

冠状动脉完全闭塞时远侧血管显影与侧支循环的关系

——冠状动脉 CTA 与介入冠状动脉造影对照研究

刘甲莲¹, 何东芳²

¹青岛大学, 山东 青岛

²临沂市中心医院影像科, 山东 临沂

收稿日期: 2022年8月21日; 录用日期: 2022年9月15日; 发布日期: 2022年9月22日

摘要

目的: 利用双源CT冠状动脉血管成像(DS-CTA)评估冠状动脉完全闭塞远侧血管显影及侧支循环并与介入冠状动脉造影(CAG)对照。方法: 选取2019年1月~2021年3月于我院行冠状动脉双源CTA检查且在近一个月内行冠状动脉CAG检查的72位患者, 共80处闭塞。以CAG为金标准, 评估DS-CTA对冠状动脉闭塞远侧血管显影与侧支循环的显示率。结果: CAG检查的80处闭塞远端血管显影37处, 显示闭塞周围有侧支循环者29处; 相应患者DS-CTA显示有远端血管显影42处, 周围有侧支循环者27处。CAG及DS-CTA两种方法显示闭塞远侧血管显影例数均多于侧支循环显影($p > 0.05$, 差异无统计学意义)。DS-CTA对闭塞远端血管显影率略高于CAG (CAG远端血管显示率为46.25%, DS-CTA远端血管显示率为52.5%), CAG显示闭塞远端侧支循环略高于DS-CTA (CAG显示闭塞远端侧支循环显示率为36.25%, DS-CTA显示侧支循环显示率约33.75%), 差异无统计学差异($p > 0.05$, 差异无统计学意义)。结论: 以DS-CTA判断冠状动脉血管闭塞远侧血管显影及侧支循环形成有较高价值, 特别是观测闭塞远侧血管显影间接推测侧支循环形成更加敏感。

关键词

侧支循环, 体层摄影术, X线计算机, 冠心病

The Relationship between Distal Vascular Imaging and Collateral Circulation in Total Coronary Artery Occlusion

—A Comparative Study of Coronary CTA and Interventional Coronary Angiography

Jialian Liu¹, Dongfang He²

¹Qingdao University, Qingdao Shandong²Department of Imaging, Linyi Central Hospital, Linyi ShandongReceived: Aug. 21st, 2022; accepted: Sep. 15th, 2022; published: Sep. 22nd, 2022

Abstract

Objective: To use dual-source CT coronary angiography (DS-CTA) to evaluate the distal vascular imaging and collateral circulation of total coronary occlusion and to compare it with interventional coronary angiography (CAG). **Methods:** From January 2019 to March 2021, 72 patients who underwent coronary dual-source CTA examination in our hospital and underwent coronary CAG examination within the past month were selected, with a total of 80 occlusions. Using CAG as the gold standard, DS-CTA was used to evaluate the visualization rate of vessels distal to coronary occlusion and collateral circulation. **Results:** CAG examination showed 37 of 80 occluded distal vessels, and 29 of them had collateral circulation around the occlusion; DS-CTA of the corresponding patients showed that 42 of the distal vessels were visualized, and 27 of them had collateral circulation around. The two methods of CAG and DS-CTA showed that the number of occlusion distal vessels was more than that of collateral circulation ($p > 0.05$, the difference was not statistically significant). The imaging rate of DS-CTA for distal occlusion vessels is slightly higher than that of CAG (46.25% for CAG distal vessels, 52.5% for DS-CTA), and CAG shows slightly higher collateral circulation distal to occlusion than DS-CTA (CAG showed the display rate of occluded distal collateral circulation was 36.25%, DS-CTA showed that the display rate of collateral circulation was about 33.75%), the difference was not statistically significant ($p > 0.05$, the difference was not statistically significant). **Conclusion:** DS-CTA is of high value in judging the development of vessels distal to coronary occlusion and the formation of collateral circulation, especially the observation of distal vessels of occlusion is more sensitive to indirectly infer the formation of collateral circulation.

Keywords

Collateral Circulation, Tomography, X-Ray Computed, Coronary Heart Disease

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

1. 引言

冠状动脉慢性完全闭塞病变(chronic total occlusion, CTO)是临床较常见的冠状动脉狭窄病变类型, 约占接受冠状动脉造影检查人群的 20%~30% [1] [2]。绝大部分 CTO 病变患者均具心绞痛等临床症状, 无胸痛而行保守治疗的患者约占 11.15% [3]。临床医生在对 CTO 病变患者选择经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)、冠状动脉旁路移植术(coronary artery bypass grafting, CABG)等手术治疗或非手术治疗时, 仍需权衡患者个体的风险和获益, 综合考虑临床表现和病变本身的情况, 提高手术成功率以及患者的获益, 避免严重并发症的发生。目前心血管介入指南推荐对 CTO 病变下游供血区存在至少 20% 以上存活心肌患者进行再血管化治疗[4], 如下游存活心肌过少, 或基本为梗死心肌, 则再血管化治疗对改善患者预后和症状无益。而既往关于 CTO 病变的研究已表明, 闭塞血管远端往往有侧枝

通道的形成。这些开放良好的侧枝循环可为 CTO 病变下游供血区的心肌提供代偿血流,在一定程度上缓解心肌缺血、防止发生心肌梗死[5] [6]。Meier 等[7]的研究显示,冠状动脉侧支生成较多的患者死亡率降低约 36%。冠状动脉侧支循环对缺血心肌的保护作用已被大量研究证实,准确地评估冠状动脉侧支循环的代偿能力有助于对冠心病患者进行危险分层和制定临床治疗策略。

研究表明冠状动脉 CT 血管成像可清晰显示 CTO 病变远侧血管的充盈情况,其血流是来自于侧枝循环网[8]。因此,我们认为 CT 所显示的 CTO 病变远侧管的显影,与侧枝循环状况有着密切的关系。故本研究利用冠状动脉 CTA 并与介入冠状动脉造影对照,研究冠状动脉完全闭塞时远侧血管显影与侧支循环的关系,试图通过冠状动脉完全闭塞时远侧血管显影情况间接判断侧支循环,以提高 CTA 对冠状动脉完全闭塞时侧支循环的诊断能力。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

回顾性分析 2019 年 1 月~2021 年 3 月于我院行 CTA 检查发现一支或以上冠状动脉完全闭塞(100%狭窄)患者且在近 2 周内行介入冠状动脉造影检查的病人 72 例,男性 44 例,女性 28 例,年龄 43~79 岁,中位年龄 56 岁。纳入标准:1) 患者在双源 CT 冠状动脉 CTA 检查后 1 个月内接受介入冠状动脉造影检查;2) 患者的双源 CT 冠状动脉 CTA 影像及介入冠状动脉造影图像质量良好;3) 介入冠状动脉造影提示至少有 1 支冠状动脉主要分支闭塞 4) 患者没有其他严重基础疾病。

2.2. 设备与方法

采用 Siemens Definition Flash 型双源 CT 扫描,应用人工智能触发扫描系统,感兴趣区放置于升主动脉处,当 CT 值达到设定阈值时,延迟 6 s 扫描。扫描范围:气管分叉水平至膈下 1.5~2 cm 处,扫描过程要求屏气。扫描参数:双机架旋转时间 0.28 s,螺距 0.17~0.28 (随心率调整)。扫描完成后,应用 CT coronary 软件对图像分析,由计算机自动获取最佳期相,当计算机选取图像质量欠佳时,则利用心电编辑方法人工选取最佳期相进行后期图像处理。后处理模式包括容积再现(VR)、最大强度投影(MIP)、多平面重组(MPR)和曲面重组(CPR)。介入冠状动脉造影检查方法:采用 Siemens Axiom Artis 机。常规经桡动脉或股动脉穿刺插入冠状动脉造影导管,采用碘海醇作为对比剂,分别进行左、右冠状动脉造影。左冠状动脉选取 6 个投照体位。右冠状动脉选取 2~3 个投照体位。发现侧支循环时选取显示其来源与走行最好的投照体位。

冠状动脉侧支循环及闭塞远侧血管评价方法:采用 Rentrop 分级方法,介入冠状动脉造影图像冠状动脉闭塞远侧侧支循环评价:0 级,心外膜血管不显影;1 级,侧支血管显影微弱或部分显影;2 级,侧支血管显影至闭塞远端血管,显影较淡;3 级,侧支心外膜段完全显影,清晰。介入冠状动脉造影对冠状动脉闭塞远侧血管显影分级:0 级远端血管不显影;1 级闭塞远端血管模糊不定显影;2 级闭塞远端血管密度较供血血管低,充盈速度缓慢;3 级闭塞远端血管显影清晰,充盈速度快。侧支循环及闭塞远侧血管显影存在与否及分级评价由 1 名经验丰富的心内科医师选择最佳体位与影像进行评估。对应于介入冠状动脉造影 Rentrop 分级方法双源 CT 冠状动脉 CTA 评价闭塞远侧侧支循环的分级定为:0 级,未见侧支循环影;1 级,未见连续性的侧支循环血管;2 级,可见细线样或螺旋样微小侧支循环血管,但未见完全连续显影;3 级,可见清晰连续的侧支循环血管。双源 CT 冠状动脉 CTA 对闭塞远侧血管分级可根据造影剂充盈显影情况定为:0 级,无远端血管显影;1 级,远端冠状动脉造影剂密度较低,模糊不连续;2 级闭塞远端血管连续显影,密度略低于供血冠脉;3 级闭塞远端血管显影良好。入组患者的双源 CT 冠状动脉 CTA 影像由 2 名具有 5 年以上 CTA 诊断经验的放射科医师采用盲法原则进行评估。根据心脏诊

断经验和对 CTA 的横断面影像、VR、MIP、MPR、CPR 进行综合判断, 最终结果由 2 人协商确定。

2.3. 统计学方法

应用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析。诊断结果之间的一致性分析采取 Kappa 检验, 当 $p < 0.05$ 时差异有统计学意义。以介入冠状动脉造影为金标准, 评估双源 CT 冠状动脉 CTA 对冠状动脉闭塞远侧血管显影与侧支循环的显示率。使用 χ^2 检验评价介入冠状动脉造影及双源 CT 冠状动脉 CTA 对冠状动脉闭塞远侧血管及侧支循环的显示率的差异性, 并使用 Kappa 系数检验评估这两种分级标准的一致性。

3. 结果

3.1. 双源 CT 冠状动脉 CTA 及介入冠状动脉造影及对冠状动脉侧支循环及冠状动脉闭塞远侧血管的显示率(表 1)

介入冠状动脉造影检查所示的 80 处冠状动脉闭塞远侧血管显影 37 处, 显示冠状动脉闭塞周围有侧支循环者 29 处; 相应患者双源 CT 冠状动脉 CTA 显示冠状动脉闭塞远侧血管显影 42 处, 显示冠状动脉闭塞周围有侧支循环者 27 处。介入冠状动脉造影及及双源 CT 冠状动脉 CTA 两种方法显示冠状动脉闭塞远侧血管显影处均多于侧支循环显影处($p > 0.05$, 差异无统计学意义)。双源 CT 冠状动脉 CTA 对冠状动脉闭塞远侧血管显影率略高于介入冠状动脉造影(介入冠状动脉造影对冠状动脉闭塞远侧血管侧显示率为 46.25%, 双源 CT 冠状动脉 CTA 对冠状动脉闭塞远侧血管的显示率为 52.5%), 介入冠状动脉造影显示冠状动脉闭塞周围侧支循环处略高于双源 CT 冠状动脉 CTA(介入冠状动脉造影对冠状动脉闭塞周围侧支循环的显示率为 36.25%, 双源 CT 冠状动脉 CTA 对冠状动脉闭塞周围侧支循环的显示率为 33.75%), 差异无统计学差异($p > 0.05$, 差异无统计学意义)。

Table 1. Display rate of DS-CTA and CAG on CCC and distal vessels around coronary occlusion

表 1. DS-CTA 及 CAG 对冠状动脉闭塞周围 CCC 及远侧血管的显示率

	显示 CCC	未显示 CCC	显示率%	显示远侧血管	未显示远侧血管	显示率%
CAG	29	51	36.25	37	43	46.25
DS-CTA	27	53	33.75	42	38	52.5

缩写: DS-CTA = 双源 CT 冠状动脉 CTA, CAG = 介入冠状动脉造影, CCC = 冠状动脉侧支循环。

上表数据表明 CAG 及 DS-CTA 两种方法显示冠状动脉闭塞远侧血管显影处均多于 CCC 显影处; DS-CTA 对闭塞远侧血管显影率略高于 CAG; CAG 对 CCC 显影率略高于 DS-CTA。

3.2. 介入冠状动脉造影与双源 CT 冠状动脉 CTA 对冠状动脉闭塞周围侧支循环及远侧血管的评估

介入冠状动脉造影对 80 处闭塞病变检查, 其中冠状动脉侧支循环建立组中共发现 29 处(Rentrop1~3 级)。Rentrop1 级为 11 处, Rentrop2 级为 13 处, Rentrop3 级为 5 处。双源 CT 冠状动脉 CTA 检查中冠状动脉侧支循环建立组中共发现 27 处, 冠状动脉 CTA 分级诊断显示 Rentrop1 级 12 处, Rentrop2 级 10 处, Rentrop3 级 5 处。双源 CT 冠状动脉 CTA 漏诊的 2 处冠状动脉侧支循环均为 Rentrop1 级。误诊 3 例, 均为 Rentrop2 级误诊为 Rentrop1 级。使用卡方检验分析示, 2 种分级法之间的差异无统计学意义(p 值分别为 0.992、0.987, p 值 > 0.05 , 差异无统计学意义), 因此, 在冠状动脉完全闭塞临床应用中可以用冠状动脉 CTA 检查方法代替介入冠状动脉造影初步评价冠状动脉侧支循环情况, 根据表 2 数据我们同时发现冠状动脉闭塞远侧血管显影分级以 3 级为主, 而冠状动脉侧支循环分级以 1 级为主。

Table 2. Classification of collateral circulation and distal vessels around coronary occlusion by interventional coronary angiography and coronary CTA**表 2.** 介入冠状动脉造影和冠状动脉 CTA 对冠状动脉闭塞周围侧枝循环及远侧血管的分级显示

CAG/DS-CTA 分级(Rentrop)		1 级	2 级	3 级
CCC	CAG	11	13	5
	DS-CTA	10	12	5
X ²		0.016		
P 值		0.992		
闭塞远侧血管	CAG	8	12	17
	DS-CTA	9	13	20
X ²		0.026		
P 值		0.987		

缩写: DS-CTA = 双源 CT 冠状动脉 CTA, CAG = 介入冠状动脉造影, CCC = 冠状动脉侧枝循环。

上表数据表明 DS-CTA 对 CCC 分级及冠状动脉闭塞远侧血管分级与 CAG 的 Rentrop 分级差异进行卡方检验, p 值 > 0.05 , 差异无统计学意义。冠状动脉闭塞远侧血管分级以 3 级为主, CCC 分级以 1 级为主。

4. 讨论

冠状动脉慢性完全闭塞病变(chronic total occlusion, CTO)是指介入冠状动脉造影发现冠状动脉局部管腔闭塞, 前向血流消失, 冠状动脉造影心肌梗死溶栓(thrombolysis in myocardial infarction, TIMI)分级 0 级且持续时间大于 3 个月。CTO 病变在临床中占行介入冠状动脉造影患者的 20%~30% [1] [2]。慢性冠状动脉闭塞的临床表现除了与冠状动脉狭窄程度、器官对缺血的敏感性及疼痛阈值不同有关外, 还与冠状动脉侧支循环(coronary collateral circulation, CCC)情况有关[12]。而且很多研究认为冠状动脉侧支循环不但可以缓解临床症状, 防止或减少心肌梗死面积, 并且可以通过一些方法促进冠状动脉侧支循环生成作为冠心病患者的一种治疗手段[9] [10]。所以准确地对冠状动脉侧支循环状况作出评价, 对指导临床如何干预, 改善患者临床症状, 改变临床预后均有很大益处。

人体正常心脏左右冠状动脉之间就存在广泛的微循环网络连接, 这些微循环网络连接即使在介入冠状动脉造影上也不可见。但当出现冠状动脉重度狭窄或闭塞时, 这些潜在的微循环网络通道就会扩张并形成冠状动脉侧支循环[11] (如图 1~4 所示)。冠状动脉侧支循环血流量的多少取决于开放并形成的侧支循环血管的管径和数量。尽管已有很多学者通过直接观测冠状动脉侧支循环血管的显影证明了 CTA 可准确评价冠状动脉闭塞病变的侧支循环情况[12], 在本文中笔者通过直接观测冠状动脉闭塞周围侧支循环也证明了这一点, 但鉴于冠状动脉侧支循环的潜在存在性, 当冠状动脉闭塞开发的侧支循环数量丰富而管径细小甚至在肉眼观测水平之下时, 介入冠状动脉造影及冠状动脉 CTA 检查均很难直接观测冠状动脉侧支循环情况并进行评价。冠状动脉闭塞远侧血管充盈血液来源于侧支循环, 所以通过观测冠状动脉闭塞远侧血管显影情况可以间接评价冠状动脉侧支循环情况, 特别是冠状动脉侧支循环网管径细小时(如图 5、图 6 所示)。冠状动脉闭塞远侧血管的充盈情况不仅可以很好反映当冠状动脉侧支循环血管粗大时的逆向血流情况, 而且能很好的反映当冠状动脉侧支循环血管数量众多而管径细微时侧支循环血流情况。且冠状动脉闭塞远侧血管较粗大, 在肉眼观察范围内, 易于影像科及临床医师进行观察和评价。已有研究表明冠状动脉 CTA 评估冠状动脉病变特征有助于提示冠状动脉闭塞病变治疗的成功率及预测远期心血管事件的发生[13], 冠状动脉 CTA 可通过判断冠状动脉闭塞远侧血管充盈情况定性判断闭塞血管的侧

枝循环[14]。本研究通过冠状动脉闭塞远侧血管及侧枝循环的分级研究也证明冠状动脉 CTA 所显示的冠状动脉闭塞远侧血管充盈程度越高, 其侧枝循环越丰富。所以冠状动脉 CTA 因可通过观察冠状动脉闭塞远侧血管充盈情况更准确的间接评估冠状动脉侧枝循环的形成情况, 故或可被用于检测冠状动脉闭塞患者中无法进行 PCI 及 CABG 手术治疗者的冠状动脉侧枝循环情况。部分冠心病患者因各种原因选择进行促进冠状动脉侧枝循环生成之类治疗方法, 我们也可以对这些病人通过冠状动脉 CTA 观测冠状动脉闭塞远侧血管情况来评价治疗疗效。此外, 本研究所提出的冠状动脉 CTA 对冠状动脉闭塞侧枝循环分级及冠状动脉闭塞远侧血管分级与介入冠状动脉造影的 Rentrop 分级有着良好的相关性。而 Rentrop 分级与 CTO 患者的预后密切相关, 因此, 冠状动脉 CTA 对冠状动脉闭塞侧枝循环的分级也可用于冠心病预后的评估。

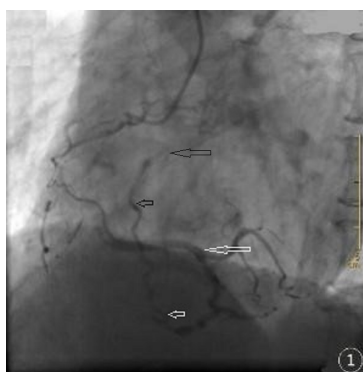


Figure 1. Interventional coronary artery image
图 1. 介入冠状动脉图像



Figure 2. Coronary CTA CPR image
图 2. 冠状动脉 CTA CPR 图像



Figure 3. Coronary CTA VR image
图 3. 冠状动脉 CTA VR 图像

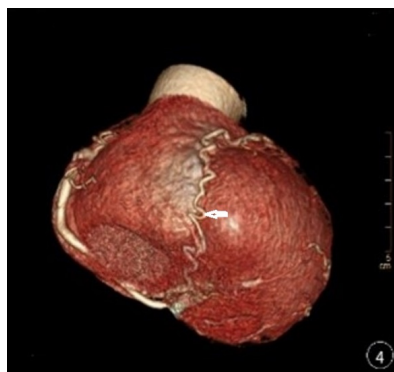


Figure 4. Coronary CTA VR image
图 4. 冠状动脉 CTA VR 图像

图 1~4 患者, 男, 79 岁, 冠心病史 5 年, 吸烟史 50 年。如图 1 所示: 可见心尖区来自右冠状动脉(白长箭头)粗大侧支循环影(白短箭头)与冠状动脉闭塞远侧血管(黑短箭头)连通, 左前降支闭塞处(黑长箭头)未见造影剂充盈, 冠状动脉侧支循环分级为 Rentrop3 级。如图 2~4 所示: 均清楚显示冠状动脉侧支循环(白短箭头)。如图 3 所示: 可见心脏冠状动脉左前降支闭塞处(白长箭头), 冠状动脉侧支循环分级为 Rentrop3 级。

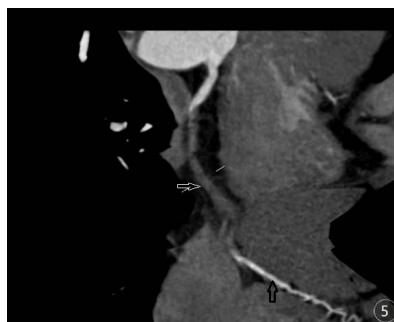


Figure 5. Coronary CTA reconstructed image
图 5. 冠状动脉 CTA 重建图像

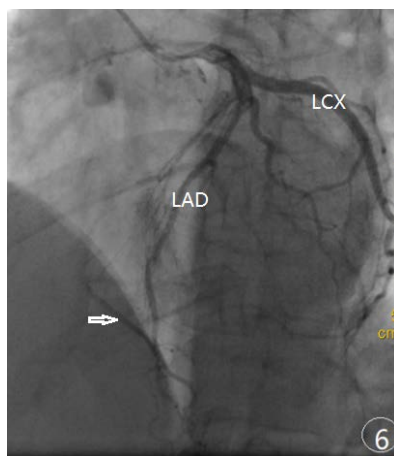


Figure 6. Interventional coronary angiography image
图 6. 介入冠状动脉造影图像

图 5、图 6 患者, 男, 45 岁, 心前区不适 1 月。如图 5 所示: 显示右冠状动脉管腔闭塞处(白箭头), 闭塞远侧血管(黑箭头)充盈良好。如图 6 所示: 显示右冠状动脉闭塞远侧血管(白箭头)造影剂倒灌, 冠状动脉侧支循环血管纤细显示不清。

介入冠状动脉造影是评估冠状动脉侧支循环使用最广泛的侵入性方法。但因有创性、价格昂贵等限制了其广泛应用。冠状动脉 CTA 作为诊断冠状动脉疾病的非侵入性检查方法, 具有更好的可视性, 精确度高, 且并发症更少[15][16][17][18]。考虑到冠状动脉闭塞仍有闭塞远侧血管显影, 而闭塞远侧血管的显影即预示侧支循环的存在, 我们在观测冠状动脉侧支循环的同时记录了闭塞远侧血管的显影情况, 发现两种方法显示冠状动脉闭塞远侧血管显影例数均多于冠状动脉侧支循环例数, 且冠状动脉闭塞远侧血管分级以 3 级为主, 与观测到的冠状动脉侧支循环分级正好相反, 可以说明用闭塞远侧血管的显影来预测冠状动脉侧支循环情况较直接观测冠状动脉侧支循环情况更加有效敏感。这与文献报道闭塞远侧血管可以预测冠状动脉侧支循环情况是一致的[14][19]。

本研究结果显示, 双源 CT 冠状动脉 CTA 检查漏诊 2 冠状动脉侧支循环均为 1 级。误诊 3 均为 Rentrop2 级误诊为 Rentrop1 级。笔者分析原因如下: 1) 虽然 Semens Definition 双源 CT 的时间分辨力达到 75 ms, 并且可以使用前瞻性心电门控技术使扫描角度从 260°增至 460°, 且能够在 R-R 间期预设时间点基础上 $\pm 8\%$ R-R 范围进行图像采集, 进而增加采集时间窗范围[20]。但双源 CT 冠状动脉 CTA 的空间分辨率及时间分辨率仍逊色于介入冠状动脉造影, 有时双 CT 冠状动脉 CTA 的图像质量多少会受到心率的伪影干扰; 2) 双源 CT 冠状动脉 CTA 是经外周静脉注射对比剂, 对比剂经外周静脉回流经肺循环后到达冠状动脉使冠状动脉成像。而介入冠状动脉造影是选择性造影, 直接向目标冠状动脉注射对比剂; 因此, 介入冠状动脉造影更容易清楚显示纤细的冠状动脉侧支循环。此外双源 CT 冠状动脉 CTA 是静态图像重建, 而介入冠状动脉造影为动态影像, 可实时观察冠状动脉侧支循环的情况; 3) 影像工作人员存在主观认识及结果评判差异以及在冠状动脉 CTA 图像重建及后处理中由于水平不同亦造成漏误诊。鉴于冠状动脉侧支循环易于漏误诊的情况, 研究认为冠状动脉闭塞远侧血管由于管径较粗, 血流量大, 基本都在肉眼观察范围内, 更易于观测评价。而且冠状动脉闭塞远侧血管分级级别以 2 级及 3 级为主, 对于冠状动脉侧支循环丰富而细小的情况评价更加准确, 可以弥补无法观测到细小冠状动脉侧支循环的情况。冠状动脉 CTA 由于软组织显影的优势对闭塞远侧血管有无狭窄、斑块情况、管径、长度等都可有更全面的评价。虽然冠状动脉 CTA 不能完全替代介入冠状动脉造影, 但冠状动脉 CTA 检测冠状动脉侧支循环中具有的高敏感度及特异度, 以及对冠状动脉闭塞远侧血管显影的独特优势说明冠状动脉 CTA 可以作为一种无创、快速、优质的检查为临床快速有效地评估患者冠状动脉情况。

5. 结论

总之, 冠状动脉 CTA 能够较准确地发现冠状动脉闭塞后冠状动脉侧支循环建立情况, 能准确地显示冠状动脉闭塞远侧血管情况, 以冠状动脉 CTA 判断冠状动脉闭塞远侧血管显影及侧支循环形成情况有较高价值, 特别是通过观测冠状动脉闭塞远侧血管显影间接推测冠状动脉侧支循环形成状况更加敏感。能够对冠心病的治疗和预后判断提供帮助。

参考文献

- [1] Koelbl, C.O., Nedeljkovic, Z.S. and Jacobs, A.K. (2018) Coronary Chronic Total Occlusion (CTO): A Review. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, **19**, 33-39. <https://doi.org/10.31083/j.rcm.2018.01.906>
- [2] Werner, G.S., Martin-Yuste, V., Hildick-Smith, D., et al. (2018) A Randomized Multicentre Trial to Compare Revascularization with Optimal Medical Therapy for the Treatment of Chronic Total Coronary Occlusions. *European Heart Journal*, **39**, 2484-2493. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy220>
- [3] Stone, G.W., Kandzari, D.E., Mehran, R., et al. (2005) Percutaneous Recanalization of Chronically Occluded Coronary Arteries: A Consensus Document: Part I. *Circulation*, **112**, 2364-2372. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.104.481283>
- [4] Sianos, G., Werner, G.S., Galassi, A.R., et al. (2012) Recanalisation of Chronic Total Coronary Occlusions: 2012 Consensus Document from the EuroCTO Club. *EuroIntervention*, **8**, 139-145. <https://doi.org/10.4244/EIJV8I1A21>

- [5] Pohl, T., Seiler, C., Billinger, M., *et al.* (2001) Frequency Distribution of Collateral Flow and Factors Influencing Collateral Channel Development Functional Collateral Channel Measurement in 450 Patients with Coronary Artery Disease. *JACC: Journal of the American College of Cardiology*, **38**, 1872-1878. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(01\)01675-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(01)01675-8)
- [6] Billinger, M., Kloos, P., Eberli, F.R., *et al.* (2002) Physiologically Assessed Coronary Collateral Flow and Adverse Cardiac Ischemic Events: A Follow-Up Study in 403 Patients with Coronary Artery Disease. *JACC: Journal of the American College of Cardiology*, **40**, 1545-1550. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(02\)02378-1](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(02)02378-1)
- [7] Meier, P., Hemingway, H., Lansky, A.J., *et al.* (2012) The Impact of the Coronary Collateral Circulation on Mortality: A Meta-Analysis. *European Heart Journal*, **33**, 614-621. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehr308>
- [8] Li, M., Zhang, J., Pan, J., *et al.* (2013) Obstructive Coronary Artery Disease: Reverse Attenuation Gradient Sign at CT Indicates Distal Retrograde Flow—A Useful Sign for Differentiating Chronic Total Occlusion from Subtotal Occlusion. *Radiology*, **266**, 766-772. <https://doi.org/10.1148/radiol.12121294>
- [9] 王元会, 励建安, 顾劲扬, 等. 心肌周缺血频率对冠状动脉侧支循环生成的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2006, 28(1): 5-9.
- [10] Petrovic, M.T., Djordjevic-Dikic, V., *et al.* (2020) The Coronary Arteriogenesis with Combined Heparin and Exercise Therapy in Chronic Refractory Angina (CARHEXA) Trial: A Double-Blind, Randomized, Placebo-Controlled Stress Echocardiographic Study. *European Journal of Preventive Cardiology*. <https://doi.org/10.1177/2047487320915661>
- [11] Seiler, C. (2010) The Human Coronary Collateral Circulation. *European Journal of Clinical Investigation*, **40**, 465-476. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2362.2010.02282.x>
- [12] 谢丽响, 徐凯, 刘忠啸, 许旭光. 冠状动脉 CT 血管成像对冠状动脉闭塞患者侧支循环形成的评估价值[J]. 山东医药, 2019, 59(5): 50-52.
- [13] Opolski, M.P., Achenbach, S., Schuhback, A., Rolf, A., *et al.* (2015) 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). *JACC: Cardiovascular Interventions*, **8**, 257-267. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2014.07.031>
- [14] 陈亚磊, 王瑞, 贺毅, 等. 冠状动脉 CT 血管成像腔内衰减梯度评价慢性完全闭塞病变侧支循环及其影响因素[J]. 中华心血管病杂志, 2017, 45(10): 857-861.
- [15] Sugaya, T., Oyama-Manabe, N., Yanaguchi, T., Yoshida, T., *et al.* (2016) Visualization of Collateral Channels with Coronary Computed Tomography Angiography for the Retrograde Approach in Percutaneous Coronary Intervention for Chronic Total Occlusion. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*, **10**, 128-134. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2016.01.003>
- [16] 陆芳, 齐琳, 毛定飏, 陈阳, 李铭, 滑炎卿. 64层 CTA 评价冠状动脉侧支循环的能力: 与冠状动脉造影的比较[J]. 国际医学放射学杂志, 2013, 36(4): 307-310.
- [17] 谢丽响, 徐凯, 程广军, 刘忠啸, 胡春峰, 许旭光, 路莉, 韩曙光, 刘盼盼, 朱远. 冠状动脉 DSCT 血管成像在评估冠状动脉侧支循环中的应用价值[J]. 临床放射学杂志, 2017, 36(11): 1612-1617.
- [18] 夏兆云, 周强. 多层螺旋 CT 血管成像评估冠状动脉闭塞患者侧支循环的应用价值[J]. 血管与腔内血管外科杂志, 2020, 6(4): 309-312.
- [19] Li, M.H., Zhang, J.Y., Pan, J.W., Lu, Z.G., *et al.* (2013) Obstructive Coronary Artery Disease: Reverse Attenuation Gradient Sign at CT Indicates Distal Retrograde Flow—A Useful Sign for Differentiating Chronic Total Occlusion from Subtotal Occlusion. *Radiology*, **266**, 766-772. <https://doi.org/10.1148/radiol.12121294>
- [20] 黄涛, 何其舟, 张艳丽, 余飞, 梁卡丽. 双源 CT 自适应前瞻性心电门控在老年冠心病患者冠脉成像中的应用[J]. 中国老年学杂志, 2021, 41(3): 459-462.