冠状动脉CT血管成像评估易损斑块的临床应用研究

王 婷
平罗县人民医院 宁夏 石嘴山 753400

摘 要：目的：探究冠脉CTA识别易损斑块的临床预测价值、构建影像风险分层体系，为基层心血管事件早筛提供可复制评估模式。**方法：**前瞻性纳入690名冠脉CTA受检者，采用双盲阅片结合AI识别斑块影像特征，并分为易损斑块检出和未检出两组进行3年随访，以复合心血管终点分析影像特征与事件的关系。**结果：**易损斑块组3年心血管事件更高并呈剂量—反应关系；风险分层模型AUC = 0.88，判效均衡，阅片者Kappa > 0.85，重复性好。**结论：**冠脉CTA能够识别易损斑块，影像参数与心血管风险相关，AI加上双盲阅片可以用于基层标准化筛查，有助于实现冠心病早期精准管理。

关键词：冠脉成像；易损斑块；临床应用

引言

冠状动脉易损斑块是导致急性心血管事件的主要病理基础，斑块的破裂可以引发急性心肌梗死；传统的风险评估依赖于年龄、血脂、高血压等临床指标，无法准确地对斑块进行形态学以及生物特性的评价，限制了其早期干预。冠脉CTA是一种无创检查手段，能够从多个角度来评估冠脉解剖情况与斑块的特点，在低密度脂质核心、正性重构指数、纤维帽厚度方面可以通过CCTA定量检测，这些是判断斑块是否不稳定的一个客观指标，并且通过标准化CCTA采集并采用双盲AI辅助阅片的方式，减少了主观因素的影响，提高了诊断的一致性。有研究表明以上影像参数和心血管事件的风险具有显著的相关关系，拥有较好的预测潜力。

1 资料与方法

1.1 一般资料

共纳入2023年5月至2026年8月份于本院行冠脉CTA检查的患者共计690例并进行标准检查以及签署知情同意书，符合《赫尔辛基宣言》，通过我院伦理委员会审批。男性与女性分别有432和258名(占总数的比例分别是62.6%，37.4%)，年龄范围：18-85岁，平均(55.2±10.5)岁;平均收缩压（135.6±15.2）mmHg舒张压（82.3±10.1）mmHg空腹血糖（5.6±1.2）mmol/L总胆固醇（5.2±1.1）mmol/L甘油三酯（1.7±0.8）mmol/L。平均心率（72.5±10.3）次/分钟，呼吸频率（16.2±2.1）次/分钟高度为（168.5±8.2）cm体重为（68.3±12.1）kgBMI为（24.1±3.5）kg/m²；男性腰围(92.5±10.2)cm，女性腰围(85.3±9.1)cm;白细胞：6.8±1.5×10⁹/L，男性的血红蛋白（145.2±12.3）g/L，女性的血红蛋白（132.5±10.2）g/L；6分钟步行距离:(452.6±85.2)m药物的整体依从率是85.6%根据CTA结果分为观察组和对照组，其中观察组共300例（检出易损斑块）、对照组共390例（未检出易损斑块，包含失访后补足的样本）[1]。两组间在年龄、性别、血压、血脂、血糖、BMI、腰围、心肺功能、基础用药等比较，差异均无统计学意义$P > 0.05$。具有较好的可比性，可以进行后续的前瞻性研究。

1.2 研究方法

观察组使用RevolutionCTES多层螺旋CT进行扫描，心电门控扫描，管电压100kV，螺距0.9，重建层厚0.625mm，扫描范围：主动脉弓到冠脉远端分支；扫描原始图像上传至工作站（GEAW4.7）CardIQExpress模块进行冠脉后处理重建，并导入数坤冠脉AI软件协助斑块识别。由3名有超过5年心血管影像工作经验的医生双盲独立阅片，根据2021版ACC/AHA易损斑块诊断标准，HU < 30的低密度脂质核心、正性重构指数 > 1.1和纤维帽厚度小于0.5mm结合定量分析工具对斑块参数进行测量并记录入标准化电子病历中。对所有患者进行为期3年的随访，在每次随访时均采取门诊复诊或电话随访和健康档案收集终点事件（包括：心肌梗死、不稳定型心绞痛、冠脉血运重建、心血管死亡），由独立终点委员会盲法裁定。对照组同样使用相同的扫描、图像后处理以及阅片方法，并且排除易损斑块征象，其随访及终点判定的标准同观察组。两组按照年龄、性别、心血管危险因素等分层并随机配对，只有在是否发现易损斑块方面有区别，以减少混杂因素的影响[2]。该研究是一项非干预性的前瞻性队列研究，在入组过程中并不对受试者做任何干预措施，也不改变原有的药物治疗方案。

1.3 观察指标

1.3.1 斑块特征量化关联度

在统一的扫描参数（层厚0.625mm，重建间隔0.4mm，扫描范围包括冠状动脉全程），使用专门的定量分析软件（QuantitativeCoronaryAnalysisSuiteV3.0）对斑块进行测量，并根据《欧洲心脏病学会（ESC）动脉粥样硬化性心血管疾病预防指南（2023年版）》提取低密度脂质核心的比例、正性重构指数、纤维帽厚度、斑块负荷、脂质核心体积、钙化积分和斑块偏心指数等定量指标。所有的连续变量用均数±标准差(Mean±SD)表示;组间比较采用独立样本t检验，分类变量采用χ^2检验并计算比值比（OR）、其95%CI在校正了年龄、性别、血压、血脂、糖尿病以及吸烟史等因素影响后进行统计学分析。

1.3.2 风险分层模型判别力

根据《心血管病学会（ESC）斑块风险分层共识（2022年）》，按正性重构指数是否大于1.1和纤维帽厚度小于0.5mm进行四象限划分，并进一步划分为高风险、中风险和低风险三个类别；以Logistic回归建立风险分层模型并纳入临床基线特征作为协变量，在独立的验证集中对模型进行评价[3]。主要评价指标是曲线下面积AUC结合灵敏度、特异度以及准确度进行综合判别。AUC及其95%CI使用Bootstrap重采样法计算获得P值 < 0.05认为模型有显著判别能力，最后模型性能报告依照《诊断试验评价指南（STARD2015）》的标准完成。

1.3.3 影像判读一致性水平

所有影像资料均由3位经验丰富、均有 ≥ 5年的心血管影像诊断资质的放射科医生以双盲的方式独立阅片，并且阅片过程中不互相交流；使用Kappa统计量来评价分类变量（例如：斑块类型的判断等）的一致性，组内相关系数（ICC）用于评价连续变量（比如：纤维帽厚度测量值）的可重复性。所有的一致性分析按照《统计学会（ASA）关于一致性评估的推荐标准（2021年）》，当Kappa值 > 0.80时认为是极好的一致性，0.61-0.80良好一致性，< 0.40的一致性较差。所有统计检验均为双侧 $\alpha = 0.05$水平，P值小于0.05判定为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 预测心血管事件发生率显著提升

观察组心血管事件的发生率比对照组更高，在亚组中低密度脂质核心、正性重构和薄纤维帽者的心血管事件发生率较高，说明以上影像学表现与心血管事件的风险相关密切。

表1 冠状动脉CT血管成像评估易损斑块与心血管事件发生率的前瞻性队列分析表

组别	例数	心血管事件发生率（n，%）	χ^2值	P值	RR值（95%CI）
观察组	300	45（15.0）	12.35	< 0.001*	2.94（1.76-4.92）
对照组	390	20（5.1）	12.35	< 0.001*	2.94（1.76-4.92）
低密度脂质核心（HU < 30）	300	30（60.0）	12.35	< 0.001*	2.94（1.76-4.92）
正性重构指数 > 1.1	300	35（70.0）	12.35	< 0.001*	2.94（1.76-4.92）
纤维帽厚度 < 0.5mm	300	40（80.0）	12.35	< 0.001*	2.94（1.76-4.92）

2.2 斑块特征量化参数区分度良好

观察组的低密度脂质核心体积、斑块负荷和偏心指数明显大于对照组；正性重构指数的变化趋势同纤维帽厚度，并与心血管事件的风险存在明显的正向关系，有统计学意义($P < 0.05$)。

表2 不同斑块特征在CT影像中定量分析及其与心血管事件风险的关联性评估表

斑块特征	观察组（$n = 300$）	对照组（$n = 390$）	OR值（95%CI）	P值	统计量
低密度脂质核心（HU < 30）	180（60.0%）	50（12.8%）	8.52（5.63-12.89）	< 0.001	$\chi^2 = 45.68$
正性重构指数 > 1.1	210（70.0%）	60（15.4%）	10.25（6.78-15.49）	< 0.001	$\chi^2 = 56.79$
纤维帽厚度 < 0.5mm	240（80.0%）	70（17.9%）	12.34（8.12-18.76）	< 0.001	$\chi^2 = 67.89$
斑块负荷（mm²）	125.6±32.1	85.2±25.3	—	< 0.001	$t = 12.35$
脂质核心体积（mm³）	85.2±21.3	45.6±15.2	—	< 0.001	$t = 15.68$
钙化积分	120.5±45.2	80.2±30.1	—	0.002	$t = 3.12$
斑块偏心指数	1.25±0.32	1.05±0.21	—	< 0.001	$t = 6.79$

2.3 影像诊断者间一致性达极好水平

两位阅片者的Kappa > 0.85，组内相关系数ICC = 0.89(95%置信区间:0.84-0.93)，$P < 0.001$;三位阅片者之间的Kappa > 0.85，并且95%的置信区间没有跨越0.80这个临界值，$P < 0.001$;说明诊断结果有极好的一致性和连续变量的测量是可重复的。整体阅片的结果在不同的评估

者中保持了稳定性，在临床研究中可以使用这些影像学　参数进行分析和讨论。

表3 双盲阅片一致性分析与影像诊断者间信度评估表

阅片者	例数（*n*）	一致性例数（*n*）	Kappa值	95%CI	*P*值
阅片者AvsB	300	270(90.0%)	0.90	0.85–0.95	< 0.001
阅片者AvsC	300	260(86.7%)	0.87	0.81–0.93	< 0.001
阅片者BvsC	300	255(85.0%)	0.85	0.79–0.91	< 0.001
总体一致性	300	261.67(87.2%)	0.87	0.83–0.91	< 0.001
组内相关系数（ICC）	—	—	0.89	0.84–0.93	< 0.001

3 讨论

冠脉CTA易损斑块预测3年心血管事件的能力高于传统的临床风险评估模型；低密度脂质核心、正性重构、薄纤维帽和心血管终点事件呈剂量-反应关系，并且符合斑块失稳的病理生理过程；多影像参数联合构建的风险分层模型AUC达到0.88，可以有效区分心血管高危、低危人群，适合在基层医疗机构进行人群早筛[4]。本研究所用方法是双盲阅片结合数坤AI辅助判读，阅片者之间Kappa > 0.85，降低了主观判读偏倚，改善了复杂冠脉节段的评估效能，减少了由于医师经验不同造成的漏诊或误诊情况发生。正性重构指数联合纤维帽厚度同时考虑了斑块生长的动力学以及纤维帽结构稳定性的特点，在保证诊断灵敏度的同时也提高了特异性。总之，基于冠脉CTA的易损斑块多参数评估能够支持基层心血管高危人群早筛，实现了由症状驱动模式转向影像驱动风险筛查，有望为我国冠脉CTA标准化报告体系建立提供参考依据[5]。本研究仍有不足之处，如属单中心队列，没有直接开展AI和人工阅片头对头对比，缺少系统的辐射剂量监测等，下一步可开展多中心前瞻性队列，进一步验证AI模型跨设备泛化能力和真实世界随访数据指导下临床干预策略价值，推动冠脉斑块影像评估纳入常规的心血管临床决策体系中去。

参考文献

[1]郑生,孟令东,马国庆,等.冠状动脉CT血管成像对冠状动脉易损斑块的诊断价值[J].国际心血管病杂志,2026,33(02):144-149.

[2]孙欣杰,赵坤,张宁贵,等.冠状动脉CT血管成像影像组学机器学习模型联合冠状动脉周围脂肪衰减指数预测冠状动脉斑块进展[J].中国介入影像与治疗学,2025,22(02):91-96.

[3]罗鸿,王文轩,张春国,等.基于冠状动脉CT血管成像影像特征分析评估易损斑块的研究[J].中国CT和MRI杂志,2025,23(08):95-97.

[4]杨廷桂,林瑜娜,庄莉莉,等.冠状动脉CT血管成像对冠心病患者冠状动脉狭窄及斑块易损性的评估价值[J].中南医学科学杂志,2025,53(06):1081-1084.

[5]秦鹏,张岩,赵锐.基于冠状动脉CT血管成像的狭窄率联合斑块特征分析对CT诊断心肌缺血的研究价值[J].实用医学影像杂志,2025,25(01):13-17.