

DOI:10.16781/j.0258-879x.2018.05.0499

· 论 著 ·

## 回顾性心电门控螺旋 CT 扫描模式下单扇区重建对图像质量的改善作用

尹 伟, 王铁功, 许 兵, 叶风平, 王敏杰\*

海军军医大学(第二军医大学)长海医院影像医学科, 上海 200433

**[摘要]** **目的** 探讨 256 层螺旋 CT 在采用回顾性心电门控螺旋扫描模式进行冠状动脉成像中发生非预期自由呼吸时, 单扇区重建算法改善图像质量的应用价值。**方法** 将 2017 年 6 月 10 日至 7 月 10 日采用回顾性心电门控螺旋扫描进行冠状动脉 CT 血管造影成像, 且 CT 横断面图像在肺窗上观察存在运动伪影的 24 例患者纳入本研究。对 CT 原始数据进行单扇区重建(单扇区重建组)与多扇区重建(多扇区重建组), 两组重建算法选取相同时相进行分析, 比较两组图像的平均 CT 值、图像噪声、信噪比、对比噪声比。采用独立样本  $t$  检验比较图像客观指标的差异, 采用  $\chi^2$  检验比较图像主观指标的差异。**结果** 共分析患者冠状动脉的 350 个节段, 采用单扇区重建算法, 冠状动脉节段图像质量的可诊断率为 98.3% (344/350), 高于多扇区重建算法的 84.0% (294/350), 差异有统计学意义 ( $\chi^2=44.241$ ,  $P<0.05$ )。单扇区重建组的图像噪声高于多扇区重建组 [(51.3±9.8) HU vs (40.7±6.0) HU,  $t=-4.647$ ,  $P<0.05$ ]。两种重建方法信噪比的差异无统计学意义 ( $t=0.941$ ,  $P=0.351$ )。两组对比噪声比在升主动脉根部、左冠状动脉主干和右冠状动脉初段、中段、末段差异均无统计学意义 ( $t=1.039$ 、0.610、0.571、0.438、0.396,  $P=0.304$ 、0.548、0.574、0.666、0.696)。**结论** 采用回顾性心电门控螺旋扫描模式进行冠状动脉 CT 血管造影成像时, 应用单扇区重建算法可以减少图像因患者屏气不佳或心脏波动产生的运动伪影, 提高医师的诊断信心。

**[关键词]** 冠状血管造影术; X 线计算机体层摄影术; 单扇区重建; 多扇区重建; 伪影

**[中图分类号]** R 814.42 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2018)05-0499-05

### Single cycle reconstruction technique improves image quality with retrospectively electrocardiogram-gated spiral acquisition mode

YIN Wei, WANG Tie-gong, XU Bing, YE Feng-ping, WANG Min-jie\*

Department of Medical Imaging, Changhai Hospital, Navy Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

**[Abstract]** **Objective** To explore the application value of the single cycle reconstruction algorithm in improving image quality of free-breathing 256-slice row coronary computed tomography angiography (CCTA) with retrospectively electrocardiogram-gated spiral acquisition mode. **Methods** Twenty-four patients whose CCTA images had motion artifact were recruited in this study between Jun.10 and Jul. 10, 2017. CCTA was examined with the retrospectively electrocardiogram-gated spiral scanning mode. All images were reconstructed using single cycle reconstruction (single cycle group) and multi-cycle reconstruction (multi-cycle group) methods. The two reconstruction algorithms used same phase for analyzing data. The mean CT value, image noise, signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) were compared between the two groups.  $T$  test was performed to analyze the objective indicators, and  $\chi^2$  test was performed to analyze the subjective indicators. **Results** Totally 350 segments of coronary were evaluated in this study. Diagnosis rate of coronary segment image quality with single cycle reconstruction was 98.3% (344/350), which was significantly higher versus 84.0% (294/350) with multi-cycle reconstruction ( $\chi^2=44.241$ ,  $P<0.05$ ). The image noise was significantly higher in the single cycle group than that in the multi-cycle group [(51.3±9.8) HU vs [40.7±6.0] HU,  $t=-4.647$ ,  $P<0.05$ ). There was no significant difference in SNR between the two reconstruction algorithms ( $t=0.941$ ,  $P=0.351$ ). The CNRs were not significantly different in the ascending aortic root, left main coronary or proximal, middle, and distal right coronary between the two reconstructive algorithms ( $t=1.039$ , 0.610, 0.571, 0.438, and 0.396;  $P=0.304$ , 0.548, 0.574, 0.666, and 0.696). **Conclusion** Single cycle reconstruction technique can reduce motion artifact caused by unanticipated free-breathing

**[收稿日期]** 2017-12-12 **[接受日期]** 2018-03-06

**[作者简介]** 尹 伟, 技师. E-mail: yinwei\_0816@163.com

\*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-31162157, E-mail: cjr.wangminjie@vip.163.com

or heart fluctuations in CCTA under the retrospectively electrocardiogram-gated spiral scanning mode and increase diagnosis confidence of doctors.

**[Key words]** coronary angiography; X-ray computed tomography; single cycle reconstruction; multi-cycle reconstruction; artifact

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2018, 39(5): 499-503]

计算机断层扫描冠状动脉造影 (coronary computed tomography angiography, CCTA) 作为无创检查对血管狭窄诊断的敏感性高, 在冠心病患者早期筛查中具有很高的临床价值。但由于患者的心脏搏动以及设备的局限, 在冠状动脉图像的重建过程中可能产生伪影, 导致图像质量下降, CCTA 假阳性率升高<sup>[1]</sup>。多扇区重建 (multi-cycle reconstruction) 技术是 CCTA 成像中常用的技术, 能解决 CCTA 检查中时间分辨率不足的问题<sup>[2-3]</sup>, 但是当患者检查过程中出现非预期自由呼吸或心率波动较大时, 心脏运动的模式将发生改变。此时采用多扇区重建技术, 冠状动脉将产生明显的运动伪影, 这将在很大程度上影响医师的诊断信心。有文献报道, 通过采用前瞻性心电门控轴扫模式进行单扇区成像可以降低甚至消除伪影<sup>[4]</sup>, 但未对回顾性心电门控螺旋扫描模式进行尝试。

本研究对 2017 年 6 月 10 日至 7 月 10 日于海军军医大学 (第二军医大学) 长海医院行 CCTA 检查的 24 例患者的 CT 原始数据采用回顾性心电门控螺旋扫描进行单扇区重建 (single cycle reconstruction), 比较单扇区重建与多扇区重建的图像质量, 探讨单扇区重建技术在回顾性心电门控螺旋扫描模式下改善图像质量的可行性。

## 1 资料和方法

**1.1 一般资料** 回顾性分析 2017 年 6 月 10 日至 7 月 10 日在海军军医大学 (第二军医大学) 长海医院行 CCTA 检查患者的原始影像学资料, 男性 14 例、女性 10 例, 平均年龄为  $(63.0 \pm 9.2)$  岁, 体质指数 (body mass index, BMI) 为  $(24.6 \pm 2.4)$  kg/m<sup>2</sup>, 平均心率为  $(58.5 \pm 6.0)$ /min。采用自身配对设计, 对 24 例患者的 CCTA 图像以单扇区重建和多扇区重建两种方式进行重建。纳入标准: 采用回顾性心电门控螺旋扫描进行 CCTA 检查, CT 横断面图像存在运动伪影。所有患者检查前均签署知情同意书。

**1.2 仪器与分组** 所有 CCTA 检查均在飞利浦 128 排螺旋 CT 仪上完成, 对所有患者进行心率控制, 心率过快的患者口服酒石酸美托洛尔 (倍他乐克), 当  $65/\text{min} < \text{心率} < 75/\text{min}$  时口服 25 mg, 当  $\text{心率} \geq 75/\text{min}$  时口服 50 mg, 进行严格的屏气训练, 并于扫描前 3 min 舌下含服硝酸甘油 0.5 mg, 扫描时先行双侧定位像扫描, 扫描范围为气管分叉下方 10 mm 至心脏膈面。采用双筒高压注射器以 5.0 mL/s 的流速在右侧肘关节处静脉注射非离子碘造影剂碘普罗胺 (iopromide, 碘浓度为 370 mg/mL) 60 mL, 造影剂注射完毕后加注 40 mL 生理盐水。采用自动触发扫描技术, 监测位置定在降主动脉起始处, 触发阈值为 110 HU, 当 CT 值达到阈值后, 延迟 6 s 开始扫描。管电压为 100 kV, 采用自动管电流技术, 所有患者均采用基于心电门控管电流调制技术的回顾性螺旋扫描模式扫描, 准直器宽度为  $128 \times 0.625$  mm, 机架旋转时间为 0.27 s。重建参数: 层厚为 0.9 mm, 层间距为 0.45 mm, 视野 (field of view, FOV) 为  $210 \times 210$  mm, 矩阵为  $512 \times 512$ , 窗宽和窗位分别为 90 和 750 HU。扫描完成后记录相关数据, 如剂量容积指数 (computed tomography dose index-volume, CTDI<sub>vol</sub>)、剂量长度乘积 (dose length product, DLP) 及有效剂量 (effective dose, ED)。其中 ED 计算公式为  $ED = DLP \times \text{转换系数}$  [ $k_{\text{成人}} = 0.014$  mSv/(mGy · cm)]。

对 CT 原始数据进行单扇区重建和多扇区重建, 重建数据结束后上传至飞利浦星云工作站 (ISP) 上进行后处理及图像分析。

**1.3 图像质量评估** 客观评价指标包括图像的平均 CT 值、图像噪声、信噪比 (signal-to-noise ratio, SNR) 和对比噪声比 (contrast-to-noise ratio, CNR), 将感兴趣区 (region of interest, ROI) 置于升主动脉根部 (左主干开口层面), 大小为  $(50 \pm 1)$  mm<sup>2</sup>, 测量其 CT 值 (记为 SI) 和

标准差 (SD, 即图像噪声); 以心包内脂肪作为背景组织, 计算主动脉的 SNR 和 CNR。测量时尽量使 ROI 大小、位置保持一致, 避开血管壁上的钙化和斑块。SNR = 主动脉 CT 值 / SD, CNR =  $(SI_{\text{主动脉}} - SI_{\text{心包脂肪}}) / SD_{\text{主动脉}}$ <sup>[5]</sup>。

主观图像质量评分: 对数据横断面及多平面重建图像进行综合评估, 内容包括血管与周围组织的对比度、管腔边缘锐利度、主观噪声、整体图像质量。上述指标均按照 4 分法评定<sup>[6]</sup>。4 分: 图像质量优良, 血管显示连续, 边缘锐利, 无伪影, 无阶梯伪影或血管中断; 3 分: 图像质量欠佳, 血管显示连续, 边缘少许伪影, 噪声增大, 不影响管腔的评估, 或有轻度错层伪影, 但不影响血管评价; 2 分: 图像质量略差, 血管显示连续, 血管边缘模糊, 有轻度错层伪影, 但能满足诊断; 1 分: 图像质量差, 血管显示不清, 边缘严重伪影, 管腔不能评价或血管显示中段移位严重, 不能用于诊断。由 2 位不知道扫描条件、有经验的放射科医师对图像

进行独立评价, 最终结果取平均值。

1.4 统计学处理 采用 SPSS 19.0 软件进行统计学分析。服从正态分布的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示, 计数资料以例数和百分数表示。采用独立样本 *t* 检验比较图像客观指标 (图像噪声、SNR、CNR) 的差异, 采用  $\chi^2$  检验比较两种重建算法下冠状动脉节段图像质量的诊断率。2 位医师对两种重建图像主观评分的一致性分析采用 Kappa 检验。检验水准 ( $\alpha$ ) 为 0.05。

## 2 结果

共分析 24 例患者冠状动脉的 350 个节段。2 位医师对冠状动脉主观评分结果的 Kappa 值为 0.84, 具有很好的一致性。采用单扇区重建算法, 冠状动脉节段图像质量的诊断率为 98.3% (344/350), 高于多扇区重建算法的 84.0% (294/350), 且差异有统计学意义 ( $\chi^2 = 44.241, P < 0.05$ ), 具体见表 1。

表 1 两种重建图像质量主观评分比较

Tab 1 Comparison of subjective score of image quality between two reconstruction images

Algorithm	Grade <i>n</i> (%)				Average score $\bar{x} \pm s$	Diagnosis rate (%)
	4 (Excellent)	3 (Good)	2 (Adequate)	1 (Poor)		
Multi-cycle	186 (53.1)	63 (18.0)	45 (12.9)	56 (16.0)	3.08 ± 1.14	84.0
Single cycle	288 (82.3)	40 (11.4)	16 (4.6)	6 (1.7)	3.74 ± 0.62	98.3*

\* $P < 0.05$  vs multi-cycle

采用单扇区重建算法与多扇区重建算法分别对屏气不佳以及心律失常患者的 CT 原始数据进行图像重建, 比较两种重建图像质量客观指标。单扇区重建图像的噪声高于多扇区重建图像, 且差异有统计学意义 ( $t = -4.647, P < 0.05$ )。两种算法重建图像的 CT 值和 SNR 差异均无统计学意义 ( $t = -0.459, 0.941, P = 0.649, 0.351$ )。单扇区与多扇区重建图像的 CNR 在升主动脉根部、左冠状动脉主干和右冠状动脉初段、中段、末段差异均

无统计学意义 ( $t$  值分别为 1.039、0.610、0.571、0.438 与 0.396,  $P$  值分别为 0.304、0.548、0.574、0.666 与 0.696)。见表 2。此外在屏气不佳的条件下, 单扇区重建图像冠状动脉管腔显示清晰、锐利 (图 1A、1B); 多扇区重建图像冠状动脉管腔会产生模糊伪影 (图 1C、1D); 在心律失常的条件下, 单扇区重建图像冠状动脉管腔显示的清晰度也高于多扇区重建图像 (图 1E、1F)。

表 2 两种重建图像质量客观指标比较

Tab 2 Comparison of objective indicators between two reconstruction images

Algorithm	CT value (HU)	Noise (HU)	SNR	CNR				
				$n = 350, \bar{x} \pm s$				
				Ao	LM	RCA1	RCA2	RCA3
Multi-cycle	608.38 ± 44.26	40.7 ± 6.0	19.32 ± 2.56	22.85 ± 3.26	22.33 ± 3.80	22.97 ± 4.00	23.31 ± 4.22	23.75 ± 3.76
Single cycle	614.11 ± 44.26	51.3 ± 9.8*	18.60 ± 2.77	21.88 ± 3.27	21.39 ± 3.74	22.05 ± 3.88	22.53 ± 4.46	23.18 ± 3.34

SNR: Signal-to-noise ratio; CNR: Contrast-to-noise ratio; Ao: Ascending aorta root; LM: Left main coronary artery; RCA1, RCA2 and RCA3 were the proximal, middle and distal segments of the right coronary artery, respectively. \* $P < 0.05$  vs multi-cycle

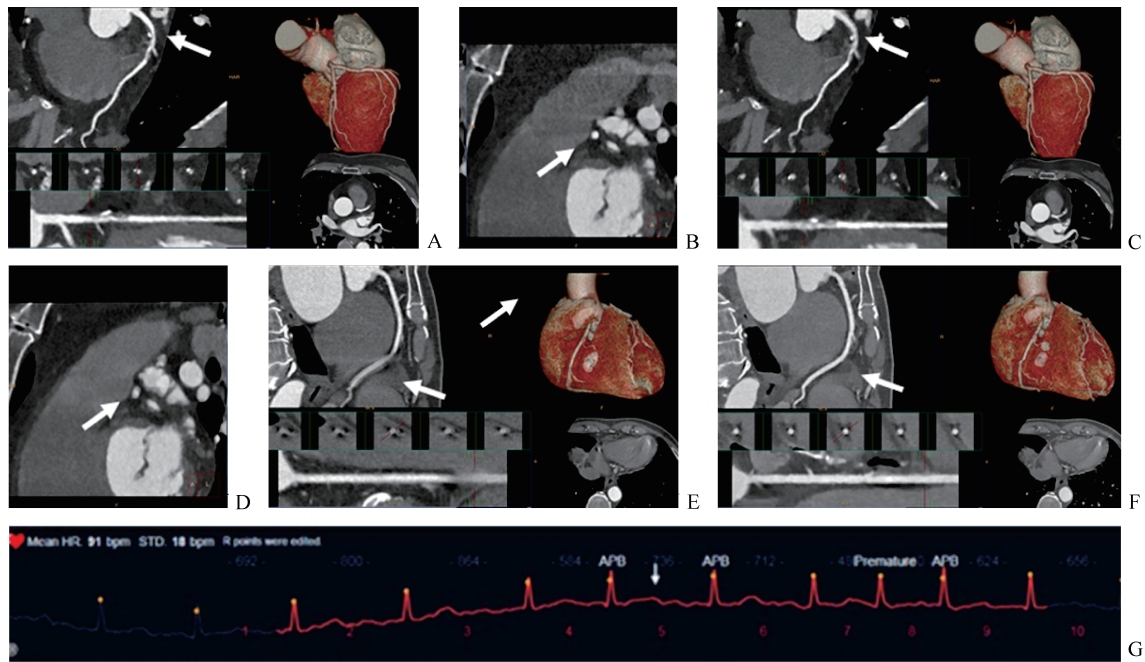


图1 在屏气欠佳 (A~D) 及心律失常 (E~G) 条件下两种重建算法的图像对比

Fig 1 Comparison of images by two reconstruction algorithms under conditions of poor holding of breath (A-D) and arrhythmia (E-G)

A-D: A 59 years old female patient. The average heart rate is 64/min. A: CPR and VR images of single cycle reconstructed images; B: A two-dimensional image in single cycle reconstructed images which perpendicular to the right coronary artery (the arrows in A and B indicate that the vascular lumen is clear and the edge is sharp); C: CPR and VR images of multi-cycle reconstruction images; D: A two-dimensional image in multi-cycle reconstructed images, which is perpendicular to the right coronary artery (the arrows in C and D indicate that the vascular edge is blurred). E-G: A 62 years old male patient. The average heart rate is 91/min with arrhythmia. E: CPR and VR images of single cycle reconstructed images; F: CPR and VR images of multi-cycle reconstruction images (single cycle reconstruction of coronary artery image quality is better than multi-cycle reconstruction image); G: Electrocardiogram. CPR: Curved planar reconstruction; VR: Volume rendering

### 3 讨论

常规 CCTA 扫描模式有 2 种,一种是前瞻性心电门控轴扫模式,被广泛应用于低剂量 CCTA 检查中,但是该方法对患者的要求较高(心率控制在 65/min 以下),且要求患者心律正常,为窦性心律;另一种是回顾性心电门控螺旋扫描模式,该方法采用了多扇区重建技术,其时间分辨率大幅提高,且对心率的要求降低,同时因为与数据关联的心电门控可进行回顾性编辑,心律不齐者也能完成检查,扩大了 CCTA 的适用范围。心脏的波动以及设备的局限性可导致 CCTA 伪影的出现,如何减少伪影、提高图像的质量是目前 CCTA 成像面临的挑战。本研究在回顾性心电门控螺旋扫描模式下比较单扇区重建图像与多扇区重建图像,结果表明前者可以改善图像质量,单扇区重建算法下冠状动脉

节段图像的可诊断率 [98.3% (344/350)] 优于多扇区重建算法 [84% (294/350)]。采用常规多扇区重建技术时,屏气欠佳与心脏异常搏动导致的模糊伪影是影响冠状动脉节段图像质量的主要因素,屏气越差或心率变异越大,影响冠状动脉节段的范围也越大。在采用单扇区重建技术时屏气欠佳或心率变异可致冠状动脉出现中断,出现断层伪影,但对断层以外的冠状动脉无影响。相比于多扇区重建的图像质量,单扇区重建图像除了图像噪声较高 [(51.3±9.8) HU vs (40.7±6.0) HU] 外,其他图像质量客观指标 (SNR 与 CNR) 的差异均无统计学意义。

单扇区重建图像均只采用一个心动周期数据,其时间分辨率相当于机架旋转速度的一半左右,当机架旋转速度不够快,达不到重建一幅图像所需要的 180° 数据时就会造成伪影。而多扇区重

建技术需要整合多个心动周期的数据,得到的重建数据比单扇区重建技术多,从结果可以看到两种图像的噪声差异有统计学意义,这与王振等<sup>[4]</sup>研究的单扇区重建算法在前瞻性心电门控轴扫模式中获得的的结果一致,但是本研究中客观指标 SNR 与 CNR 在两种重建图像上差异均无统计学意义,与其研究结果不同,这可能是由于本研究采用了全迭代重建算法所致,采用高级迭代算法可以大幅降低图像噪声,且保证图像的 SNR 与 CNR<sup>[7]</sup>。刘宏等<sup>[8]</sup>将一种基于非刚性配准的运动校正算法智能边缘修复技术(intelligent boundary registration, IBR)应用于 CCTA 成像中,该技术可对单扇区重建图像的冠状动脉进行非刚性配准,以减少错层伪影,其本质上未能增加冠状动脉的信息,但在三维处理上可避免角度误差导致的误诊。

本研究进行数据采集的设备是 128 排螺旋 CT 仪,探测器宽度可达 8 cm,在低心率条件下采用单扇区重建时断层伪影一般仅出现 1~2 次,相比于窄探测器设备其断层伪影对图像质量的影响大大减少。另外机架旋转时间达 0.27 s,单扇区重建图像的时间分辨率可达 135 ms,研究表明将单扇区重建算法用于前瞻性心电门控轴扫高心率病例中依然能完成 CCTA 检查,并获得满意的图像质量<sup>[9]</sup>。这表明单扇区重建图像的时间分辨率可满足大部分检查,在回顾性心电门控螺旋扫描模式下采用单扇区重建可以作为无法配合屏气或心律失常病例的常规重建方法,可以最大程度减少伪影、提高图像质量。

本研究的局限性如下:(1)样本量相对较小,且所有患者都经过心率控制,高心率病例较少;(2)单扇区重建技术联合心电编辑技术更适合用于心律失常病例,如何对心电进行有效编辑仍需进一步研究。

综上所述,在回顾性心电门控螺旋扫描模式下,采用单扇区重建技术可以提供比多扇区重建技术更好的图像质量。该方法适用范围广,可以减小图像因患者屏气不佳或心脏波动而产生的模糊伪影,提高医师的诊断信心,在临床上值得进一步推广。

#### [参考文献]

- [1] 赵世华. 用好冠状动脉 CT 成像这把“双刃剑”[J]. 中华放射学杂志,2013,47:389-391.
- [2] 中华医学会放射学分会心胸学组,《中华放射学杂志》心脏冠状动脉多排 CT 临床应用指南写作专家组. 心脏冠状动脉 CT 血管成像技术规范应用中国指南[J]. 中华放射学杂志,2017,51:732-743.
- [3] 李倩文,李鹏雨,苏壮志,姚新宇,王艳,王一帅,等. 运动校正技术在较快心率患者多排 CT 冠状动脉成像中的初步应用——与双扇区重建比较[J]. 临床放射学杂志,2014,33:433-436.
- [4] 王振,丁忠祥,狄幸波,袁建华. 单扇区重建算法改善非预期自由呼吸 640 层 CT 冠状动脉成像图像质量的可行性研究[J]. 影像诊断与介入放射学,2014,23:22-26.
- [5] 侯阳,于兵,郭启勇,王玉科,余美. 迭代重建对前置门控冠状动脉 CT 图像质量及辐射剂量的影响[J]. 中华放射学杂志,2013,47:305-309.
- [6] 汪芳,郝万庆,杨利莉,郑静瑶,哈若水,王泽润,等. 256 排宽体探测器 CT 智能心电门控技术在不控制心率患者冠状动脉 CTA 中的应用[J]. 中国医学影像技术,2017,33:1080-1084.
- [7] 蒋骏,黄美萍,雷益,梁长虹,庄建,李景雷,等. 全模型迭代重建技术在心脏 CT 成像中应用的实验研究[J]. 中华放射学杂志,2015,49:473-477.
- [8] 刘宏,柳林,张孟超. 非刚性配准运动校正算法与双扇区重组对改善冠状动脉 CTA 图像质量的对比分析[J]. 影像诊断与介入放射学,2016,25:457-460.
- [9] 梁俊福,王辉,徐磊,范占明,晏子旭,杨琳. 56 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,2017,51:108-113.

[本文编辑] 尹 茶