

CT血管成像定量特征在冠状动脉慢性完全闭塞正向介入治疗失败预测中的应用研究

谢达科

河池市人民医院放射科, 广西 河池, 547000

通信作者: 谢达科, E-mail: lshz526548@163.com

【摘要】 目的 评估冠状动脉CT血管成像(CCTA)定量特征在预测冠状动脉慢性完全闭塞(CTO)病变正向经皮冠状动脉介入治疗(A-PCI)失败中的应用价值,筛选独立危险因素并构建预测模型,为术前策略选择提供依据。方法 回顾性纳入2022年1月至2025年6月期间既往冠状动脉造影明确单支CTO且术前1个月内于河池市人民医院完成CCTA检查的244例患者。记录CCTA参数:闭塞长度、钙化面积、血管弯曲度、血管重构类型、闭塞近端残端形态、闭塞段线样强化表现及血管周围脂肪衰减指数(FAI)。根据A-PCI结果分为成功组与失败组,比较两组差异,采用Logistic回归筛选独立预测因素,绘制受试者工作特征曲线(ROC)分析阈值与预测效能。结果 两组患者病变长度、钙化评分、钙化面积、近端钙化、近端闭塞段血管扩张、近端闭塞段血管扭曲、冠状动脉侧支Rentrop \geq 2级、远端血管可见、近段血管扭曲程度 \geq 45°、闭塞段钙化长度 \geq 5 mm、血管重构类型、闭塞近端残端形态、闭塞段线样强化表现比较差异具有统计学意义($P<0.05$),其余资料比较差异无统计学意义($P>0.05$)。多因素Logistic回归分析结果显示,闭塞长度、钙化评分、负性重构及FAI降低均为A-PCI治疗失败的独立危险因素($P<0.05$)。闭塞长度、钙化评分、负性重构、FAI联合预测A-PCI治疗失败的AUC为0.902(95%CI: 0.841~0.945)。结论 CCTA定量特征在预测CTO患者正向介入治疗失败中具有重要价值,FAI降低、病变过长、严重钙化及负性重构为主要危险因素,术前识别高风险病变,有助于优化策略选择、提高开通成功率并降低操作风险。

【关键词】 冠状动脉慢性完全闭塞; 冠状动脉CT血管成像; 正向经皮冠状动脉介入; 预测模型

【文章编号】 2095-834X(2026)01-38-06

DOI: 10.26939/j.cnki.CN11-9353/R.2026.01.005

本文著录格式: 谢达科. CT血管成像定量特征在冠状动脉慢性完全闭塞正向介入治疗失败预测中的应用研究[J]. 当代介入医学电子杂志, 2026, 3(1): 38-43.

Application of quantitative features of CT angiography in predicting the failure of antegrade interventional therapy for chronic total occlusion of coronary arteries

Xie Dake

Department of Radiology, Hechi People's Hospital, Hechi 547000, Guangxi, China

Corresponding author: Xie Dake, E-mail: lshz526548@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the application value of quantitative features of coronary computed tomography angiography (CCTA) in predicting the failure of antegrade percutaneous coronary intervention (A-PCI) for chronic total occlusion (CTO) lesions, to screen independent risk factors and to construct a prediction model, so as to provide a basis for preoperative strategy selection. **Methods** A retrospective analysis was performed on 244 patients who had single-vessel CTO confirmed by previous coronary angiography and underwent CCTA within 1 month before surgery. CCTA parameters were evaluated, including occlusion length, calcification area, vascular curvature, types of vascular remodeling, proximal occlusion stump morphology, linear enhancement within the

occluded segment, and perivascular fat attenuation index (FAI). According to the results of A-PCI, the patients were divided into a success group and a failure group. The differences between the two groups were analyzed. Logistic regression was used to screen independent predictive factors, and receiver operating characteristic (ROC) curves were plotted to analyze the threshold and predictive efficacy. **Results** There were statistically significant differences between the two groups in lesion length, calcification score, calcification area, proximal calcification, vascular dilation of the proximal occluded segment, vascular tortuosity of the proximal occluded segment, coronary collateral Rentrop grade ≥ 2 , visible distal vessels, proximal vascular tortuosity $\geq 45^\circ$, calcification length of the occluded segment ≥ 5 mm, type of vascular remodeling, proximal occlusion stump morphology, and linear enhancement within the occluded segment ($P < 0.05$), while there were no statistically significant differences in other data ($P > 0.05$). Multivariate logistic regression analysis showed that occlusion length, calcification score, negative remodeling and decreased FAI were independent risk factors for the failure of A-PCI ($P < 0.05$). The area under the curve (AUC) for the combined prediction of A-PCI failure by occlusion length, calcification score, negative remodeling and FAI was 0.902 (95%CI: 0.841–0.945). **Conclusion** Quantitative features of CCTA have important values in predicting the failure of antegrade interventional therapy in CTO patients. Decreased FAI, excessively long lesions, severe calcification and negative remodeling are the main risk factors. Preoperative identification of high-risk lesions is helpful to optimize strategy selection, improve the success rate of recanalization, and reduce operational risks.

【Keywords】 Chronic total occlusion of coronary arteries; Coronary computed tomography angiography; Antegrade percutaneous coronary intervention; Prediction model

慢性完全闭塞(chronic total occlusion, CTO)病变是冠状动脉粥样硬化进展至晚期的重要表现,其发病率约占接受冠脉造影患者的15%~30%,常伴随心绞痛、心肌缺血或心功能不全等临床症状^[1]。随着介入技术的发展,CTO经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)的成功率不断提高,但受限于病变解剖复杂性、导丝通过困难等因素,PCI依然存在较高的失败风险^[2]。因此,术前对CTO病变形态进行精准评估对于优化手术策略、提高手术成功率具有重要意义。冠状动脉CT血管成像(coronary CT angiography, CCTA)在CTO病变的影像评估中逐渐显现优势,可提供包括闭塞段长度、钙化程度、正向开口形态、侧支发源位置等多维参数,成为评估CTO介入难度及预测PCI结局的重要工具^[3]。相关研究表明,闭塞段长度 >20 mm、近端钙化、血管迂曲等影像特征与PCI失败密切相关^[4]。而结合CCTA影像与临床评分模型,可显著提高对PCI成功率的预测效能^[5]。故本研究拟探讨CCTA量化及形态学参数对CTO病变介入治疗成功率的预测价值,为术前精准分层提供影像学依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本研究为单中心回顾性研究,纳入2022年1月至2025年6月于河池市人民医院(以下简称本院)接受CCTA检查并拟行CTO病变PCI治疗的患者共244例。所有患者在治疗前均完成CCTA检查及冠状动脉

造影(coronary angiography, CAG)确诊,符合CTO的诊断标准,即病变段完全闭塞,闭塞时间 ≥ 3 个月,且远端血管存在逆向血流供应。

纳入标准:(1)年龄 ≥ 18 岁;(2)临床拟行CTO病变正向PCI治疗;(3)CCTA图像质量良好,可进行三维重建及分析。

排除标准:(1)合并急性冠状动脉综合征或近1月内存在心肌梗死者;(2)术前CCTA图像质量不佳无法评估;(3)合并心肝肾等器质性病变者;(4)资料不完整者。根据正向PCI术后结果,按是否成功建立导丝通路将患者分为成功组与失败组。本研究经本院伦理委员会审批通过[河医伦审KY(2025-108-01)],所有患者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 CCTA检查 所有受试者均于正向经皮冠状动脉介入治疗(antegrade percutaneous coronary intervention, A-PCI)治疗前接受CCTA检查。检查使用Revolution Maxima 64排CT机(美国GE医疗)和西门子Definition Flash双源64排螺旋CT机CT扫描仪,所有患者均于检查前签署知情同意书,并排除碘过敏或严重肾功能不全等禁忌情况。受检者于检查前停用含咖啡因饮品并保持安静,以控制心率 <70 次/min。必要时口服美托洛尔或给予静脉注射以控制心率。扫描前常规皮下注射硝酸甘油以扩张冠脉。扫描范围从气管隆突上缘至膈肌下缘,涵盖整个心脏。CT扫描参数设置:管电压:100~120 kVp,依患者体重自动调节、管电流:自动调节(200~600 mAs)、时间分辨率:约66~75 ms、螺距0.18~0.24,层厚0.75 mm,重建间

隔 0.5 mm,使用碘海醇造影剂,以 4~5 ml/s 经肘静脉注入,总量为 60~80 ml,随后接注 20~30 ml 生理盐水冲洗。扫描结束后于工作站进行图像重建,包括多平面重建、曲面重建、最大密度投影及体积重建,由两位具备冠脉影像诊断经验的心血管影像学医师独立分析,若有分歧则由第三位高年资影像医师裁决。重建图像用于评估冠状动脉主干、左前降支、左回旋支及右冠状动脉病变情况,提取并量化以下参数:病变长度、钙化评分、冠脉狭窄程度、正位角度、近端闭塞长度、远端血管显影质量、管腔密度等。必要时结合软斑块组成比例及周围脂肪组织密度等进行综合判断。本研究中脂肪衰减指数(fat attenuation index,FAI)的测量采用 CT Cardiac Function 工作站完成,系统自动提取冠脉树后,选取 CTO 病变段的近端至远端作为测量范围,分离出血管周围脂肪组织,设定 CT 阈值筛选脂肪区域,并由两名影像科医师独立重复测量两次,数值接近时取平均,若差异较大则引入第三人测量,确保结果一致性与可靠性。该方法可在约 10 min 内完成一次病变段的 FAI 分析,测量精度为 0.01 HU。

1.2.2 A-PCI 治疗 所有患者在评估临床适应证及排除禁忌后接受 A-PCI 治疗,由具有 10 年以上经验的 CTO 心血管介入医师团队完成。术前结合 CCTA 图像及 DSA 资料,评估闭塞病变的长度、钙化范围、血管走向、近端残端形态等解剖特征,制定个体化手术策略。术中主要采用前向滑丝路径或前向导引管复通技术,具体路径选择依据病变长度、钙化程度及近端残端形态决定。导丝选择自软头柔顺导丝起步,逐步升级至支持力强、穿透力大的导丝以穿通闭塞段,必要时联合使用微导管、球囊辅助推进、导丝交替等技术以提升导丝操控性与通过率。当前向路径尝试失败或存在明显逆向通道指征时,介入医师可中止手术或计划择期行逆向开通,所有患者严密监测心电与血流动力学变化。术后对比造影结果以明确血管再通情况,成功标准定义为病变完全开通且远端血流恢复至 TIMI 3 级或血管狭窄 <25%,其余为 A-PCI 失败。

1.3 统计学方法

本研究采用 SPSS 26.0 统计软件进行数据处理。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 *t* 检验,不符合正态分布的计量资料以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。FAI 预测 A-PCI 失败的最佳界值的确定采用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic, ROC)曲线确定,采用多因素 Logistic 回归模型分析 A-PCI 治疗失败的独立危险因素,通过绘制 ROC 曲线,计算 ROC 曲线下面积(area under curve, AUC)评估模型的判别效

能,使用 DeLong 检验比较不同模型间 AUC 差异。所有统计检验均为双侧检验,以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 成功组与失败组基线资料比较

两组患者病变长度、钙化评分、钙化面积、近端钙化、近端闭塞段血管扩张、近端闭塞段血管扭曲、冠状动脉侧支 Rentrop ≥ 2 级、远端血管可见、近段血管扭曲程度 $\geq 45^\circ$ 、闭塞段钙化长度 ≥ 5 mm、血管重构类型、闭塞近端残端形态、闭塞段线样强化表现比较差异具有统计学意义($P < 0.05$),其余资料比较差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。

表 1 A-PCI 成功组与失败组患者基线资料比较

项目	成功组 (n=112)	失败组 (n=32)	χ^2 /t/Z 值	P 值
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	62.4 ± 8.1	63.7 ± 8.4	0.778	0.438
男性 [例 (%)]	96 (85.7)	25 (78.1)	1.039	0.308
BMI ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	25.1 ± 3.2	25.5 ± 3.6	0.577	0.565
糖尿病 [例 (%)]	33 (29.5)	15 (46.9)	3.756	0.053
高血压 [例 (%)]	68 (60.7)	22 (68.8)	0.713	0.398
吸烟史 [例 (%)]	57 (50.9)	18 (56.3)	0.306	0.580
LVEF ($\bar{x} \pm s$, %)	59.7 ± 7.2	58.2 ± 7.5	1.017	0.311
血肌酐 ($\bar{x} \pm s$, μ mol/L)	91.2 ± 18.5	94.3 ± 17.9	0.887	0.377
CTO 病变血管 [例 (%)]			0.101	0.951
右冠	57 (50.9)	18 (56.3)		
前降支	39 (34.8)	10 (31.3)		
回旋支	16 (14.3)	4 (12.5)		
闭塞长度 [例 (%), mm]			8.643	0.003
≤ 20	86 (76.8)	16 (50.0)		
> 20	26 (23.2)	16 (50.0)		
钙化评分 [$M(P_{25}, P_{75})$, 分]	2.0(1.0,3.0)	3.0(2.0,3.0)	-2.442	0.015
钙化面积 ($\bar{x} \pm s$, mm ²)	5.1 ± 1.8	7.9 ± 2.2	6.654	<0.001
近端钙化 [例 (%)]	41 (36.6)	19 (59.4)	5.142	0.023
近端闭塞段血管扩张 [例 (%)]	77 (68.8)	14 (43.8)	6.553	0.010
近端闭塞段血管扭曲 [例 (%)]	26 (23.2)	15 (46.9)	6.667	0.010
冠状动脉侧支 Rentrop ≥ 2 级 [例 (%)]	79 (70.5)	15 (46.9)	6.205	0.013
远端血管可见 [例 (%)]	103 (92.0)	20 (62.5)	17.014	<0.001
近段血管扭曲程度 $\geq 45^\circ$ [例 (%)]	30 (26.8)	18 (56.3)	9.929	0.002
闭塞段钙化长度 ≥ 5 mm [例 (%)]	35 (31.3)	19 (59.4)	7.964	0.005
血管重构类型 [例 (%)]			8.019	0.005
正	66 (58.9)	10 (31.3)		
负	46 (41.1)	22 (68.7)		
FAI [例 (%), HU]			11.180	0.001
≥ -95	84 (75.0)	14 (43.7)		
< -95	28 (25.0)	18 (56.3)		
闭塞近端残端形态 [例 (%)]			4.466	0.035
钝形	28 (25.0)	14 (43.8)		
尖形	84 (75.0)	18 (56.2)		
闭塞段线样强化表现 [例 (%)]	94 (83.9)	16 (50.0)	17.186	<0.001

注:A-PCI: 正向经皮冠状动脉介入治疗;BMI: 身体质量指数;CTO: 慢性完全闭塞;LVEF: 左室射血分数;FAI: 脂肪衰减指数。

2.2 A-PCI 治疗失败多因素 Logistic 回归分析

以 A-PCI 是否成功为因变量(否=1,是=0),以单因素具有统计学意义(闭塞长度、钙化评分、钙化面积、近端钙化、近端闭塞段血管扩张、近端闭塞段血管扭曲、冠状动脉侧支 Rentrop ≥ 2 级、远端血管可见、近段血管扭曲程度 ≥ 45°、闭塞段钙化长度 ≥ 5 mm、血管重构类型、闭塞近端残端形态、闭塞段线样强化表现、FAI)的变量为自变量,展开赋值分析结果见表 2。多因素 Logistic 回归分析结果显示,闭塞长度、钙化评分、负性重构及 FAI 降低均为 A-PCI 治疗失败的独立危险因素($P < 0.05$),见表 3。

表 2 变量赋值表

变量名称	变量编码
闭塞长度	<20 mm=0; ≥ 20 mm=1
钙化评分	实际值录入
钙化面积	实际值录入
近端钙化	有=1; 无=0
近端闭塞段血管扩张	有=1; 无=0
近端闭塞段血管扭曲	有=1; 无=0
Rentrop 分级(≥ 2 级)侧支血管	Rentrop<2=0; ≥ 2=1
远端血管可见	可见=1; 不可见=0
近段血管扭曲 ≥ 45°	<45°=0; ≥ 45°=1
闭塞段钙化长度 ≥ 5 mm	<5 mm=0; ≥ 5 mm=1
血管重构类型	正=0; 负=1
闭塞近端残端形态	尖形=0, 钝端=1
闭塞段线样强化表现	有=1; 无=0
FAI	≥ -95 HU=0; <-95 HU=1

注:FAI: 脂肪衰减指数。

表 3 A-PCI 治疗失败多因素 Logistic 回归分析

变量	β 值	SE 值	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI 值
闭塞长度	0.045	0.020	5.063	0.024	1.046	1.006~1.088
钙化评分	0.214	0.070	9.348	0.002	1.239	1.082~1.419
负性重构	1.405	0.574	5.988	0.014	4.074	1.334~12.451
FAI	1.678	0.636	6.954	0.008	5.356	1.552~18.484
常量项	-6.501	1.361	22.786	<0.001		

注:A-PCI: 正向经皮冠状动脉介入治疗;FAI: 脂肪衰减指数。

2.3 闭塞长度、钙化评分、负性重构、FAI 及联合方程预测 A-PCI 治疗失败的 ROC 曲线分析

多因素 Logistic 回归分析结果得出联合预测模型: $\text{logit}(P) = -6.501 + 0.045 \times \text{闭塞长度} + 0.214 \times \text{钙化评分} + 1.405 \times \text{负性重构} + 1.678 \times \text{FAI}$ 。绘制 ROC 曲线结果见表 4, 见图 1。

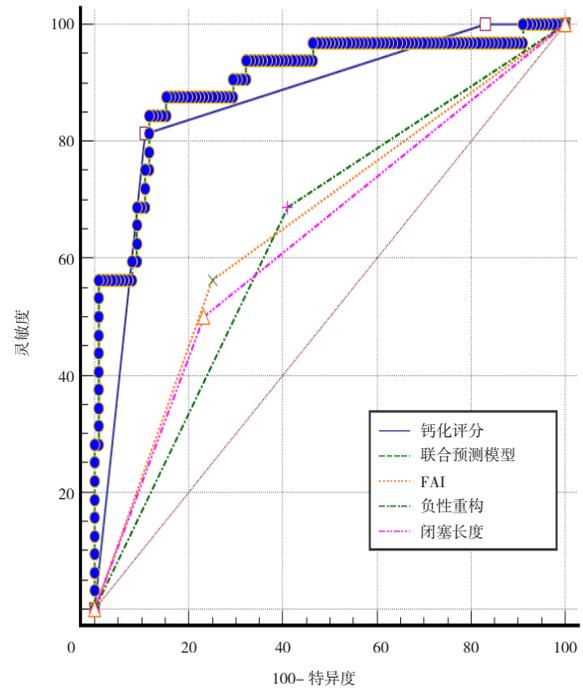
3 讨论

CTO 是指冠状动脉完全堵塞 ≥ 3 个月且无前向血流的一种特殊病变类型,是 PCI 中最具挑战性的病变类型之一。传统 CAG 作为 PCI 术前评估的重要工具,主要依赖二维平面投影评估病变特征,但其对病变三维解剖、钙化沉积及周围组织病理改变的呈现较为局

表 4 闭塞长度、钙化评分、负性重构、FAI 及联合方程预测 A-PCI 治疗失败的预测价值

指标	AUC (95% CI)	灵敏度	特异度
闭塞长度	0.634 (0.550~0.713)	50.00	76.79
钙化评分	0.869 (0.808~0.919)	84.37	88.39
FAI	0.656 (0.573~0.733)	56.25	75.00
负性重构	0.638 (0.554~0.717)	68.75	58.93
联合方程	0.902 (0.841~0.945)	81.25	89.29

注:A-PCI: 正向经皮冠状动脉介入治疗;FAI: 脂肪衰减指数。



注:A-PCI: 正向经皮冠状动脉介入治疗;FAI: 脂肪衰减指数。

图 1 闭塞长度、钙化评分、负性重构、FAI 及联合方程预测 A-PCI 治疗失败的 ROC 曲线

限。近年来,CCTA 作为一种三维无创影像技术,能够全面分析病变的长度、钙化情况、血管扭曲程度、重构类型及邻近结构,使介入医师在术前获得更丰富的解剖信息,从而优化治疗策略和操作决策,这一技术在 CTO 病变 PCI 术前评估中的应用受到广泛关注^[6]。尽管已有研究提示 CCTA 能提高 CTO PCI 成功率,但不同研究中各参数的预测效能仍存在差异^[7]。因此,围绕 CCTA 定量特征在预测 CTO 正向介入失败中的具体作用机制与临界值的精准界定仍是该领域研究的重点。

本研究多因素 Logistic 回归分析结果显示,闭塞长度、钙化评分、负性重构及 FAI 降低均为 A-PCI 治疗失败的独立危险因素($P < 0.05$),提示 CCTA 对 A-PCI 治疗失败具有预警作用。闭塞长度作为 CTO 难度评分体系中的核心要素之一,闭塞段过长不仅增加导丝穿通的复杂性,也限制器械通过的有效性,尤其在缺乏良好近端残端支持或远端血管可视条件差的情况下,穿通失败风险显著增加^[8]。已有研究表明,当 CTO 病变长度超过 20 mm 时,其开通难度与并发症

发生风险上升^[9],与本研究研究结果一致。病变钙化程度是决定A-PCI成败的要解剖因素。钙化会限制导丝操控性,进而导致球囊扩张困难甚至诱发血管穿孔等严重并发症,值得注意的是,重度钙化常合并线样强化缺失,导致CCTA对闭塞段真实管腔路径的描绘能力下降,从而间接增加术者判断的主观性与操作难度^[10]。本研究纳入的钙化积分代表病变中硬斑块含量,若钙化横跨闭塞段,导丝尖端难以穿透钙板,需更换高硬度导丝或旋磨策略,在一定程度增加手术失败风险。同时重度钙化可限制球囊扩张,降低临床疗效。CCTA对钙化沉积的敏感度高,可以清晰呈现钙化的连续性、位置与厚度,因此对于预判操作风险价值极高。负性血管重构作为一种常见的CTO结构变化形式,负性重构指闭塞段直径较参考段显著缩小,表现为血管塌陷或纤维化收缩,往往提示病变演变时间较长、慢性炎症反应活跃。其会导致导丝进入真实腔道的概率降低,提高了真伪腔误判的风险,进而增加导丝偏移、穿壁等操作失败事件^[11]。既往研究显示,负性重构常与微通道消失或胶原沉积等慢性改变相关,术中多需借助导丝改向器或微导管辅助进针,因此预判其存在对于术前策略调整具有重要意义^[12]。值得关注的是,本研究将FAI纳入分析,并发现FAI降低与A-PCI失败高度相关。FAI作为反映冠状动脉周围脂肪组织炎症状态的量化指标,在CTO病变中,FAI降低提示周围炎性水平较低、纤维化程度更高,进一步反映了病变“老化”的病理状态,这种病理改变常伴随钙化加重与微通道闭塞,严重阻碍导丝进入并减少支持力,从而提升穿通失败风险^[13]。因此,FAI作为一种可量化的CCTA功能参数,有望成为补充传统形态学评估的新型生物标志。结合以上危险因素因素构建的联合预测模型显示出良好的判别效能,其AUC为0.902,明显优于单一指标预测,提示在术前阶段可基于多参数构建CCTA评分系统对CTO病变复杂性进行全面评估,可辅助术者合理选择手术路径,也可在一定程度上预测术中操作时间、材料消耗与并发症风险,为患者制定个体化治疗方案提供精准依据。目前临床广泛使用的CTO变评分系统,包括J-CTO评分、PROGRESS-CTO评分和CASTLE评分,主要基于CAG图像特征进行风险评估,从而预测CTO病变经PCI的成功概率。但其依赖术者经验,对图像识别主观性强,且仅限于可视化特征,难以量化病变微结构变化及周围组织特征。相比之下,本研究通过CCTA图像提取定量特征建立预测模型,具有客观性强、可重复性高的优势,且能在术前阶段提供结构性病理信息。FAI可反映病变段血管周围炎症程度,而负性重构与组织钙化密切相关,均为正向开通失败的重要影响因素。Zyśk等^[14]研究显示,基于CCTA的评分系统

在预测导丝穿越和最终成功率时数值指标高于传统J-CTO评分,与本研究结果类似。提示基于CAG图像特征的预测模型临床可行性良好。

本研究具有一定局限性,本研究为单中心回顾性设计,样本均来自我院,代表性不足,FAI值受CT扫描参数、重建算法与心率控制等多种因素影响,尚缺乏统一标准,未来需在多中心前瞻性研究中进一步验证其稳定性与可重复性。此外,尚未引入机器学习等智能建模方法,可能限制了模型预测性能的进一步提升。

综上所述,CCTA定量特征在预测CTO患者正向介入治疗失败中具有重要价值,FAI降低、病变过长、严重钙化及负性重构为主要危险因素,术前识别高风险病变,有助于优化策略选择、提高开通成功率并降低操作风险。

利益冲突 作者声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Assali M, Buda KG, Megaly M, et al. Update on chronic total occlusion percutaneous coronary intervention[J]. Prog Cardiovasc Dis, 2023, 35(4): E194-E204.
- [2] 吴晓明,王波,崔晓剑,等. 冠状动脉CT血管成像评价冠状动脉慢性完全闭塞病变形态学参数在介入治疗指导中的应用[J]. 介入放射学杂志, 2025, 34(2): 140-144
- [3] 冯根义,王刚,李劲松,等. 冠状动脉CT血管成像图像人工智能辅助诊断用于急性冠状动脉综合征患者评估的准确性和临床价值[J]. 实用放射学杂志, 2024, 40(7): 1079-1082.
- [4] Zhou H, Fan X, Yuan M, et al. Role of pre-procedure CCTA in predicting failed percutaneous coronary intervention for chronic total occlusions[J]. Eur J Radiol Open, 2024, 13: 100616.
- [5] 谭林庆,朱世泽,张劲,等. 基于冠状动脉CT血管成像特征和参数构建老年冠心病PCI治疗短期预后的Nomogram预测模型[J]. 海南医学, 2025, 36(17): 2542-2549.
- [6] 殷磊,滕彬彬,马明平,等. 基于冠状动脉CT血管成像的慢性完全闭塞病变评分在介入治疗中的预测价值[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(1): 17-22.
- [7] 俞璐,唐辉,周华,等. CTA对冠脉慢性完全闭塞病变侧支通道分型诊断价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2025, 31(1): 56-59.
- [8] Rempakos A, Alexandrou M, Mutlu D, et al. Predicting successful chronic total occlusion crossing with primary antegrade wiring using machine learning[J]. JACC

- Cardiovasc Interv, 2024, 17(14): 1707–1716.
- [9] Gorgulu S, Kostantinis S, ElGuindy AM, et al. Contemporary in-hospital outcomes of chronic total occlusion percutaneous coronary interventions: insights from the MENATA (Middle East, North Africa, Turkey, and Asia) chapter of the PROGRESS-CTO registry[J]. Am J Cardiol, 2023, 206: 221–229.
- [10] Kostantinis S, Rempakos A, Simsek B, et al. Impact of calcium on the procedural techniques and outcomes of chronic total occlusion percutaneous coronary intervention[J]. Int J Cardiol, 2023, 390: 131254.
- [11] Tanaka H, Tsuchikane E, Muramatsu T, et al. A novel algorithm for treating chronic total coronary artery occlusion[J]. J Am Coll Cardiol, 2019, 74(19): 2392–2404.
- [12] Xu W, Ma J, Chen Y, et al. Coronary chronic total occlusion on coronary CT angiography: what radiologists should know?[J]. Insights Imaging, 2024, 15(1): 55.
- [13] Powell-Wiley TM, Dey AK, Rivers JP, et al. Chronic stress-related neural activity associates with subclinical cardiovascular disease in a community-based cohort: data from the Washington, D. C. Cardiovascular Health and Needs Assessment[J]. Front Cardiovasc Med, 2021, 8: 599341.
- [14] Zyśk A, Wolny R, Kruk M, et al. Computed tomography angiography-derived scores for prediction of chronic total occlusion percutaneous coronary intervention using the hybrid algorithm[J]. J Cardiovasc Dev Dis, 2024, 11(1): 3.