

论 著

SSF技术对冠脉CT血管成像的优化及PCI术后
再狭窄患者的评估价值
探讨*

付雨菲¹ 熊 鑫^{2,*}
1.黄石市中心医院 (湖北 黄石 435000)
2.黄石市第五医院 (湖北 黄石 435000)

【摘要】目的 探讨冠状动脉追踪冻结技术(SSF)在提高PCI术后CCTA图像质量中的作用并研究其在评估支架内再狭窄中的效能。方法 纳入2020年5月至2022年10月在我院行冠状动脉支架植入术后复查的127名(179支支架)患者。按照心率的高低分为高心率组(心率>70次/分)和低心率组(心率≤70次/分),均行常规技术重建及SSF技术重建,其中71名患者(共106支支架)在术后1年内行冠脉造影。对比两种技术重建的冠状动脉支架CTA图像质量在主观评分上的差异。将冠脉造影检查作为“金标准”,比较常规技术重建和SSF技术重建在评估冠脉狭窄方面的一致性及诊断效能。结果 高心率组常规技术重建冠状动脉支架CTA图像质量平均评分为(3.23±0.427),SSF技术为(3.81±0.467)。低心率组常规技术重建图像质量平均评分为(3.98±0.458),SSF技术为(4.38±0.490)。以冠脉造影结果为标准,常规技术组灵敏度为80.56%,特异度为97.14%,阳性预测值为93.54%,阴性预测值为90.67%,准确率为91.51%;SSF技术组灵敏度为88.24%,特异度为98.61%,阳性预测值为96.77%,阴性预测值为94.67%,准确率为95.28%。结论 SSF技术可以降低冠状动脉支架术后患者运动伪影及支架伪影,并且较好的应用于支架术后患者的随访评估。

【关键词】冠状动脉追踪冻结技术;
经皮冠状动脉介入治疗术; 支架再狭窄
【中图分类号】R543
【文献标识码】A
【基金项目】湖北理工学院2023年度校级科研项目
(23xjz03W);
黄石市中心医院2023年度院级科研
立项项目(ZX2023Q03)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.06.026

Further Improving Image Quality of
Coronary CT Angiography and Evaluation
Value of Restenosis Patients after PCI with
Snap Shot Freeze Technique*

FU Yu-fei¹, XIONG Xin^{2,*}.
1.Huangshi Central Hospital, Huangshi 435000, Hubei Province, China
2.The Fifth Hospital of Huangshi City, Huangshi 435000, Hubei Province, China

ABSTRACT
Objective To explore the role of coronary artery snap shot freeze technique(SSF) in improving the image quality of CCTA after PCI and its efficacy in evaluating in-stent restenosis. **Methods** A total of 127 patients, who had 179 stents implanted as part of a coronary stent placement procedure at our hospital between May 2020 and October 2022, were incorporated into the subsequent follow-up assessment. According to the heart rate, it is divided into high heart rate group (heart rate>70 beats/min) and low heart rate group (heart rate ≤ 70 beats/min)conventional and SSF techniques were both performed. Among them, 71 patients (106 stents in total) underwent coronary angiography within 3 months after operation. To compare the subjective scores of CTA image quality of coronary artery stent reconstructed by the two reconstruction techniques. Using coronary angiography as the "gold standard" to compare the consistency and diagnostic efficacy of conventional and SSF reconstruction techniques in evaluating coronary stenosis. **Results** The average image quality score of coronary stents reconstructed by conventional technique in high heart rate group was (3.38±0.75), SSF technique was (3.810.467). The average image quality score of coronary stents reconstructed by conventional technique in low heart rate group was (3.980.458), SSF technique was(4.380.490). Based on the results of coronary angiography, the sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value and accuracy of conventional technique group were 80.56%, 97.14%, 93.54%, 90.67% and 91.51% respectively. The sensitivity of SSF technology group was 88.24%, the specificity was 98.61%, the positive predictive value was 96.77%, the negative predictive value was 94.67%, and the accuracy was 95.28%. **Conclusion** SSF can reduce the motion artifacts and stent artifacts of patients after coronary artery stenting, and it is better applied to the follow-up evaluation of patients after stenting.
Keywords: Coronary Artery Snap Shot Freeze Technique; Percutaneous Coronary Intervention; Stent Restenosis

随着我国老龄化进程的加快,冠心病(coronary atherosclerotic disease, CAD)的发病率及致死率逐年增加^[1]。经皮冠状动脉介入治疗术(PCI)是当前治疗冠心病的首选手术方法,支架内再狭窄^[2]是术后并发症之一。冠状动脉造影被认为是PCI术后的患者在随访中判断支架内再狭窄的金标准^[3],但其仅显示血管情况、有创性及价格较高等缺点限制了其应用,而随着CT设备及技术的快速发展,冠状动脉CT血管成像(CCTA)越来越多的应用于临床。但运动伪影及支架伪影影响冠状动脉的显示,因此,好的图像质量是准确判断有无支架内再狭窄的前提。本文旨在探讨SSF技术在提高PCI术后CCTA图像质量中的作用并研究其在评估支架内再狭窄中的效能。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性选择2020年5月1日至2022年10月31日在我院行CCTA检查的127名PCI术后患者,其中男性99例,女性28例,年龄47-70岁,平均(63.03±9.804)岁。合并高血压者52例,合并高血脂者64例,合并2型糖尿病患者57例。根据心率的不同分为两组,心率超过70次/分的为高心率组,心率等于或低于70次/分的为低心率组。高心率组患者64例,男性50例,女性14例,年龄65-80岁,平均(70.20±6.219)岁,低心率组患者63例,男性49例,女性14例,年龄47-66岁,平均(55.7±57.00)岁。

纳入标准:明确诊断为冠心病并接受支架植入手术;术后时间超过6个月;年龄超过30岁。排除标准:合并严重的心肾功能不全;无法耐受冠状动脉CTA或冠脉造影检查者;伴有严重心律失常的患者;图像质量不合格者。

1.2 检查方法 入选患者需先接受冠脉CTA检查,完成后12个月内行冠脉造影检查。
CCTA检查:检查设备为16cm宽体探测器CT(Revolution CT, GE Healthcare),应用回顾性的电门控技术完成检查,扫描参数为:管电压采用KV智能决策技术(KV assist),管电流采用自动管电流控制技术(smart-mA),管球旋转速度为0.28s/周,螺距为0.992:1,准直器宽度为0.625mm,重建图像层厚为0.625mm,层间距为0.625mm。扫描范围上自气管隆嵴下1-2cm水平,下达心脏膈面、左右各大于心缘两侧1-2cm,根据患者体型设定探测器宽度,覆盖的范围为120-160mm。对比剂使用碘克沙醇(320mg I/mL),高压注射器经肘正中静脉进行注射。采用双筒注射对比剂及生理盐水的方式,应用对比剂监测法(Bolus-tracking)自动触发,选定触发点为位于气管分叉

【第一作者】付雨菲,女,主治医师,主要研究方向:心胸影像诊断。E-mail: 1023435444@qq.com
【通讯作者】熊 鑫,男,主治医师,主要研究方向:普通外科。E-mail: 251051914@qq.com

层的升主动脉。注射对比剂后10s开始追踪胸主动脉内CT值的变化，触发阈值设为220Hu，达到阈值后再延迟5.9s扫描(期间有语音会提示患者保持屏气)。按照1.0mL/kg体重注射对比剂，流速5.2-5.5mL/s，注射完对比剂后用相同的流速再注射30mL生理盐水用于冲管。

CAG检查：检查设备为西门子Artis zee血管造影机，对比剂采用碘克沙醇(320mg I/mL)，根据患者的具体情况来选择股动脉或桡动脉进行穿刺，放置6F导管再依次对左冠、右冠进行检查。

1.3 图像后处理及评价 所有患者均行常规技术重建及SSF技术重建。常规技术组的图像是通过智能相位技术选择最佳期相，如果智能相位技术所选的期相不佳，就手动选择最佳期相，并用高分辨算法进行重建以获取最终图像。SSF技术组的图像为最佳期相的图像及其前后约80ms期相的共3期图像，均用高分辨算法进行图像重建。重建后的图像数据传输至AW4.7后处理工作站，后处理方法包括多平面重建(multiplanar reconstruction, MPR)、容积再现(volume rendering, VR)、曲面重建(curve planar reformation, CPR)和最大密度投影(maximal intensity projection, MIP)。

主观评价：由2名放射科医师进行主观评分，应用Likert 评分法^[4]，分为以下5级。5分表示图像质量极佳，完全没有噪声和运动伪影，组织结构的显示非常清楚；4分表示图像质量良好，存在少量噪声和伪影，但组织结构的细节仍然显示清晰；3分表示图像质量一般，有明显的噪声和伪影，但组织结构的细节仍然可以辨认；2分表示图像质量较差，噪声和伪影较多，组织结构的显示不够清楚；1分表示扫描失败，图像质量极差，组织结构难以辨认。评分在3到5分之间的图像被认为是可评估的图像。

支架内再狭窄评价：CCTA图像的支架内再狭窄诊断是由两位具有工作经验5年以上的放射科医师独立完成的。根据多相位重建的结果来判断，如果狭窄程度大于或等于正常管径的50%，则

视为阳性；如果小于50%，则视为阴性。当两位医师的意见不一致时，需要共同讨论以达成共识。CAG图像的支架内再狭窄诊断则由两位具有工作经验5年以上的介入科医师使用目测法^[5]完成。如果狭窄程度大于或等于正常管径的50%，则诊断为阳性；如果小于50%，则诊断为阴性。在出现意见分歧的情况下，两位医师也会通过共同讨论来解决。

1.4 统计学分析 采用SPSS 27.0软件进行数据分析。用率(%)来表示计数资料，采用 χ^2 检验。用(平均值标准差)来表示计量资料，采用Wilcoxon秩和检验来分析图像的主观质量评分。用Kappa检验评价一致性，Kappa值>0.75表示一致性较好。以 $P<0.05$ 时判断为有统计学差异。

2 结 果

2.1 主观评价结果 由表1可知，两组的图像质量评分有统计学差异($P<0.05$)，SSF技术的图像质量评分均高于常规技术组图像质量评分，且高心率组提高的较低心率组多。由表2可知，在同一重建方法中，两组的图像质量评分有统计学差异($P<0.05$)，低心率组均高于高心率组。

2.2 支架内再狭窄评价结果 71名患者共植入106枚支架，冠脉造影评价支架内再狭窄阳性31枚，阴性75枚；常规技术组阳性36枚，阴性70枚，SSF技术组阳性34枚，阴性72枚。以冠脉造影的结果为标准，在常规技术组中，对支架内再狭窄程度的评价一致性为(Kappa=0.804)，在SSF技术组中，一致性更为显著(Kappa=0.889)。以狭窄程度达到或超过50%正常管径定义为阳性时，常规技术组灵敏度为80.56%，特异度为97.14%，阳性预测值为93.54%，阴性预测值为90.67%，准确率为91.51%；SSF技术组灵敏度为88.24%，特异度为98.61%，阳性预测值为96.77%，阴性预测值为94.67%，准确率为95.28%。

表1 不同心率组支架图像质量评分

	常规技术组图像质量评分	SSF技术组图像质量评分	P值	Z值
高心率组	3.23±0.427	3.81±0.467	<0.05	6.083
低心率组	3.98±0.458	4.38±0.490	<0.05	5.000
合计	3.61±0.580	4.09±0.555	<0.05	7.874

表2 不同重建方法组支架图像质量评分

	高心率组	低心率组	P值	Z值
常规技术组	3.23±0.427	3.98±0.458	<0.05	6.176
SSF技术组	3.81±0.467	4.38±0.490	<0.05	5.245

表3 常规技术组对PCI术后支架内再狭窄的评价

常规技术组	冠脉造影		
	阳性	阴性	合计
阳性	29	7	36
阴性	2	68	70
合计	31	75	106

表4 SSF技术组对PCI术后支架内再狭窄的评价

SSF技术组	冠脉造影		
	阳性	阴性	合计
阳性	30	4	34
阴性	1	71	72
合计	31	75	106

表5 常规技术组和SSF技术组与冠脉造影对支架内再狭窄检查结果的比较

	灵敏度(%)	特异度(%)	阳性预测值(%)	阴性预测值(%)	准确率(%)
常规技术组	80.56	97.14	93.54	90.67	91.51
SSF技术组	88.24	98.61	96.77	94.67	95.28
χ^2	3.247	3.434			
P	0.072	0.105			



图1A-图1D 男性，42岁，右冠状动脉PCI术后。图1A为常规技术组图像，图1B为SSF技术组图像，可见SSF技术有效减轻支架伪影。图1C为常规技术组CPR图像，图1D为SSF技术组CPR图像，支架内显示情况较图1C清晰。

图2A-图2B 男性，64岁，左主干及左前降支PCI术后。图2A为冠脉造影，显示支架内造影剂充盈良好，支架内再狭窄阴性。图2B为SSF技术组CPR图像，管壁可见钙化斑块，判断为支架内再狭窄阳性。

3 讨论

冠心病患者接受PCI治疗能有效的减轻临床症状并改善预后，但术后需进行定期随访。虽然判断支架内再狭窄的金标准仍然是冠脉造影，但常规CCTA检查由于其无创性、诊断的高灵敏度和高特异度及价格较低的优点^[6]已广泛应用于PCI术后的支架随访评估，但金属支架的硬化伪影及晕状伪影会影响支架形态及细微结构的显示。

冠状动脉追踪冻结技术(snap shot freeze, SSF)是一种运动校正重建技术，它通过捕捉一个心动周期及其前后80ms的共3个期相的血管运动数据，来记录冠状动脉的运动速度和幅度，补偿靶期相冠脉血管的残余运动，以确定靶期相血管的实际位置从而得到冠状动脉的冻结图像信息^[7]。本研究结果显示在心率较低的情况下，常规技术的重建就可以获得较优秀的冠脉血管图像，而在心率较高时，常规技术重建的图像质量降低，SSF技术使用校正算法来降低了运动伪影及支架伪影，说明SSF技术可以有效提高图像质量。而在两种不同的重建方法中，低心率组的图像质量评分均优于高心率组，同时，SSF技术在提升高心率患者的图像质量方面效果更为显著。有研究^[8]表明，SSF技术在改善右冠状动脉和支架的图像质量方面效果更加突出，在本研究中亦发现此现象，这是由于RCA的走行方向垂直于CT数据的采集方向，且解剖上邻近窦房结受心脏搏动影响较大，使其容易出现运动伪影及支架伪影。

据文献报道^[9-10]PCI术后患者支架内再狭窄的发生率从球囊扩张时代的约45%到裸支架时代的约35%，再到药物涂层时代的约10%，支架再狭窄仍然是影响冠心病治疗效果的重要原因。本研究的106枚支架中发生支架内再狭窄的有31枚，占比29.24%，与既往文献^[11]报道结果相比比例稍高，这可能与本研究中行冠脉造影复查的患者多合并高血压、高血脂、糖尿病有关。贾蕾蕾等^[12]认为高血压合并冠心病的PCI术后患者，糖尿病、长期吸烟、高尿酸等是发生支架再狭窄的独立危险因素。与冠脉造影金标准进行对比，常规技术组的灵敏度达到80.56%，特异度达到97.14%，准确率达到91.51%，而SSF技术组的灵敏度达到88.24%，特异度达到98.61%，准确率达到95.28%，且两种方法的Kappa值均大于0.8，说明不论常规技术还是SSF技术均能诊断大部分的支架再狭窄患者，CCTA可以有效应用于PCI术后随访的患者。当冠脉管壁出现明显的钙化时，表现为不规则的高密度影，这时容积效应会导致图像质量下降，特别是当支架所在的血管壁存在弥漫性钙化斑块时，由于射线硬化效应的影响，对管腔狭窄程度的判断会产生较大的误差。本研究中常规技术组和SSF技术组误诊的病例均受钙化斑块影响管腔狭窄程度的判断。

本研究也存在一些不足之处：第一，仅对支架图像质量进行评分，未进行冠状动脉标准分段评分。第二，冠脉支架内再狭窄评估与支架材质、位置及长度等因素有关，在后续会对不足之处进一步研究。

综上所述，SSF技术可以降低冠状动脉支架术后患者运动伪影及支架伪影，从而提高图像质量，并且较好的应用于支架术后患者的随访评估。

参考文献

- [1] 曹宇, 崔爱超, 王宝宝, 等. 中药治疗老年冠心病稳定型心绞痛的研究进展[J]. 中国中医急症, 2019, 28(9): 1669-1671.
- [2] Pleva L, Kukla P, Hlinomaz O. Treatment of coronary in-stent restenosis: a systematic review[J]. J Geriatr Cardiol, 2018, 15(2): 173-184.
- [3] 赵童童, 李涛, 尚进伟, 等. 多层螺旋CT和冠脉造影评估冠心病诊断及经皮冠状动脉介入治疗术后评估支架内再狭窄研究[J]. 中国医学装备, 2022, 19(1): 77-81.
- [4] 王怡然, 詹鹤凤, 吴文杰, 等. 基于深度学习的重建算法在CCTA高分辨率成像中的应用[J]. 中国医疗设备, 2021, 36(10): 24-27, 39.
- [5] 周喆, 刘长柱, 刘玥, 等. MSCT在冠心病诊断及冠心病PCI术后支架内再狭窄的预测价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2018, 16(8): 2, 78-80.
- [6] 林跃峰, 赵恒宇, 郭英, 等. 新一代心血管专用CT高清扫描模式与迭代重建技术对冠脉支架植入术后CCTA成像的价值[J]. 中国医疗设备, 2022, 37(7): 84-88.
- [7] Sun J, Okerlund D, Cao Y, et al. Further improving image quality of cardiovascular computed tomography angiography for children with high heart rates using second-generation motion correction algorithm[J]. J Comput Assist Tomogr, 2020, 44(5): 790-795.
- [8] 陈化, 杜丹丹, 赵小英, 等. SSF技术在冠脉支架植入术后评估的应用价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(7): 97-99.
- [9] Korhonen M, Mustonen P, Hedman M, et al. Left atrial appendage morphology and relative contrast agent concentration in patients undergoing coronary artery CTA[J]. Clin Radiol, 2018, 73(11): 982.e17-982.e26.
- [10] 赵阳, 焦晓民. 冠脉粥样硬化性心脏病经皮冠状动脉介入治疗(PCI)术后支架内再狭窄中西医结合研究现状[J]. 实用中医内科杂志, 2022, 36(5): 59-62.
- [11] 张菲斐. CTA和冠脉造影对冠心病支架植入术后支架内再狭窄的评估价值对比分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(9): 84-85, 114.
- [12] 贾蕾蕾, 张标. 预测高血压合并冠心病PCI术后支架内再狭窄nomogram模型的建立与验证[J]. 中国动脉硬化杂志, 2023, 31(2): 148-156.

(收稿日期: 2023-04-26)

(校对编辑: 孙晓晴)