

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2020.04.014

智能期相联合 SSF 技术改善冠状动脉 CTA 图像运动伪影 *

王庆国¹ 孟捷¹ 李念云¹ 郑林丰^{1,2Δ}

(1 上海交通大学附属第一人民医院放射科 上海 200080; 2 上海市第一人民医院宝山分院放射科 上海 200940)

摘要 目的:评价智能期相选择(Smart phase)和自动追踪冻结(Snap-Shot-Freeze, SSF)技术联合应用在前门控冠状动脉 CT 血管成像(Coronary CT angiography, CCTA)改善图像运动伪影中的价值。**方法:**94 例疑似心血管疾病的患者行 CCTA 检查。所有患者图像均采用 smart phase、SSF 及 smart phase+SSF 两种技术联合进行后处理。将原始图像(A 组)、smart phase 图像(B 组)、SSF 图像(C 组)和 smart phase+SSF 图像(D 组)导入 GE AW4.6 工作站。对四组患者冠状动脉三大分支(右冠状动脉、左前降支及左旋支)图像质量进行主观评价(5 分法)和测量每组图像主动脉根部及前胸壁肌肉 CT 值和标准差,并计算图像的噪声(Noise, N)、信噪比(Signal-to-noise ratio, SNR)和对比噪声比(Contrast-to-noise ratio, CNR)和比较。**结果:**经 smart phase 处理后, A 组冠状动脉三大分支图像评分均得到了明显提高($P<0.05$)。经 SSF 矫正的 A 组和 B 组冠状动脉三大分支图像质量评分均得到明显提高($P<0.05$)。Smart Phase 联合 SSF 技术得到的图像评分在所有组中评分最高, 与其他组均存在显著差异 ($P<0.05$)。**结论:**Smart phase 联合 SSF 技术可明显改善前门控 CCTA 图像运动伪影, 值得临床推广应用。

关键词:智能期相选择; 自动追踪冻结技术; X 线计算机体层摄影术; 冠状动脉血管成像; 图像质量

中图分类号:R445; R543.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2020)04-669-04

Combination of Smart Phase and Snap-Shot-Freeze Technique Can Correct Image Motion Artifact for Prospectively Gated Coronary CT Angiography*

WANG Qing-guo¹, MENG Jie¹, LI Nian-yun¹, ZHENG Lin-feng^{1,2Δ}

(1 Department of Radiology, Shanghai General Hospital, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200080, China;

2 Department of Radiology, Shanghai First People's Hospital, Baoshan Branch, Shanghai, 200940, China)

ABSTRACT Objective: To evaluate value of combination of smart phase and snap-shot-freeze (SSF) techniques in improvement of image motion artifacts in prospectively gated coronary CT angiography (CCTA) by using a 256-row CT scanner. **Methods:** Coronary CT angiography was performed in 94 patients with suspected cardiovascular disease by using a 256-row revolution CT scanner. All patients' original images were reconstructed by using smart phase, SSF, smart phase and SSF, respectively. The original image (Group A), smart phase image (Group B), SSF image (Group C), smart phase and SSF image (Group D) were imported into the GE AW4.6 workstation. Then image quality of right coronary artery(RCA), left anterior descending artery(LAD) and left circumflex artery(LCx) were evaluated by two experienced readers on GE AW4.6 workstation. Subjective evaluation of the image quality were performed using 5-point scale method in four groups. The CT attenuations and standard deviations of aortic root and anterior chest wall muscle were measured, and then SNR and CNR were calculated and analyzed. **Results:** The scores of the RCA, LAD and LCx of the coronary artery in group A were significantly improved after the smart phase processing ($P<0.05$). The image quality scores of the three branches of coronary artery in group A and group B were obviously improved after motion correction using SSF technique($P<0.05$). The image scores obtained by smart phase combined with SSF technique were the highest in all groups, and there were significant differences between the other groups($P<0.05$). **Conclusion:** Smart phase combined with SSF technique can significantly improve the motion artifacts of prospectively gated CCTA by using revolution CT, which is worthy of widely clinical application.

Key words: Smart phase; Snap-Shot-Freeze (SSF); X-ray computed tomography; Coronary computed tomographic angiography (CCTA); Image quality

Chinese Library Classification (CLC): R445; R543.3 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2020)04-669-04

* 基金项目: 上海市浦江人才计划资助项目(17PJ1408000); 上海市自然科学基金项目(17ZR1422500);

上海交通大学医工(理)交叉基金项目资助(YG2016MS26)

作者简介: 王庆国(1980-), 主治医师, 医学博士, 主要从事医学影像学的医疗、教学和科研, 电话: 13681988757, E-mail: wqg98@126.com

Δ 通讯作者: 郑林丰, 电话: 13564769228, E-mail: zhenglinfeng04@aliyun.com

(收稿日期: 2019-09-21 接受日期: 2019-10-16)

前言

当前我国心血管疾病患病率和死亡率仍处于上升阶段,研究表明心血管病为我国居民死亡首因,占居民疾病死亡构成的40%以上^[1]。因此,及时、准确诊断心血管疾病成为临床的迫切要求。冠状动脉CT成像(Coronary CT angiography, CCTA)仍是心血管疾病无创性检查的首选,提高CCTA的图像质量、减少各种运动伪影干扰是准确诊断和评估心血管病尤其是冠状动脉疾病的前提^[2-10]。然而目前CCTA的图像质量及伪影仍限制或影响其临床应用范围。因此,本文采用了智能期相选择(Smart phase)和自动追踪冻结技术(Snap-Shot-Freeze, SSF)对冠状动脉CT图像进行后处理,评价两种技术联合应用对改善冠状动脉图像质量的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象

收集2017年3月到2017年4月来我院行CCTA检查的疑似心血管疾病患者94例,其中男性49例,女性45例;年龄26~86岁,平均 62.84 ± 9.97 岁;身体质量指数(BMI)为 24.26 ± 3.02 kg/m²;扫描时心率为44~113次/分钟,平均 69 ± 12 次/分钟。

1.2 仪器与方法

扫描前患者禁食6小时,不控制心率,采用revolution CT (GE Healthcare)。对比剂浓度为370 mgI/mL(碘普罗胺,拜耳医药保健有限公司广州分公司),注药量为0.64 mL/kg。采用前门控预估法(auto gating)获得冠脉扫描期相,准直宽度 224×0.625 mm,检查床不动,球管转速0.28 s/r, kVp 100,智能调制管电流,噪声指数设置为25。使用自动触发扫描,监测点为升主动脉处根部,注药10秒后球管曝光监测,间隔1秒监测一次,阈值设为70 HU,检测点CT值达阈值后延迟9.9秒开始图像采集。自由呼吸状态下扫描完毕后,将图像传至图像后处理工作站AW4.6(GE Healthcare)。

1.3 图像后处理及分组

采用smart phase技术根据软件血管自动评分的结果为依据选取最佳期相。采用SSF技术对血管进行自动追踪冻结,减少运动伪影。采用标准算法得到的图像设为A组,smart phase技术自动期相选择后的图像设为B组,经SSF矫正的标准算法图像设为C组,经SSF矫正的smart phase组图像设为D组。

1.4 图像质量评价

由两名高年资(心血管影像诊断>5年)放射科医师在不知道各分组的情况下,对四组图像采用5分法^[11],分别对右冠状动脉(Right coronary artery, RCA)、左前降支(Left ascending artery, LAD)和左旋支(Left circumflex artery, LCx)进行主观评分,把每支冠状动脉所含段中的最低分定义为该支冠状动脉的分数,图像质量评分 ≥ 4 分为优良。根据美国心脏协会(AHA)的分段标准将冠状动脉分为15段,逐段评估。由一名放射科医师在工作站上测量每名患者四组图像升主动脉根部(冠状动脉左主干开口水平)及胸壁肌肉的CT值及标准差,将主动脉根部的CT值标准差作为图像噪声(Noise, N)。计算每支血管的信噪比(Signal-to-noise ratio, SNR)和对比噪声比(Contrast-to-noise ratio, CNR)。

1.5 统计学方法

采用SPSS 16.0软件。各组间图像质量主观评分的比较采用非参数Mann-Whitney检验。组间主动脉根部的噪声、SNR、CNR之间比较采用配对样本的t检验或方差分析。 $P < 0.05$ 为具有统计学意义。

2 结果

本组病例中,采用smart phase技术进行最佳期相选择后,与扫描前auto gating推荐的扫描期相不同的有90例,占所有病例的96.8%。

2.1 图像质量主观评分结果

图1为一代表性病人CCTA图像经smart phase、SSF和smart phase+SSF处理后的图像质量变化。53岁男性患者,心率65次/分,auto gating自动选择扫描期相为75%,smart phase推荐的最佳期相为78%。原始未经矫正的图像,RCA有明显漂移,边缘模糊(图1①,白箭);smart phase自动最佳期相选择后的图像,RCA略有漂移,边缘模糊(图1②,白箭);经过SSF矫正后得到的图像,RCA未见漂移,管壁边缘稍模糊(图1③,白箭);经smart phase+SSF矫正后得到的图像,RCA未见漂移,边缘清楚(图1④,白箭)。图①-④对应扫描序列的容积再现(Volume rendering, VR)图像(图1①-④)和多平面重建(Multiplanar reconstruction, MPR)图像,(图1⑤-⑧)显示RCA(图1白箭)图像质量逐步增加。

A组中RCA、LAD和LCx冠状动脉图像质量优良(4分+5分)血管数分别为44支(47.4%)、71支(76.4%)及68支(73.2%);B组中图像经smart phase自动期相选择后优良血管数分别为71(76.3%)、77(82.8%)及79(84.9%);C组中图像经SSF矫正后优良血管数分别为74(79.6%)、84(90.3%)及80(86.1%);D组中图像经smart phase联合SSF联合矫正后,优良血管数分别为86(92.5%)、85(91.4%)及86(92.5%),有1例患者RCA评分由3分变为4分,LCx无变化,LAD由4分降为3分。

不同组冠状动脉图像质量评分详见表1。统计分析结果表明:各组RCA、LAD和LCx图像主观评分间差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。经SSF矫正的组A和组B图像评分明显提高($P < 0.05$)。经smart phase处理后图像评分明显提高($P < 0.05$)。Smart phase联合SSF技术得到的图像评分在所有组中评分最高,与其他组均存在显著差异($P < 0.05$)。RCA、LAD和LCx图像优良率在A、B、C和D组逐渐增高,其中D组优良率最高,与其他各组均有统计学差异($P < 0.05$)。

2.2 图像质量客观评分结果

A组和C组及B组和D组之间的噪声(N)、CNR无统计学差异。A组和C组之间的SNR无统计学差异。其余各组之间的噪声(N)、SNR和CNR均有统计学差异($P < 0.05$),但各组间均值的差异均小于5%。(表2)。

3 讨论

本研究采用256排超宽revolution CT进行扫描,时间分辨率非常高^[12,13],所有患者CCTA扫描均不控制呼吸,并使用auto

gating 自动获得扫描期相,极大简化了工作流程。我们发现虽然超高的时间分辨率克服了呼吸运动伪影干扰,但注射对比剂的过程中患者心率可能会发生变化,从而造成自动选择的扫描期相并不一定是图像质量最佳的期相^[14,15]。因此,我们扫描时是在一个较窄的时间区间内进行数据采集。常规手动选择最佳期相时需要花费大量的时间,且对图像质量评估也存在主观偏

倚,效率十分低下。Smart phase 是通过自动多期相重建,并自动进行各期相图像质量评分,锁定最佳期相^[15,16]。本组病例中,采用 smart phase 技术进行最佳期相选择后,与扫描前推荐的期相不同的有 90 例(96.8%),结果显示三支冠状动脉主观评分优良率均明显增加($P<0.05$),这证实了 smart phase 可自动、高效的选择最佳期相,明显改善冠状动脉图像质量。

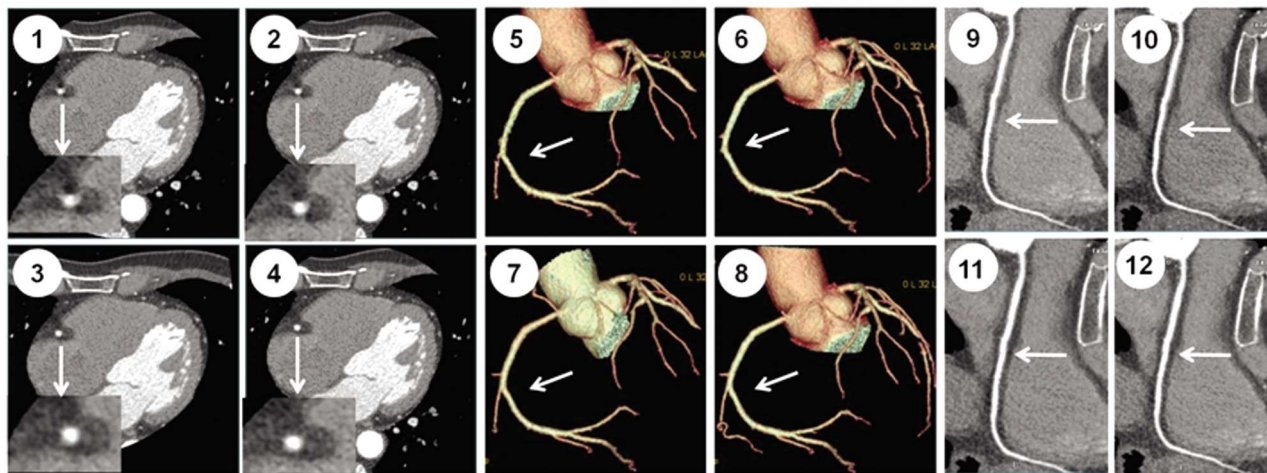


图 1 采用 smart phase、SSF 处理后的代表性图像

Fig.1 Representative images processed with smart phase and SSF

注:① A 组未经矫正的图像;② smart phase 自动最佳期相选择后的图像;③ 为图② 经过 SSF 矫正后得到的图像;④ 图③ 经 SSF 矫正后得到的图像。图⑤ -⑧ 分别为图① -④ 对应扫描序列的容积再现图像。图⑨ -⑫ 为图① -④ 对应扫描序列的多平面重建图像。白箭示右冠状动脉。

Note: ① original image, ② image with smart phase, ③ image of ② with SSF correction, ④ image of ③ with SSF. ⑤ -⑧ volume rendering (VR) image of ① -④, respectively. ⑨ -⑫ Multi-planar reconstruction(MPR) image of ① -④, respectively. White arrow indicate the right coronary artery(RCA).

表 1 各组的图像质量主观评分结果

Table 1 Results of subjective image quality evaluation in different group

Groups	RCA(%)				LAD(%)				LCx(%)			
	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5
A	25.8	26.9	32.3	15.1	7.5	16.1	39.8	36.6	5.4	21.5	36.6	36.6
B	5.4	18.3	55.9	20.4	4.3	12.9	41.9	40.9	1.1	14.0	41.9	43.0
C	9.7	10.8	40.9	38.7	3.2	6.5	38.7	51.6	3.2	10.8	32.3	53.8
D	1.1	6.5	40.9	51.6	3.2	5.4	32.3	59.1	1.1	6.5	31.2	61.3

Note: The ratio of good and excellent image quality of RCA, LAD and LCx increased gradually in group A, B, C and D, respectively. The group D was the highest ratio of good and excellent image quality, which was statistically different from other groups respectively ($P<0.05$). 2, 3, 4, and 5 indicate different score values.

表 2 各组图像的噪声、SNR 和 CNR 对比

Table 2 Comparison of noise, SNR and CNR in different group

Groups	N	SNR	CNR
A	34.37± 5.16	14.03± 2.71	12.41± 2.57
B	34.98± 5.22*	13.75± 2.69*	12.17± 2.59*
C	34.31± 5.14	14.05± 2.74	12.44± 2.60
D	35.20± 5.24*	13.65± 2.60*	12.10± 2.53*

Note: * $P<0.05$ compared with group A.

SSF 技术是一种崭新的冠状动脉运动矫正方法,它能按冠状动脉各节段不同的运动轨迹进行追踪,像 "录像机" 一样自动地对每条冠状动脉和分支分别进行智能的运动追踪冻结成

像,保证了每一条冠状动脉处于相对静止状态,保证冠状动脉能清晰成像^[17-20]。本文采用 SSF 技术对 smart phase 自动最佳期相选择前和选择后的图像分别进行矫正,发现矫正后的图像质

量明显增加,优良血管数较矫正前增多($P < 0.05$),与以往文献报道相符^[11,12,20]。Smart phase 联合 SSF 技术对图像进行校正之后,在所有四组中图像质量主观评分最高,其 LAD、RCA 和 LCx 的优良血管数分别为 86(92.5%)、85(91.4%)及 86(92.5%),明显高于其它三组(P 值均 < 0.05)。但我们发现仍有一例患者 LAD 自 4 分降为 3 分,分析原因发现,由于前门控扫描是在很窄的一个时间区间收集数据,当 smart phase 推荐期相正好落在其边缘处,导致 SSF 涵盖的期相虽包含了 RCA 最佳期相,但没有 LAD 最佳的期相,因此不是所有患者均能得到满意的矫正,遇到此种情况,我们推荐在四组中挑选这根血管最佳质量的图像单独进行后处理重建。

本文发现原始图像组(A 组)经 SSF 技术矫正后的图像噪声、CNR 和 SNR 无明显变化,smart phase 组(B 组)经 SSF 技术矫正后的图像噪声、CNR 无明显变化。其余各组的图像噪声、SNR 和 CNR 均具有统计学差异,但数据绝对值差异微小(差异均小于 5%)。这一结果表明采用 SSF 技术不会影响图像的客观质量,而 smart phase 会影响图像的客观质量,但是这种影响微小($< 5\%$)。因此,采用 smart phase 联合 SSF 技术后图像客观质量无明显下降,不影响图像诊断要求。

总之,smart phase 联合 SSF 技术对自由呼吸 CCTA 图像进行校正后,三支冠状动脉的图像评分为优良的血管比率明显增加,图像质量得到了非常明显的改善,同时大大提高了工作效率,值得在临床广泛推广。今后的研究中,将进一步按照心率进行分组,继续收集病例进行进一步探讨和评估。

参考文献(References)

- [1] He J, Gu D, Wu X, et al. Major causes of death among men and women in China[J]. N Engl J Med, 2005, 353(11): 1124-1134
- [2] Forte E, Monti S, Parente CA, et al. Image quality and dose reduction by dual source computed tomography coronary angiography: protocol comparison[J]. Dose Response, 2018, 16(4): 1559325818805838
- [3] Mander GTW, Dobeli K, Steffensen C, et al. Diagnostic accuracy of computed tomography coronary angiography utilizing recent advances in technology in patients with high heart rates: a systematic review protocol[J]. JBI Database System Rev Implement Rep, 2019, 17(7): 1312-1318
- [4] Nerlekar N, Ko BS, Nasis A, et al. Impact of heart rate on diagnostic accuracy of second generation 320-detector computed tomography coronary angiography[J]. Cardiovasc Diagn Ther, 2017, 7(3): 296-304
- [5] 李颖, 李欣, 王春祥, 等. 智能期相选择重组在高心率儿童冠状动脉 CTA 中的应用[J]. 国际医学放射学杂志, 2018, 41(05): 503-507
- [6] 孟捷, 李念云, 解学乾, 等. 自由呼吸状态下冠状动脉 CT 血管成像的可行性研究[J]. 现代生物医学进展, 2018, 18(19): 3661-3664
- [7] 张龙江, 乔红艳. 冠状动脉 CT- 从解剖学迈入功能学的新时代[J]. 医学研究生学报, 2019, 32(03): 225-229
- [8] 李睿, 赵世华. 心血管影像人工智能的研究进展 [J]. 磁共振成像, 2019, 10(07): 551-555
- [9] 莫绪凯, 林铭霞, 刘伊勇, 等. 单个心动周期 CT 冠状动脉成像在自由呼吸患者中应用的可行性 [J]. 中国医学影像学杂志, 2018, 26(10): 767-771
- [10] Smettei O, Abazid R. Coronary computed tomography angiography (CCTA) quality [J]. Journal of the Saudi Heart Association, 2018, 30(4): 356-357
- [11] 王彪, 陈兴灿, 应小丰, 等. 冠状动脉追踪冻结技术在回顾性心电门控下改善冠脉 CTA 图像质量的应用价值[J]. 放射学实践, 2017, 32(04): 427-430
- [12] Liang J, Wang H, Xu L, et al. Diagnostic performance of 256-row detector coronary CT angiography in patients with high heart rates within a single cardiac cycle: a preliminary study[J]. Clin Radiol, 2017, 72(8): 694.e697-694.e614
- [13] Mushtaq S, Pontone G, Conte E, et al. Low-dose coronary CT angiography in patients with atrial fibrillation: comparison of image quality and radiation exposure with two different approaches[J]. Acad Radiol, 2019, 26(6): 791-797
- [14] Hassan A, Nazir SA, Alkadhi H. Technical challenges of coronary CT angiography: today and tomorrow [J]. Eur J Radiol, 2011, 79(2): 161-171
- [15] Wang H, Xu L, Fan Z, et al. Clinical evaluation of new automatic coronary-specific best cardiac phase selection algorithm for single-beat coronary CT angiography [J]. PLoS One, 2017, 12(2): e0172686
- [16] Stassi D, Dutta S, Ma H, et al. Automated selection of the optimal cardiac phase for single-beat coronary CT angiography reconstruction [J]. Med Phys, 2016, 43(1): 324
- [17] Fan L, Zhang J, Xu D, et al. CTCA image quality improvement by using snapshot freeze technique under prospective and retrospective electrocardiographic gating[J]. J Comput Assist Tomogr, 2015, 39(2): 202-206
- [18] Gao JH, Chen XX, Wang GS, et al. Study of cardiac motion-correction algorithm-Snapshot Freeze in coronary CT angiography [J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2014, 30(12): 1822-1826
- [19] 梁俊福, 王辉, 徐磊, 等. 256 层 CT 单个心动周期冠状动脉成像在高心率患者中应用的可行性研究[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(2): 108-113
- [20] 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