

冠状动脉 CT 血管成像指导经皮冠状动脉介入治疗临床研究进展

刘志远 范翼展 李为民 李俭强

(哈尔滨医科大学附属第一医院心内科, 黑龙江 哈尔滨 150001)

【摘要】 冠状动脉 CT 血管成像是评估冠状动脉狭窄程度的无创影像学手段。随着冠状动脉 CT 血管成像技术不断完善, 其可提供斑块性质、血管周围脂肪组织衰减指数、血流储备分数及心肌灌注等大量信息, 对经皮冠状动脉介入治疗具有重要指导意义。

【关键词】 冠状动脉 CT 血管成像; 经皮冠状动脉介入治疗; 冠心病

【DOI】 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2023.10.006

Coronary Artery Computed Tomography Angiography in Percutaneous Coronary Intervention

LIU Zhiyuan, FAN Yizhan, LI Weimin, LI Jianqiang

(Department of Cardiology, The First Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150001, Heilongjiang, China)

【Abstract】 Coronary artery computed tomography angiography is a noninvasive imaging method to assess the severity of coronary artery stenosis. As the technology has been improved rapidly, coronary artery computed tomography angiography is able to provide a large amount of information about the component of coronary plaque, perivascular fat attenuation index, fractional flow reserve and myocardial perfusion, which has important guiding significance for percutaneous coronary intervention.

【Key words】 Coronary artery computed tomography angiography; Percutaneous coronary intervention; Coronary heart disease

冠状动脉 CT 血管成像 (coronary artery computed tomography angiography, CCTA) 用于指导经皮冠状动脉介入治疗 (percutaneous coronary intervention, PCI) 一直是心血管领域的研究热点。CCTA 属于无创影像学手段, 通过静脉注射对比剂, 利用多排螺旋 CT 评估冠状动脉狭窄程度, 已成为评估冠状动脉疾病的一线非侵入性成像方法^[1]。PCI 主要包括经皮球囊冠状动脉成形术、冠状动脉支架植入术和斑块旋磨术等, 目前已成为治疗冠状动脉疾病的主要手段之一。研究发现, 与侵入性检查相比, CCTA 及基于其技术原理衍生的成像技术 (无创血流储备分数、心肌灌注成像等) 具有无创、耗时短、操作简单等优势, 更适用于冠状动脉疾病排除诊断及 PCI 术前评估。CCTA 及相关成像技术提供的冠状动脉斑块性质、血管周围脂肪组织衰减指数、血流储备分数和心肌灌注缺损等冠状动脉病变解剖学与功能学特征, 在慢性闭塞性病变、多支病变、分叉及开口病变等复杂病变 PCI 术前规划、术中指导及预后评估等方面具有重要指导意义^[2-3]。为更好地利用 CCTA 优势指导 PCI, 现将 CCTA 及相关成像技术的

最新研究进展进行介绍。

1 CCTA 评估斑块性质

1.1 斑块性质

研究^[4]发现, 无明显阻塞性病变的冠状动脉同样可引起心肌梗死, 且预后更差。因此冠状动脉斑块形态及负荷成为新的关注靶点, 可预测急性冠状动脉事件的发生风险。研究^[2]表明, 冠状动脉斑块破裂与高危斑块特征相关, 包括正性重构、低衰减斑块、点状钙化和“餐巾环”征, 上述特征可通过 CCTA 识别。SCOT-HEART 研究^[5]显示, 存在 1 个及以上高危斑块特征增加 5 年冠心病相关死亡或非致死性心肌梗死风险。PROMISE 研究^[6]证实, 在非阻塞性冠状动脉疾病患者中, 正性重构指数、低衰减斑块、高斑块负荷以及“餐巾环”征与较高的主要不良心血管事件相关。

1.2 血管周围脂肪组织衰减指数

炎症是斑块不稳定的潜在标志, 利用 CCTA 影像计算冠状动脉周围脂肪组织衰减指数, 可反映冠状动脉炎症程度^[7]。SCOT-HEART 研究^[8]提示, 右冠状动脉周围脂肪组织衰减指数和低衰减斑块负荷是心肌梗

死的预测因素。右冠状动脉周围脂肪组织衰减指数 > -70.5 HU 的患者发生心肌梗死的风险增加 2.5 倍 ($P=0.001$), 低衰减斑块负荷 $>4\%$ 的患者发生心肌梗死的风险增加 5 倍 ($P<0.0001$)。此外, 在非阻塞性冠状动脉疾病患者中, 冠状动脉周围脂肪组织衰减指数与心肌梗死风险正相关。

1.3 血流储备分数

CCTA 与有创冠状动脉造影 (invasive coronary angiography, ICA) 均可用于评估冠状动脉病变的解剖学特征。然而, 冠状动脉病变狭窄程度与功能学意义并不一致, 后者是决定血运重建策略的金标准^[9]。血流储备分数 (fractional flow reserve, FFR) 是目前最常用的功能学评估指标, 但存在血管损伤、费用高及血管扩张剂相关副作用等局限^[9]。近年来, 基于 CCTA 的无创血流储备分数 (FFR_{CT}) 已成为一种有前途的替代方法, 可用于 PCI 术前 FFR 评估及术后 FFR 预测^[10-11]。此外, FFR_{CT} 还能提供可疑冠心病患者的预后价值。Patel 等^[12] 进行的多中心前瞻性研究表明, $FFR_{CT} \leq 0.8$ 可疑冠心病患者出现心血管死亡或心肌梗死更为常见 ($P=0.01$), 随访 1 年时出现主要不良心血管事件患者的平均 FFR_{CT} 更低 ($P=0.02$)。

1.4 心肌灌注成像

心肌灌注成像是评估冠状动脉病变功能学意义的重要手段, 一般通过心脏磁共振或核素成像完成。随着 CT 技术快速发展, 基于 CT 图像同样可以完成心肌灌注成像。一项多中心前瞻性研究^[13] 表明, 与单独 CCTA 相比, 心肌灌注成像联合 CCTA 显著提高了冠状动脉疾病诊断的敏感性及特异性。

2 CCTA 指导 PCI

CCTA 及相关技术可用于识别冠状动脉斑块性质、解剖学和功能学评估以及预测 PCI 成功率等, 在 PCI 术前规划、术中指导及预后评估等方面具有重要指导意义^[3]。

2.1 慢性闭塞性病变

慢性闭塞性病变 (chronic total occlusion, CTO) 是复杂冠状动脉病变之一, 手术成功率远低于普通病变, 因此 CTO-PCI 极具挑战性。日本学者^[14] 根据 CTO 残端类型、钙化程度、成角情况、闭塞长度等, 提出 J-CTO 评分用于评估 CTO 病变难易程度, 可预测 30 min 内导丝通过率。有学者^[15] 提出基于 CCTA 影像的 CT-RECTOR 评分用于评估 CTO 病变, 并证实 CT-RECTOR 评分预测 30 min 内导丝通过率的诊断效能优于 J-CTO 评分 ($P<0.001$)。此外, KCCT 评分也是基于 CCTA 影像的 CTO 病变评分工具, 其预测 30 min 内导丝通过率及手术成功率的准确性优于其他评

分^[16]。研究^[17] 表明, 与 ICA 指导相比, 术前 CCTA 指导下 CTO 病变手术成功率更高 ($P=0.003$), 术后并发症 (如冠状动脉穿孔或围手术期心肌梗死) 发生率更低。

详细的冠状动脉解剖信息有助于制定 PCI 策略。CCTA 可通过术前了解 CTO 病变的形态和解剖特点, 帮助选择 CTO 入路和器械。例如, 对于近端 CTO 纤维帽内严重钙化伴良好逆向侧支循环, 尤其是既往 PCI 失败的患者, 可选择逆向入路^[18]。导丝成功通过侧支是逆向 PCI 成功的关键, 而 CCTA 具有识别逆向 CTO-PCI 中可用侧支的能力^[19]。Sugaya 等^[20] 进行的回顾性研究证实, 与 CCTA 不可见侧支相比, CCTA 可见侧支的导丝通过率更高 ($P=0.034$), 并发症更少 ($P=0.041$)。

2.2 冠状动脉多支病变

血运重建可提高冠状动脉多支病变患者的生存率, 外科手术或介入治疗的选择主要取决于冠状动脉病变的复杂性^[21]。SYNTAX 评分是客观量化冠状动脉多支病变患者病变范围和严重程度的重要方法。而在 SYNTAX 评分基础上又衍生出多种评分, 如功能性 SYNTAX 评分、SYNTAX II 评分以及基于 CCTA 的 SYNTAX 评分和基于 FFR_{CT} 的非侵入性功能 SYNTAX 评分。研究证实, CCTA 与 ICA 的 SYNTAX 评分具有高度相关性。此外, 非侵入性功能 SYNTAX 评分通过评估 $FFR_{CT} < 0.8$ 的血管, 可为拟行 PCI 的患者重新划分术前风险分层 (部分高风险患者重新归类为中风险患者)^[22]。SYNTAX III REVOLUTION 研究^[21] 显示, 对于新发左主干或冠状动脉三支病变患者, 基于 CCTA 的治疗决策与基于 ICA 的治疗决策具有高度一致性, 一致率为 93%。因此, 基于 CCTA 或 FFR_{CT} 的 SYNTAX 评分可用于指导冠状动脉多支病变患者的 PCI 策略。

2.3 CCTA 指导分叉和开口病变

CCTA 可帮助确定冠状动脉开口位置及近端是否存在病变。在冠状动脉开口存在异常的情况下, 了解开口位置有助于术者选择合适的指引导管和操控技术^[23]。此外, PCI 术前明确冠状动脉开口位置及近端是否存在病变可避免术中深插导管而掩盖病变^[13]。ICA 投影角度选择在分叉和开口病变中尤为重要, 而 CCTA 可克服投影角度不佳、难以评估病变长度等 ICA 局限性^[24]。在开口及分叉病变中, 准确显示主支及侧支开口对于 PCI 策略选择至关重要^[24]。Kočka 等^[23] 研究证实, CCTA 能提供冠状动脉开口和分叉病变最佳投影角度信息以帮助制定 PCI 策略。Wolny 等^[25] 研究表明, 对于拟行分叉 PCI 的稳定冠状动脉疾病患

者,CCTA 指导组和 ICA 指导组主支和分支术后管腔直径、分支受损或闭塞情况以及平均分支 FFR 值无明显差异。另外,CCTA 组植入两个及以上支架患者比例更低、主支支架重叠部分更少、近端优化技术使用比例更高($P < 0.05$)。此外,CCTA 可通过其衍生的 RESOLVE 评分量化非钙化斑块负荷,预测分叉病变在 PCI 期间分支闭塞风险^[26]。

2.4 FFR_{CT}交互式规划软件

FFR_{CT}可通过对冠状动脉病变功能学评估指导患者是否需行 ICA 并提高诊疗效率。而 FFR_{CT}交互式规划软件(FFR_{CT} Planner)是一种计算机软件,基于一种新颖的几何建模技术,模拟 PCI 术后的冠状动脉血流状况,从而指导 PCI 策略的选择^[27]。van Belle 等^[28]比较 ICA 指导与 FFR_{CT} Planner 指导对稳定型心绞痛患者 PCI 策略的影响。结果显示,FFR_{CT} Planner 改变了 1/3 病变的处理策略,但其准确性未经侵入性 FFR 验证。Sonck 等^[11]将 FFR_{CT} Planner 用于拟行 PCI 的慢性冠脉综合征患者,其预测术后 FFR ≤ 0.80 和 FFR ≤ 0.90 的准确率分别为 83% 和 71%。此外,FFR_{CT} Planner 在不同病变范围和钙化负荷病例中的准确性相当,适用范围广泛。

2.5 CT 灌注成像

FFR_{CT}的优势在于可根据 CCTA 结果直接分析,但其对既往心肌梗死、支架或旁路移植术的诊断价值仍有争议^[29],CT 灌注成像(computed tomography perfusion imaging,CTP)则可与 FFR_{CT}互补。CTP 可通过评估心肌灌注缺损是否可逆,区分可逆性心肌缺血与心肌梗死,指导 PCI 策略。CATCH-2 研究^[30]共纳入 600 例稳定型心绞痛患者,按 1:1 分为 CCTA 组和 CCTA + CTP 组。结果显示,与单纯 CCTA 组相比,CCTA + CTP 组患者血运重建比例显著降低($P = 0.0045$)。由于金属支架所致伪影会降低诊断准确性,一般并不推荐 CCTA 用于接受过复杂 PCI 手术或植入支架直径 < 3.0 mm 的患者。CTP 是结合解剖学和功能学评估的先进手段^[13]。ADVANTAGE 研究^[31]发现,对有 PCI 术史的患者,CTP 诊断准确率显著高于 CCTA(75.0% vs 30.5%, $P = 0.0002$)。因此,当怀疑有 PCI 术史的患者出现支架内再狭窄或原有冠状动脉疾病进展时,CTP 可显著提高诊断效能。然而 CTP 尚存在需要多次扫描、高辐射剂量等局限性,还需要进一步的临床验证。

2.6 冠状动脉旁路移植术

虽然冠状动脉介入治疗已取得重大进展,但冠状动脉旁路移植术仍然是左主干病变和多支病变的主要治疗方法。基于 CCTA 的 SYNTAX 评分是筛选冠

状动脉旁路移植术患者的合适方法,具有与 ICA 相似的诊断准确性。既往冠状动脉旁路移植术患者再次行 ICA 通常有更多并发症,故 ICA 前了解冠状动脉解剖结构可有效减少并发症和手术时间^[21]。CCTA 则可在 ICA 术前帮助了解桥血管的数量、位置和走行。另外,观察性研究^[32]显示,CCTA 对桥血管可视化具有较高的敏感性和特异性。

3 CCTA 局限性

CCTA 的诊断性能高度依赖于成像质量。研究^[33]证实,呼吸运动伪影显著影响 CCTA 的图像质量。此外,CCTA 成像在心率 < 60 次/min 时最佳,而较快心率的成像质量则受限于 CT 时间分辨率。对于 PCI 术后患者,由于支架厚度、图像获取和重建参数不同,会使支架内 55% 的管腔模糊不清,而 FFR_{CT}需要精确的解剖模型,其准确性亦会受到影响。由于 CT 空间分辨率的限制,CCTA 显示的斑块与管腔和管壁位置难以区分,因此会影响评估斑块体积。此外,钙化斑块的高密度可能会增加邻近低密度脂质斑块密度,导致将其错误归类为纤维性斑块^[29]。

4 未来展望

CCTA 可提供无创血管成像、FFR、心肌灌注、斑块负荷及炎症等信息,在冠状动脉疾病的筛查、诊断和治疗中充当重要角色并提供“一站式服务”。CCTA 通过提供关键性的解剖学和功能学信息,可用于 PCI 术前规划、术中指导及预后评估。在未来,术者可在 CCTA 及其衍生技术的指导下更安全地开展复杂冠状动脉病变的介入治疗。

参考文献

- [1] Carroll JD, Chen SJ. The use of CTCA for planning PCI: using the 3D coronary tree information[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(21): 2571-2573.
- [2] Serruys PW, Hara H, Garg S, et al. Coronary computed tomographic angiography for complete assessment of coronary artery disease: JACC state-of-the-art review [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2021, 78(7): 713-736.
- [3] Andreini D, Collet C, Leipsic J, et al. Pre-procedural planning of coronary revascularization by cardiac computed tomography: an expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2022, 16(6): 558-572.
- [4] Chang HJ, Lin FY, Lee SE, et al. Coronary atherosclerotic precursors of acute coronary syndromes [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 71(22): 2511-2522.
- [5] Williams MC, Moss AJ, Dweck M, et al. Coronary artery plaque characteristics associated with adverse outcomes in the SCOT-HEART study [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 73(3): 291-301.
- [6] Ferencik M, Mayrhofer T, Bittner DO, et al. Use of high-risk coronary atherosclerotic plaque detection for risk stratification of patients with stable chest pain: a secondary analysis of the PROMISE randomized clinical trial [J]. *JAMA Cardiol*, 2018, 3(2): 144-152.
- [7] Antonopoulos A, Sanna F, Sabharwal N, et al. Detecting human coronary inflammation by imaging perivascular fat [J]. *Sci Transl Med*, 2017, 9(398): eal2658.

- [8] Tzolos E, Williams MC, Mcelhinney P, et al. Pericoronary adipose tissue attenuation, low-attenuation plaque burden, and 5-year risk of myocardial infarction[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2022, 15(6):1078-1088.
- [9] Kogame N, Ono M, Kawashima H, et al. The impact of coronary physiology on contemporary clinical decision making[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(14):1617-1638.
- [10] Peper J, Schaap J, Rensing B, et al. Diagnostic accuracy of on-site coronary computed tomography-derived fractional flow reserve in the diagnosis of stable coronary artery disease[J]. *Neth Heart J*, 2022, 30(3):160-171.
- [11] Sonck J, Nagumo S, Norgaard BL, et al. Clinical validation of a virtual planner for coronary interventions based on coronary CT angiography [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2022, 15(7):1242-1255.
- [12] Patel MR, Norgaard BL, Fairbairn TA, et al. 1-Year impact on medical practice and clinical outcomes of FFR_{CT}: the ADVANCE registry [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(1 Pt 1):97-105.
- [13] Nous FMA, Geisler T, Kruk MBP, et al. Dynamic myocardial perfusion CT for the detection of hemodynamically significant coronary artery disease [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2022, 15(1):75-87.
- [14] Morino Y, Abe M, Morimoto T, et al. Predicting successful guidewire crossing through chronic total occlusion of native coronary lesions within 30 minutes; the J-CTO (Multicenter CTO Registry in Japan) score as a difficulty grading and time assessment tool[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2011, 4(2):213-221.
- [15] Opolski MP, Achenbach S, Schuhback A, et al. Coronary computed tomographic prediction rule for time-efficient guidewire crossing through chronic total occlusion; insights from the CT-RECTOR multicenter registry (Computed Tomography Registry of Chronic Total Occlusion Revascularization) [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2015, 8(2):257-267.
- [16] Yu CW, Lee HJ, Suh J, et al. Coronary computed tomography angiography predicts guidewire crossing and success of percutaneous intervention for chronic total occlusion; Korean multicenter CTO CT registry score as a tool for assessing difficulty in chronic total occlusion percutaneous coronary intervention[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(4):e005800.
- [17] Hong SJ, Kim BK, Cho I, et al. Effect of coronary CTA on chronic total occlusion percutaneous coronary intervention; a randomized trial [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021, 14(10):1993-2004.
- [18] Opolski MP, Achenbach S. CT angiography for revascularization of CTO; crossing the borders of diagnosis and treatment [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2015, 8(7):846-858.
- [19] Rathore S, Katoh O, Matsuo H, et al. Retrograde percutaneous recanalization of chronic total occlusion of the coronary arteries: procedural outcomes and predictors of success in contemporary practice[J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2009, 2(2):124-132.
- [20] Sugaya T, Oyama-Manabe N, Yamaguchi T, et al. Visualization of collateral channels with coronary computed tomography angiography for the retrograde approach in percutaneous coronary intervention for chronic total occlusion[J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2016, 10(2):128-134.
- [21] Collet C, Onuma Y, Andreini D, et al. Coronary computed tomography angiography for heart team decision-making in multivessel coronary artery disease[J]. *Eur Heart J*, 2018, 39(41):3689-3698.
- [22] Collet C, Onuma Y, Miyazaki Y, et al. Integration of non-invasive functional assessments with anatomical risk stratification in complex coronary artery disease; the non-invasive functional SYNTAX score[J]. *Cardiovasc Diagn Ther*, 2017, 7(2):151-158.
- [23] Kočka V, Thériault-Lauzier P, Xiong TY, et al. Optimal fluoroscopic projections of coronary ostia and bifurcations defined by computed tomographic coronary angiography[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(21):2560-2570.
- [24] Lee SH, Lee JM, Song YB, et al. Prediction of side branch occlusions in percutaneous coronary interventions by coronary computed tomography; the CT bifurcation score as a novel tool for predicting intraprocedural side branch occlusion[J]. *EuroIntervention*, 2019, 15(9):e788-e795.
- [25] Wolny R, Pregowski J, Kruk M, et al. Computed tomography angiography versus angiography for guiding percutaneous coronary interventions in bifurcation lesions—A prospective randomized pilot study [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2017, 11(2):119-128.
- [26] Grodecki K, Cadet S, Staruch AD, et al. Noncalcified plaque burden quantified from coronary computed tomography angiography improves prediction of side branch occlusion after main vessel stenting in bifurcation lesions; results from the CT-PRECISION registry[J]. *Clin Res Cardiol*, 2021, 110(1):114-123.
- [27] Bom MJ, Schumacher SP, Driessen RS, et al. Non-invasive procedural planning using computed tomography-derived fractional flow reserve [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2021, 97(4):614-622.
- [28] van Belle E, Raposo L, Bravo Baptista S, et al. Impact of an interactive CT/FFR (CT) interventional planner on coronary artery disease management decision making[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021, 14(5):1068-1070.
- [29] Serruys PW, Kotoku N, Norgaard BL, et al. Computed tomographic angiography in coronary artery disease[J]. *EuroIntervention*, 2023, 18(16):e1307-e1327.
- [30] Sogaard MH, Linde JJ, Kuhl JT, et al. Value of myocardial perfusion assessment with coronary computed tomography angiography in patients with recent acute-onset chest pain[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2018, 11(11):1611-1621.
- [31] Andreini D, Mushtaq S, Pontone G, et al. CT perfusion versus coronary CT angiography in patients with suspected in-stent restenosis or CAD progression [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(3):732-742.
- [32] Jones DA, Castle EV, Beirne AM, et al. Computed tomography cardiac angiography for planning invasive angiographic procedures in patients with previous coronary artery bypass grafting [J]. *EuroIntervention*, 2020, 15(15):e1351-e1357.
- [33] Shen W, Chen Y, Qian W, et al. Impact of respiratory motion artifact on coronary image quality of one beat coronary CT angiography [J]. *J Xray Sci Technol*, 2021, 29(2):287-296.

收稿日期:2023-04-04