

高洁, 张雪峰. 64 层 CT 回顾性心电门控低剂量冠脉成像的临床研究[J]. CT 理论与应用研究, 2012, 21(1): 67-72.  
Gao J, Zhang XF. Low dose 64-slice CT coronary angiography with retrospective ECG gating: A clinical study[J]. CT Theory and Applications, 2012, 21(1): 67-72.

## 64 层 CT 回顾性心电门控低剂量冠脉成像的临床研究

高洁, 张雪峰<sup>✉</sup>

(内蒙古自治区人民医院介入放射科, 呼和浩特 010020)

**摘要:** 目的: 通过比较图像质量与辐射剂量, 评价 64 层螺旋 CT 低剂量回顾性心电门控冠脉成像技术临床应用的可行性。方法: 选取拟行 CT 冠状动脉造影的患者 80 例(心率小于 65 次/min, 心率波动范围小于 5 次/min), 所选患者分为两组, 分别进行低剂量回顾性心电门控(40 例, 开启 ECG 管电流调制技术, 70%~80% 期相满电流输出)及常规回顾性心电门控(40 例, 35%~80% 期相满电流输出)CT 冠脉造影, 依据患者体质量指数选择管电流(400~800 mA), 管电压 120 kV。比较两组的辐射剂量及图像质量。 $P < 0.05$  认为差异具有统计学意义。结果: 低剂量回顾性心电门控组与常规回顾性心电门控组图像质量差异无统计学意义( $Z = -4.78, P = 0.23$ )。低剂量回顾性心电门控组 CTCA 辐射剂量平均( $13.76 \pm 2.38$ )mSv, 常规回顾性心电门控组 CTCA 辐射剂量平均( $20.06 \pm 3.35$ )mSv, 差异有统计学意义( $t = -8.39, P = 0.00$ ), 使用低剂量回顾性心电门控降低了 31.4% 的辐射剂量。结论: 低心率患者行回顾性心电门控 CTCA 通过修改 ECG 管电流调制技术参数得到的图像质量与常规回顾性心电门控 CTCA 无差别, 而辐射剂量显著减低。

**关键词:** X 线计算机; 体层摄影术; 冠状动脉; 辐射剂量; 心电门控

文章编号: 1004-4140 (2012) 01-0067-06 中图分类号: R814.2 文献标识码: A

CT 硬件与软件水平的不断提升使得其越来越多地涉足于冠状动脉的非侵入性检查, 尤其是 64 层螺旋 CT 的研发与应用。冠状动脉 CT 血管成像(Coronary Computed Tomography Angiography, CCTA)以其极高的阴性预测值及较高的准确性而得到临床的认可, 改变着心脏科医师对于冠状动脉粥样硬化性心脏病的诊疗模式<sup>[1]</sup>。但是相当高的辐射剂量一直在阻碍着 CCTA 的发展。低剂量电离辐射已经具有足够能量损伤 DNA, 从而引发癌症, 国际放射防护委员会估计 10 mSv 的电离辐射剂量有可能导致的癌症发生风险是 1/2 000<sup>[2]</sup>, 因此遵循 ALARA 原则控制剂量是非常必要的。

本文基于 ECG 管电流调制技术通过 70%~80% 期相满电流输出(以下简称低剂量回顾性心电门控)与 35%~80% 期相满电流输出(以下简称常规回顾性心电门控)的图像质量及辐射剂量对比, 探讨仅 70%~80% 期相满电流输出行回顾性心电门控 CCTA 的可行性。

### 1 资料与方法

#### 1.1 病例资料

2011 年 3 月~2011 年 6 月被拟诊或确诊冠状动脉粥样硬化性心脏病的病人(全部签署

收稿日期: 2011-09-04。

知情同意书)。研究选取心率小于 65 次/min 患者 80 例, 排除标准为肾功能不全、碘对比剂过敏、心律不齐(心率波动大于 5 次/min)、屏气不良、钙化积分大于 400 及体质量指数(BMI) 20~30 kg/m<sup>2</sup> 范围外。所选患者分为两组, 分别进行低剂量回顾门控(40 例)及常规回顾门控(40 例) CT 冠脉造影。患者一般情况见表 1。

表 1 患者一般资料  
Table 1 Clinical data

组别	低剂量回顾门控组 (n = 40)	常规回顾门控组 (n = 40)	P 值
性别(M/F)/例	29/11	27/13	0.808
平均年龄/岁	51.25 ± 8.52	55.41 ± 7.94	0.087
BMI/(Kg/m <sup>2</sup> )	27.06 ± 3.52	25.66 ± 3.63	0.184
心率/bpm	53.97 ± 5.45	53.86 ± 6.10	0.947
心率波动范围/bpm	3.21 ± 1.98	3.07 ± 2.04	0.710
扫描长度/cm	12.12 ± 1.86	12.15 ± 1.67	0.880

## 1.2 方法

1) 设备与药品: GE lightspeed VCT 机, 优维显 (370 mgI/mL) 对比剂。

2) 扫描方法: 病人取仰卧位, 扫描正侧位 scout 片, 通过测定肘静脉-主动脉循环时间确定延迟时间, 扫描延迟时间 (DT) = 峰值时间 (AA) + 4 s。扫描参数: 机架转速 0.35 s / mL, 准直器宽度 0.625 mm × 64 层 (40 mm), 重建层厚 0.625 mm, 矩阵 512 × 512。依据病人体质量静脉注射对比剂 70 mL 及生理盐水 40 mL, 流率 5 mL/s。依据病人 BMI 选择管电流 (400~800 mA), 管电压设置为 120 kV。pitch 值 0.16~0.24 依据心率自动调整, 开启 ECG 管电流调制技术, 低剂量回顾门控组 70%~80% 期相满电流输出, 常规回顾门控组 35%~80% 期相满电流输出, 两组非诊断期相均设定最低 mA 输出 (设置 mA 量的 1/5)。扫描范围为气管隆突下 1 cm 至膈下 2 cm。扫描结束后选取 75% 期相进行图像重建, 图像无法诊断则常规回顾心电门控组整个心动周期以 5% 间隔重建, 低剂量回顾门控组舒张期以 5% 间隔重建。所有图像均传入 ADW 4.4 工作站。

3) 图像后处理: 对冠脉每支血管进行曲面重组, 结合横断面图像选出图像质量最佳者用于冠状动脉图像质量评价。

## 1.3 辐射剂量评价

低剂量回顾门控组及常规回顾门控组均由计算机自动生成剂量长度乘积  $L$  (单位:  $\text{mGy} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) (Dose Length Product, DLP), 记录 CCTA 剂量。有效剂量 (Effective Dose, ED)  $D$  (单位: mSv),  $D = L \times k$ , 其中  $k$  为剂量转换系数, 在冠状动脉扫描时  $k$  的取值为 0.017<sup>[3]</sup>。

## 1.4 图像质量评分

按照美国心脏协会的冠状动脉 15 段分段法<sup>[4]</sup>进行评价。冠状动脉图像质量分级采用 1~5 级评分法<sup>[8]</sup>: 1 级为 5 分, 无运动伪影, 无明显错层; 2 级为 4 分, 有轻度运动伪影或错层; 3 级为 3 分, 较多运动伪影、错层较大但不影响管腔评价; 4 级为 2 分, 运动伪影严重、错

层大影响管腔评价; 5 级为 1 分, 明显运动伪影, 管腔无法评价。由两位从事 CCTA 诊断 3 年的医师对全部病人的冠脉节段进行评价及对比, 不一致时由协商后取得一致。

### 1.5 统计学分析

采用 SPSS 13.0 软件包进行统计学分析, 所有计量资料以均数±标准差表示。对于服从正态分布的计量资料采用两独立样本  $t$  检验, 对于不服从正态分布的计量资料采用两独立样本秩和检验。计数资料采用  $\chi^2$  检验,  $P < 0.05$  认为差异具有统计学意义。

1) 比较低剂量回顾门控组及常规回顾门控组患者一般情况, 包括曝光时心率、心率波动范围、体质量指数、扫描长度、年龄及性别。

2) 比较低剂量回顾门控组及常规回顾门控组图像质量 (以冠脉节段为单位) 及辐射剂量 (CCTA 剂量)。

## 2 结果

所有患者均顺利完成检查, 一般资料比较见表 1。低剂量回顾门控组及常规回顾门控组图像质量比较: 两组分别共有 509 与 518 个冠脉节段参与评分。低剂量回顾门控组平均

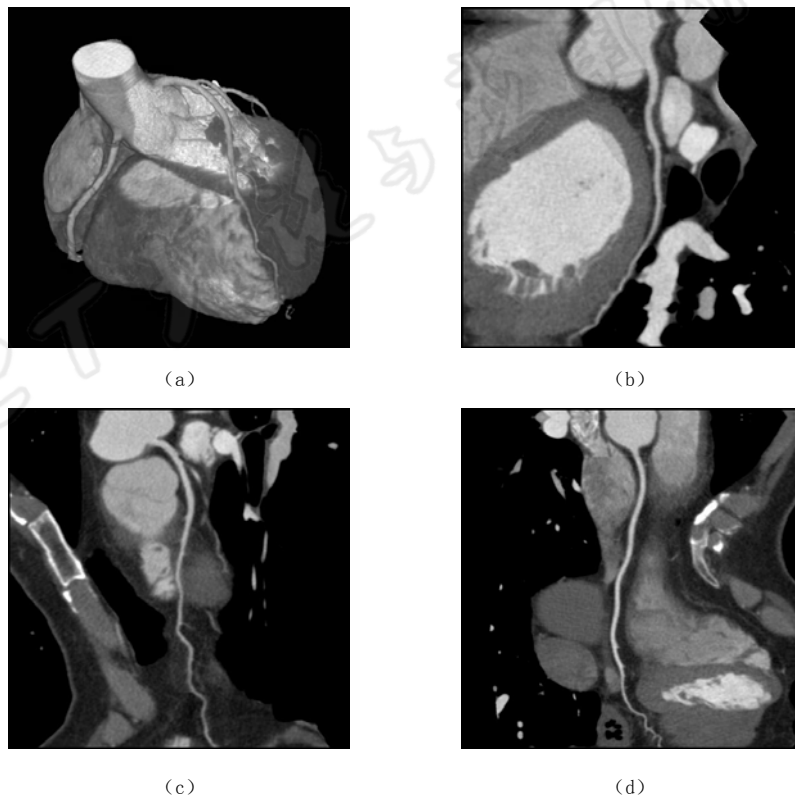


图 1 患者, 女, 55 岁, 心率 57~59 bpm。采用低剂量回顾门控技术, (a) VR 及 (b) CPR 清晰显示前降支, (c) 回旋支及 (d) 右冠脉  
Fig.1 Female, 55 years old, low-dose CCTA with heart rate 57~59 bpm showing by (a) volume rendering technique, (b) curved planar reconstruction of LAD, (c) LCX, (d) RCA

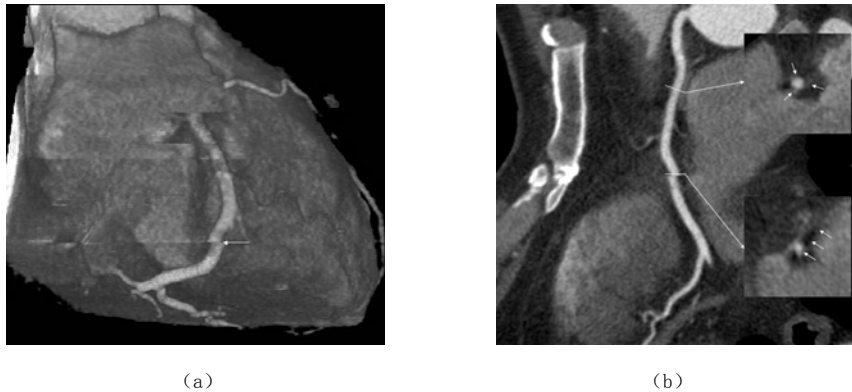


图 2 患者,男,45 岁。心率 60~65 bpm。(a) 和 (b) 采用低剂量回顾门控技术,VR 及 CPR 示右冠脉近中段见典型风车状运动伪影;(b) 窄重叠时间(5%)使得中段由于心律不齐产生阶梯状伪影,但可满足管腔评价,图像质量 3 分

Fig. 2 Male, 45 years old low-dose CCTA with heart rate 60~65 bpm. Volume rendering technique (a) and (b) curved planar reconstruction showed less image artefacts. The image quality score was 3-point

4.05±0.69 分(图 1 和图 2),常规回顾门控组平均(4.19±0.81)分,差异无统计学意义( $Z=-4.78, P=0.23$ )。

低剂量回顾门控组及常规回顾门控组辐射剂量比较:低剂量回顾门控组 CCTA 辐射剂量为 9.24~18.77 mSv,平均(13.76±2.38) mSv;常规回顾门控组 CCTA 辐射剂量为 12.37~26.49 mSv,平均(20.06±3.35) mSv;两组差异有统计学意义( $t=-8.391, P=0.00$ ),使用低剂量回顾门控降低了 31.40% 的辐射剂量。

### 3 讨论

近年多中心临床研究及临床荟萃分析均认为 CCTA 具有高灵敏度及阴性预测值,可以在排除可疑冠状动脉粥样硬化性心脏病发挥重要作用<sup>[1]</sup>。然而高辐射剂量一直阻碍着 CCTA 的广泛应用。对于回顾性心电门控螺旋扫描,目前最有效的减剂量方式为前瞻性 ECG 管电流调制技术,它只在可能获得诊断质量的期相满电流输出,而在其他期相以较低电流输出,一般为设置电流的 1/5。相关文献研究可以减低约 50% 的剂量,而且心率越低,减剂量越明显<sup>[5]</sup>。

一般冠脉的相对稳定期为舒张中末期及收缩末期,心率在 65 bpm 以下时以舒张中末期成像为主,而心率在 65~80 bpm 时最佳成像期相既可能在舒张中末期也可能在收缩末期<sup>[6-7]</sup>。CCTA 回顾门控螺旋扫描技术在 R-R 间期 35%~80% 采用满电流输出可以同时获得舒张中末期及收缩末期的有效数据,便于选择最佳期相成像。

多项研究<sup>[8-10]</sup>证实低心率下仅舒张中末期数据即可满足诊断,而在 65 次/min 以上才会发生最佳期相前移,Annick 等<sup>[7]</sup>采用双源 CT 回顾性心电门控技术进行了 65~80 bpm 范围内的冠脉成像,发现心率在 65 bpm 下时舒张中末期较收缩末期相比成像质量高( $P=0.011$ )。当心率 > 85.5 次/min 时,舒张中末期成像的图像质量才会明显下降,超过 96 次/min 后舒张中末期的相对稳定期基本消失<sup>[3]</sup>。Herzog 等<sup>[11]</sup>认为心率小于 67 bpm 的最佳

成像期在舒张期, 大于 67 bpm 时才会转换到收缩期。这说明在 65 bpm 以下以舒张期成像为主。本文低剂量回顾门控在舒张期重建的情况下图像质量与常规回顾门控相仿, 而剂量较常规回顾门控减低约 31.40% 的辐射剂量。

本文采用 70%~80% 的期相窄时间窗满电流输出, 而并未设置 75% 单期相满电流输出, 主要是考虑到心率波动对图像质量的影响。类似于前门控的“Padding”, ECG 管电流调制技术前瞻性的预测满电流输出期相, 不可能在每一个心动周期都会保证 75% 的满电流输出, 重建期相时就会有电流低输出数据参与重建, 从而影响图像质量。

而 70%~80% 可以在每一次心动周期扫描过程中获得时间窗内的不同期相数据, 在一定限度内保持所要重建期相处在满电流输出的范围内, 获得既是满电流输出又是相同期相的数据, 减少阶梯状伪影对图像质量的干扰。“Padding”宽度对期相的调整能力取决于心率波动范围的大小。

总之, 在低心率的前提下, ECG 管电流调制技术通过设置 70%~80% 满电流输出较常规 35%~80% 满电流设置相比大幅减低辐射剂量, 而图像质量却无差异, 值得向临床推广。

## 参考文献

- [1] Maffei E, Martini C, de SC, et al. Low dose CT of the heart: A quantum leap into a new era of cardiovascular imaging[J]. *La Radiologia Medica*, 2010, 115(8): 1179-1207.
- [2] ICRP Publication 60: 1990 recommendations of the international commission on radiological protection[M]. *Annals of the ICRP* 21(1-3). Oxford: Pergamon Press, 1991.
- [3] 赵磊, 刘挨师. 前瞻性心电门控MSCT冠状动脉成像研究进展[J]. *国际医学放射学杂志*, 2010, 33(5): 442-445.  
Zhao L, Liu AS. Research progress of prospectively gated axial coronary angiography using multi-slice CT[J]. *International Journal of Medical Radiology*, 2010, 33(5): 442-445.
- [4] Austen WG, Edwards JE, Frye RL, et al. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease: Report of the Ad Hoc committee for grading of coronary artery disease, council on cardiovascular surgery, american heart association[J]. *Circulation*, 1975, 51(S4): 5-40.
- [5] Jakobs TF, Becker CR, Ohnesorge B, et al. Multislice helical CT of the heart with retrospective ECG gating: Reduction of radiation exposure by ECG-controlled tube current modulation[J]. *European Radiology*, 2002, 12(5): 1081-1086.
- [6] Achenbach S, Ropers D, Holle J, et al. In-plane coronary arterial motion velocity: Measurement with electron-beam CT[J]. *Radiology*, 2000, 216(2): 457-463.
- [7] Weustink AC, Mollet NR, Pugliese F, et al. Optimal electrocardiographic pulsing windows and heart rate: Effect on image quality and radiation exposure at dual-source coronary CT angiography[J]. *Radiology*, 2008, 248(3): 792-798.
- [8] 王妍焱, 吴国庚, 周诚, 等. 64 层螺旋CT前门控冠状动脉横断面扫描低剂量技术的初步研究[J]. *中华放射学杂志*, 2008, 42(10): 1018-1021.  
Wang YY, Wu GK, Zhou C, et al. Dose reduction using prospective electrocardiograph-triggered axial coronary scan on the 64-slice spiral CT[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2008, 42(10): 1018-1021.
- [9] James PE, Elizabeth CS. Prospectively gated low-dose CCTA: 24 months experience in more than 2000 clinical cases[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2009, 25(S2): 177-187.

- [10] Pontone G, Andreini D, Bartorelli AL, et al. Diagnostic accuracy of coronary computed tomography angiography: A comparison between prospective and retrospective electrocardiogram triggering[J]. Journal of the American College of Cardiology, 2009, 54(4): 346-355
- [11] Herzog C, Zangos S, Arning ME, et al. Multi-detector row CT coronary angiography: Influence of reconstruction technique and heart rate on image quality[J]. Radiology, 2006, 238(1): 75-86.

## Low Dose 64-slice CT Coronary Angiography with Retrospective ECG Gating: A Clinical Study

GAO Jie, ZHANG Xue-feng<sup>✉</sup>

(Department of Radiology, Inner Mongolia People's Hospital, Hohhot 010020, China)

**Abstract:** Objective: To compare image quality and radiation dose for coronary artery computed tomographic angiograms (CTA) with retrospectively gated helical (RGH) CT technique in two methods using 64-slice spiral CT. Methods: 80 patients with low heart rate enrolled in this study were randomly divided into two groups. The low dose RGH group was 40 patients with average body mass index (BMI) 27.06 using ECG modulation technique (full mA on 70%~80% of the R-R interval and the lowest mA on rest of phases). The traditional RGH group was 40 patients with BMI 25.66 using ECG modulation technique (full mA on 35%~80% of the R-R interval and the lowest mA on rest of phases). Two groups were evaluated for image quality (each coronary artery segment, 5-point scale) and radiation dose and compared with image quality score and radiation dose by Mann-Whitney *U*-test and unpaired *t*-test. A *p* value below 0.05 was considered statistically significant. Results: The mean effective dose for the low dose RGH group was 13.76 mSv; this represents a 31.40% reduction as compared with that for the traditional RGH group (mean, 20.06 mSv;  $t = -8.391$ ,  $P = 0.00$ ). The mean image quality score was 4.05 for images obtained with low dose ECG modulation technique versus 4.19 for images obtained with traditional ECG modulation technique ( $Z = -4.78$ ,  $P = 0.23$ ). Conclusion: RGH coronary CT angiography using ECG modulation technique (full mA on 70%~80% of the R-R interval and the lowest mA on rest of phases) could offer assessable image quality and substantially reduced effective radiation dose compared with traditional RGH coronary CT angiography at low heart rate.

**Key words:** X-ray computed; tomography; coronary artery; radiation dose; ECG-gating



**作者简介:** 高洁 (1983—), 女, 硕士研究生学历, 内蒙古自治区人民医院介入放射科医师, 主要从事CT/MRI诊断, Tel: 13948715613, E-mail: immcgaojie@yahoo.cn; 张雪峰<sup>✉</sup> (1974—), 内蒙古自治区人民医院介入放射科副主任医师, 硕士研究生学历, 主要从事CT/MRI诊断。