O, Bødtker H, et al. Interplay of risk factors and coronary artery calcium for CHD risk in young patients[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2021, 14(12): 2387-2396.
- [8] 马腾, 洪芳艳, 赵强. 冠状动脉CTA对患者冠脉狭窄程度, 分叉病变的诊断分析研究[J]. 影像科学与光化学, 2022, 40(2): 434-438.
- [9] 赵娜, 侯志辉, 安云强, 等. 基于冠状动脉CT血管成像的冠状动脉粥样硬化斑块量化特征及易损性的门诊队列研究[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(5): 467-473.
- [10] 施丽萍, 张亚平, 唐倩韵, 等. 人工智能辅助冠状动脉CT血管成像处理系统对临床工作效率影响的研究[J]. 中国医学创新, 2022, 19(26): 163-166.
- [11] 王娜娜, 李大胜, 张媛, 等. 人工智能在冠状动脉CTA诊断冠状动脉疾病中的应用价值[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2022, 20(3): 225-229.
- [12] 张添辉, 钟正, 黄志峰, 等. 冠脉CTA人工智能辅助阅片对不同年资规培医生工作效率影响的研究[J]. 影像研究与医学应用, 2023, 7(16): 11-14.
- [13] 王曼, 王怡宁, 于敏, 等. 人工智能成像优化技术在冠状动脉CT血管成像的初步应用研究[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(5): 460-466.
- [14] 刘春雨, 谢媛, 苏晓芹, 等. 基于人工智能的冠状动脉CT血管成像检测阻塞性冠状动脉狭窄效能的研究[J]. 国际医学放射学杂志, 2021, 44(5): 516-522.
- [15] 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.

(收稿日期: 2024-09-10)

(校对编辑: 翁佳鸿)