

论著·临床研究

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2020.15.020

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20200422.1721.026.html\(2020-04-23\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20200422.1721.026.html(2020-04-23))

追踪冻结技术及不同期相重建在冠状动脉成像中的作用研究*

罗勇,曾文兵,熊静娴[△],陈焱,陈浩楠,李建蓉,温云,孔俊洋

(重庆三峡中心医院放射科 404000)

[摘要] **目的** 探讨追踪冻结技术(SSF)及不同期相重建在冠状动脉成像中的应用价值。**方法** 选取2018年1月至2019年4月该院行冠状动脉CT血管成像的210例患者为研究对象,采用前瞻性心电图扫描模式进行标准算法(STD)、45%和75%期相的SSF算法重建,对不同算法重建图像进行质量评分。**结果** SSF算法不同期相重建的冠状动脉总分支、左前降支(LAD)、左回旋支(LCX)和右冠状动脉(RCA)评分均高于STD算法($P<0.05$);LAD在SSF算法的75%期相重建图像评分为(3.87±0.30)分,高于45%期相重建图像评分($P<0.05$);RCA在SSF算法的45%期相重建图像评分为(3.84±0.21)分,高于75%期相重建图像评分($P<0.05$);SSF算法不同期相重建的RCA的2、3段和LAD的6、7段评分均高于STD算法($P<0.05$);RCA的2、3段在SSF算法的45%期相重建图像评分为(3.76±0.23)分,高于75%期相重建图像评分($P<0.05$);LAD的6、7段在SSF算法的75%期相重建图像评分为(3.81±0.29)分,高于45%期相重建图像评分($P<0.05$)。**结论** SSF及不同期相重建能明显提高冠状动脉成像的图像质量。

[关键词] 冠状血管;计算机体层摄影血管造影术;追踪冻结技术;算法;图像处理,计算机辅助**[中图分类号]** R818 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2020)15-2499-04

Study on the role of snapshot freeze technique and different phase reconstruction in coronary artery imaging*

LUO Yong, ZENG Wenbing, XIONG Jingxian[△], CHEN Yao,
CHEN Haonan, LI Jianrong, WEN Yun, KONG Junfeng

(Department of Radiology, Chongqing Three Gorges Central Hospital, Chongqing 404000, China)

[Abstract] **Objective** To explore the application value of snapshot freeze technique (SSF) and different phase reconstruction in coronary artery imaging. **Methods** From January 2018 to April 2019, 210 patients underwent coronary artery CT angiography in hospital, the standard algorithm (STD), 45% and 75% phase SSF algorithm were reconstructed by prospective electrocardiogram gated scanning mode, and the quality of reconstructed images in different algorithms was evaluated. **Results** The total branch, left anterior descending (LAD), left circumflex (LCX) and right coronary artery (RCA) scores of SSF algorithm in different phases were higher than those of STD algorithm ($P<0.05$); The score of LAD in 75% phase reconstruction image of SSF algorithm was (3.87±0.30) point, which was higher than that in 45% phase reconstruction image ($P<0.05$); The score of RCA in 45% phase reconstruction image of SSF algorithm was (3.84±0.21) point, which was higher than that in 75% phase reconstruction image ($P<0.05$); The scores of 2 and 3 segments of RCA and 6 and 7 segments of LAD reconstructed by SSF algorithm were higher than those of STD algorithm ($P<0.05$); The score of 2 and 3 segments of RCA in 45% phase reconstruction image of SSF algorithm was (3.76±0.23) point, which was higher than that of 75% phase reconstruction image ($P<0.05$); The score of 6 and 7 segments of LAD in 75% phase reconstruction image of SSF algorithm was (3.81±0.29) point, which was higher than that of 45% phase reconstruction image ($P<0.05$). **Conclusion** SSF and different phase reconstruction can significantly improve the image quality of coronary artery imaging.

[Key words] coronary vessels; computed tomography angiography; snapshot freeze technique; algorithms; image processing, computer-assisted

* 基金项目:重庆市科技委员会社会事业与民生保障科技创新项目(cstc2017shmsA10002)。 作者简介:罗勇(1979—),副主任医师,本科,主要从事胸部影像学研究。 [△] 通信作者, E-mail: xiongjx96@126.com。

尽管心血管疾病的病死率正在下降,冠状动脉粥样硬化性心脏病(冠心病)仍是常见的死亡原因^[1]。但在冠状动脉 CT 检查中,心脏搏动是影响冠状动脉成像质量的最重要因素,心率越快,冠状动脉 CT 成像潜在的参数会对诊断的准确性造成影响^[2]。冠状动脉 CT 可提高时间分辨率并能够在患者心率较快的情况下获得冠状动脉成像,但也有可能造成运动伪影。运动伪影是影像诊断结果的一个重要因素,若解决这一问题,需要有更加精密的设备来鉴别。冠状动脉追踪冻结技术(snapshot freeze, SSF)是临床上较为新型的软件技术,其通过处理单个心动周期内相邻心脏时相的图像信息对血管运动进行描述,可获得血管运动并对冠状动脉运动导致的伪影进行补偿,以提高图像质量^[3]。本研究将探讨 SSF 及不同期相重建在冠状动脉成像中的应用价值,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2018 年 1 月至 2019 年 4 月于本院行冠状动脉 CT 血管成像的 210 例患者为研究对象。纳入标准:(1)行前瞻性心电门控扫描;(2)扫描前心率为 60~85 次/分;(3)能配合完成检查;(4)患者及家属知情同意。排除标准:(1)有支架、旁路移植术等心脏手术史;(2)明显心律不齐。所有患者中男 119 例,女 91 例;年龄 31~80 岁,平均(57.20±11.84)岁;BMI 20.12~26.78 kg/m²,平均(23.15±2.42)kg/m²。

1.2 方法

1.2.1 检查方法

采用美国 GE 公司 Revolution CT 行冠状动脉血管成像检查,先行冠状动脉 CT 平扫检查,再行 CT 增强扫描,增强扫描时用双筒高压注射器经右肘前静脉注入非离子对比剂碘普罗胺 40~60 mL,注射流率为 4.5~5.5 mL/s。对升主动脉增强过程进行检测,扫描速度 0.28 s/360°,扫描范围从支气管分叉部至心底,运用前瞻性心电门控模式进行标准算法(STD)、45%和 75%期相的 SSF 算法重建,对不同算法重建图像进行质量评分。

1.2.2 图像分析

两位经验丰富的医师参照美国心脏协会开发的 15 段冠状动脉分段方法,以双盲方式对图像质量进行评分^[4]。1 分判为较差:血管不连续,阶梯、错层伪影严重,血管壁模糊重,不能评价狭窄程度,亮度差,不能诊断;2 分判为可以:出现阶梯状的分层伪影,血管壁虽模糊,但亮度较好,可用于诊断;3 分判为质量一般:有阶梯状伪影,血管边缘模糊但可以诊断;4 分判为较良好:无阶梯状伪影,血管壁轻微模糊,可以观察到血管运行,有良好的血管亮度;5 分判为极佳:无伪影,可观察到连续的血管运行,血管亮度清晰。

记录左前降支(left anterior descending, LAD)、左回旋支(left circumflex, LCX)和右冠状动脉(right coronary artery, RCA)的图像质量得分,各节段水平(15 段)图像质量评分。

1.3 统计学处理

采用 SPSS 22.0 软件进行数据分析,图像质量评分采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,比较采用方差分析及 LSD-*t* 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 冠状动脉分支不同重建质量评分比较

SSF 算法不同期相重建的冠状动脉总分支、LAD、LCX 和 RCA 评分均高于 STD 算法($P < 0.05$);LAD 在 SSF 算法的 75%期相重建图像评分高于 45%期相重建图像评分($P < 0.05$);RCA 在 SSF 算法的 45%期相重建图像评分高于 75%期相重建图像评分($P < 0.05$),见表 1。

表 1 冠状动脉分支不同重建质量评分比较($\bar{x} \pm s$, 分)

项目	总分支评分	LAD	LCX	RCA
STD	3.30±0.31	3.03±0.28	3.10±0.32	3.20±0.21
SSF				
75%期相	3.91±0.27 ^a	3.87±0.30 ^a	3.86±0.29 ^a	3.54±0.22 ^a
45%期相	3.88±0.25 ^a	3.42±0.24 ^{ab}	3.84±0.30 ^a	3.84±0.21 ^{ab}
F	9.846	11.416	8.871	12.264
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

^a: $P < 0.05$,与 STD 比较;^b: $P < 0.05$,与 75%期相比较。

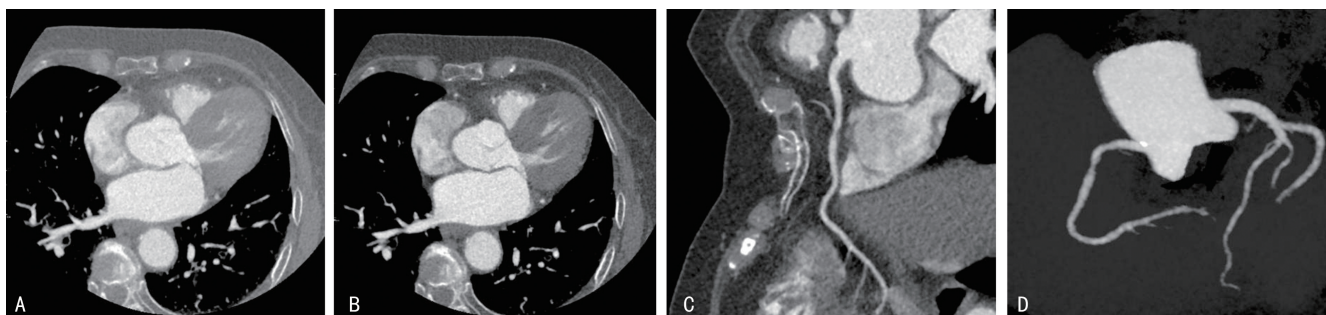
2.2 冠状动脉易产生运动伪影片段的不同重建质量评分比较

冠状动脉中,RCA 的 2、3 段和 LAD 的 6、7 段容易产生运动伪影,本研究共评价 401 段 RCA 的 2、3 段和 410 段 LAD 的 6、7 段。SSF 算法不同期相重建的 RCA 的 2、3 段和 LAD 的 6、7 段的评分均高于 STD 算法($P < 0.05$);RCA 的 2、3 段在 SSF 算法的 45%期相重建图像评分高于 75%期相重建图像评分($P < 0.05$);LAD 的 6、7 段在 SSF 算法的 75%期相重建图像评分高于 45%期相重建图像评分($P < 0.05$),见表 2。

表 2 冠状动脉易产生运动伪影片段的不同重建质量评分比较($\bar{x} \pm s$, 分)

项目	RCA 的 2、3 段	LAD 的 6、7 段
STD	3.12±0.24	3.00±0.21
SSF		
75%期相	3.41±0.26 ^a	3.81±0.29 ^a
45%期相	3.76±0.23 ^{ab}	3.40±0.25 ^{ab}
F	11.392	10.788
P	<0.001	<0.001

^a: $P < 0.05$,与 STD 比较;^b: $P < 0.05$,与 75%期相比较。



A:STD 重建图像;B:SSF 的 45%期相重建图像;C:曲面重组图像;D:容积漫游成像图像。

图 1 典型病例冠状动脉影像图

2.3 典型病例

患者,女,75岁,STD重建图像显示RAC中段模糊,图像质量评分为2分,SSF的45%期相重建图像显示RAC轮廓清晰,图像质量评分为4分,曲面重组图像和容积漫游成像图像显示RAC中段重度狭窄,见图1。

3 讨论

随着科学技术的革新和CT技术的进步,冠状动脉CT血管造影技术已经成熟,为临床检测冠状动脉疾病提供了一种新的无创方法^[5]。冠状动脉CT血管造影术具有非侵入性成像的许多潜在优势,其在3个维度上可视化冠状动脉的能力及在横截面成像的功能。除了可视化斑块和血管壁,冠状动脉CT血管造影术还可实现冠状动脉腔可视化,从而评估一些偏心病变。但使用侵入性冠状动脉血管造影通常无法进行这种评估,且冠状动脉CT血管造影还具有确定其他动脉粥样硬化特征的能力,该信息对于冠心病的诊断和预后极为重要^[6]。

有很多潜在参数可能会影响冠状动脉CT血管造影的诊断准确性,包括心率加快、冠状动脉钙化增强、BMI升高等^[7-8]。在这些限制中,冠状动脉运动是最常见的因素,由于运动伪影,无法诊断出某些冠状动脉节段病变,且运动伪影在心率加快和心律不齐时表现得更为明显^[9]。

心脏是周期性运动的器官,持续快速的心脏运动会在冠状动脉CT血管造影中引起更严重的运动伪影,并影响冠状动脉CT血管造影的诊断结果。因此,良好冻结其运动对冠状动脉CT血管造影具有重要意义^[10]。本研究结果显示:SSF算法不同期相重建的冠状动脉总分支、LAD、LCX和RCA评分均高于STD算法,上述评分方法可以明显提高图像质量和清晰度。传统的STD算法是一种对1800个数据进行连续X线管旋转后处理的算法,用于图像后处理重建^[11]。因此,通过重建算法获得的横截面图像被收集在单个心动周期中,且时间分辨率大约是X射线管旋转1800次的时间。但由于机架旋转速度不够快,导致图像质量要求达不到标准。STD算法利用不同阶

段的心动周期中的数据积分来改善时间分辨率,但不同心动周期的心跳不相同,使这些数据不够完整,从而图像中出现伪影,影响图像质量,心率较快的患者成像很难^[12-13]。

本研究结果显示:LAD在SSF算法的75%期相重建图像评分高于45%期相重建图像评分,SSF算法的45%期相重建图像中的RCA分数高于75%相位重建图像分数。根据冠状动脉的总体运动,LAD的运动速率和轨迹较小,相比之下,RCA更明显,尤其是运动速率最高的RCA。冠状动脉伪影是影响冠状动脉图像质量的主要因素。SSF的出现改善了这一问题,该算法利用单个心动周期中相邻相的图像信息来描述血管运动,有效地缩短了重建时间窗口,补偿了由冠状动脉运动引起的伪影,并提高了图像质量。与多扇区重建不同,SSF算法通过直接作用于冠状动脉的特定运动来整合单个心动周期相邻阶段的信息,对冠状动脉的运动路径和速度进行描述,并校正运动伪影。SSF冠状动脉运动追踪冻结平台可重建出冠状动脉运动轨迹,通过该算法重建的图像在质量和清晰度上有更明显的改善。

本研究结果显示:SSF算法不同期相重建的RCA的2、3段和LAD的6、7段评分均高于STD算法;RCA的2、3段在SSF算法的45%期相重建图像评分高于75%期相重建图像评分;LAD的6、7段在SSF算法的75%期相重建图像评分高于45%期相重建图像评分。分析原因考虑宝石能谱CT冠状动脉SSF可以明显改善冠状动脉图像质量,消除并减少运动伪影。较慢的心率会延长心脏在舒张末期处于静止状态的时间,从而使冠状动脉在该阶段的75%处的时间窗加宽。但心率的增加明显缩短了舒张末期的相对静息期,并使心脏运动最小的时期向前移至45%期。因此,当心率较慢时,应选择75%相位SSF重建图像。较快的心率建议在心脏收缩期(45%阶段)选择SSF重建图像。但在实际工作中,发现某些心率低于70次/分的患者仍会产生局部动脉运动伪影,尤其是在RCA的中部和远端。分析原因:(1)RCA的中长距离运动在心跳周期中最为明显;(2)即使心脏在舒

张末期相对静止,RCA 仍会受到心房收缩的影响,并引起局部运动,从而产生运动伪影。SSF 恰好弥补了这一缺点,使原本具有良好心率控制但由于局部冠状动脉伪影不能满足诊断而需要重新扫描的患者进行深入的诊断。

还有研究发现,对于心率较快且心率变化较大的患者,SSF 还可以明显减少运动伪像并改善图像质量^[14-15]。综上所述,SSF 及不同期相重建能明显提高冠状动脉成像的图像质量,具有较好的应用价值。

参考文献

- [1] VALLÉE A, CINAUD A, BLACHIER V, et al. Coronary heart disease diagnosis by artificial neural networks including aortic pulse wave velocity index and clinical parameters[J]. *J Hypertens*, 2019, 37(8):1682-1688.
- [2] WILLIAMS M C, HUNTER A, SHAH A, et al. Symptoms and quality of life in patients with suspected angina undergoing CT coronary angiography: a randomised controlled trial[J]. *Heart*, 2017, 103(13):995-1001.
- [3] ARENDT C T, TISCHENDORF P, WICHMANN J L, et al. Using coronary CT angiography for guiding invasive coronary angiography: potential role to reduce intraprocedural radiation exposure[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(7):1-7.
- [4] LIANG J, WANG H, XU L, et al. Impact of SSF on diagnostic performance of coronary computed tomography angiography within 1 heart beat in patients with high heart rate using a 256-row detector computed tomography[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2018, 42(1):54-61.
- [5] 李昊岩, 孙记航, 段晓岷, 等. 高心率儿童冠状动脉成像追踪冻结技术的临床应用[J]. *中国医学影像技术*, 2019, 35(4):596-600.
- [6] UZU K, OTAKE H, CHOI G, et al. Lumen boundaries extracted from coronary computed tomography angiography on computed fractional flow reserve (ffrct): validation with optical coherence tomography[J]. *Eurointervention*, 2018, 14(15):e1609-e1618.
- [7] 赵小英, 李露露, 吴兴旺, 等. 宽体探测器 CT 追踪冻结技术对提高冠状动脉图像质量的应用评价[J]. *安徽医学*, 2019, 40(6):606-609.
- [8] BUDOFF M J, LI D, KAZEROONI E A, et al. Diagnostic accuracy of noninvasive 64-row computed tomographic coronary angiography (CCTA) compared with myocardial perfusion imaging (MPI): the PICTURE study, a prospective multicenter trial [J]. *Acad Radiol*, 2017, 24(1):22-29.
- [9] KIM H Y, YONG H S, KIM E J, et al. Value of transluminal attenuation gradient of stress CCTA for diagnosis of haemodynamically significant coronary artery stenosis using wide-area detector CT in patients with coronary artery disease: comparison with stress perfusion CMR [J]. *Cardiovasc J Afr*, 2018, 29(1):16-21.
- [10] 杨仁杰, 查云飞, 杨文兵, 等. 基于运动校正算法的高心率低剂量冠状动脉 CT 血管成像的可行性研究[J]. *临床放射学杂志*, 2017, 36(11):1703-1707.
- [11] 马佳佳, 胡永胜, 高斌, 等. SSF 技术在 CT 冠状动脉成像中的应用[J]. *医学影像学杂志*, 2020, 30(2):192-195.
- [12] 贾永军, 于楠, 贺太平, 等. 能谱 CT 不同虚拟单能量成像对冠状动脉运动追踪冻结技术改善冠状动脉搏动伪影的影响[J]. *临床放射学杂志*, 2018, 37(10):1760-1764.
- [13] YIN W H, YU Y T, ZHANG Y, et al. Contrast medium injection protocols for coronary CT angiography: should contrast medium volumes be tailored to body weight or body surface area? [J]. *Elsevier Ltd*, 2020, 75(5):1-6.
- [14] 方伟, 顾文豪, 郁一凡, 等. 冠状动脉追踪冻结技术在自由心率患者冠状动脉 CT 成像中的应用[J]. *海南医学*, 2018, 29(16):2291-2294.
- [15] FERENCIK M, MAYRHOFER T, LU M T, et al. High-sensitivity cardiac troponin i as a gatekeeper for coronary computed tomography angiography and stress testing in patients with acute chest pain[J]. *Clinical Chemistry*, 2020, 63(11):1724-1733.