

# 中低心率患者在双源 CT 低管电压冠状动脉成像中的图像质量及辐射剂量

胡永胜 何新华 付璇 王自勇 王慧 陈昊 费长军 王劲武

**【摘要】** 目的 探讨中低心率对双源 CT 低管电压冠状动脉成像的图像质量及辐射剂量的影响。方法 对 85 例体质量指数(BMI)为 17.51~30.00 kg/m<sup>2</sup>、心率在 91 次/min(bpm)以下的可疑冠心病患者进行双源 CT 低管电压(100 kVp)回顾性心电门控冠状动脉成像增强扫描,检查前不使用β受体阻滞剂控制心率。按患者扫描时的心率进行分组,≤59 bpm 为 A 组(27 例),60~69 bpm 为 B 组(29 例),≥70 bpm 为 C 组(29 例)。评价各组的最佳重建时相图像,记录各组的增强扫描序列的螺距、CT 容积剂量指数(CTDI<sub>vol</sub>)、剂量长度乘积(DLP)及有效剂量(ED)值。应用单因素方差分析比较 3 组患者的扫描螺距、图像质量评分和辐射剂量值等。分析心率对冠状动脉成像图像质量及辐射剂量的影响。结果 A、B、C 组螺距分别为 0.241±0.025、0.286±0.034、0.335±0.036;3 组图像质量评分分别为(4.78±0.26)、(4.66±0.56)、(4.70±0.46)分;CTDI<sub>vol</sub>值分别为(18.06±5.16)、(19.62±7.15)和(17.50±7.13) mGy,ED 值分别为(4.23±1.16)、(4.59±1.75)、(4.12±1.39) mSv。3 组的螺距差异有统计学意义( $F=60.00, P=0.00$ );3 组间的图像质量评分差异无统计学意义( $F=0.53, P=0.59$ );3 组间 CTDI<sub>vol</sub>差异无统计学意义( $F=0.83, P=0.44$ ),ED 差异也无统计学意义( $F=0.86, P=0.43$ )。结论 中低心率对双源 CT 低管电压冠状动脉成像的图像质量影响很小,在自动心电门控剂量窗时,对辐射剂量的影响也很小。

**【关键词】** 辐射剂量; 冠状血管; 体层摄影术,X 线计算机; 心率

**Dual-source CT coronary angiography in patients with medium and low heart rate; imaging quality and radiation doses at a low tube voltage** HU Yong-sheng, HE Xin-hua, FU Xuan, WANG Zi-yong, WANG Hui, CHEN Hao, FEI Chang-jun, WANG Jin-wu. Medical Imaging Center, Hefei First People's Hospital, Hefei 230061, China

Corresponding author: HE Xin-hua, Email: huysyhy@yahoo.com.cn

**【Abstract】** **Objective** To evaluate the imaging quality and radiation doses of dual-source computed tomography (DSCT) coronary angiography at a low tube voltage in patients with medium and low heart rate. **Methods** Eighty-five patients [heart rate (HR) < 91 beats per minute (bpm); body mass index (BMI) 17.51—30.00 kg/m<sup>2</sup>] suspected of coronary artery disease received retrospectively ECG-gating coronary angiography with dual-source CT scanner (Somatom Definition, Siemens) at a tube voltage of 100 kVp. For all patients, no beta-blocker was used before CT scan. According to the HR, the patients were divided into three groups: Group A, HR ≤ 59 bpm, n = 27; Group B, HR 60—69 bpm, n = 29; Group C, HR ≥ 70 bpm, n = 29. All images were transferred to a workstation for postprocessing. The best R-R interval reconstruction images of all groups were evaluated. The value of pitch, CT volume dosage index (CTDI<sub>vol</sub>), dose length product (DLP) and effective dose (ED) were recorded. The pitch, the score of imaging quality of coronary artery segments and the radiation dose were compared with one-way ANOVA. The influence of HR on image quality and radiation doses of coronary artery was analyzed. **Results** The value of pitch in Group A, Group B and Group C was 0.241±0.025, 0.286±0.034 and 0.335±0.036, respectively. The mean score of imaging quality of coronary artery segments in Group A, Group B and Group C was 4.78±0.26, 4.66±0.56 and 4.70±0.46, respectively. The value of CTDI<sub>vol</sub> in Group A, Group B and Group C was (18.06±5.16), (19.62±7.15) and (17.50±7.13) mGy, respectively. The value of ED in group A, Group B and Group C was (4.23±1.16), (4.59±1.75) and (4.12±1.39) mSv, respectively. There was statistical difference in value of pitch among the three groups ( $F=$

DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2011.03.011

作者单位:230061 合肥市第一人民医院医学影像中心

通信作者:何新华,Email: huysyhy@yahoo.com.cn

60.00,  $P=0.00$ ). There were no statistical difference in score of imaging quality,  $CTDI_{vol}$  and value of ED among the three groups ( $F=0.53$ ,  $P=0.59$ ;  $F=0.83$ ,  $P=0.44$ ;  $F=0.86$ ,  $P=0.43$ ). **Conclusion** Medium and low HR have little influences on image quality of dual-source CT coronary angiography at a low tube voltage. When the auto ECG-gating is selected, there is little influence on radiation dosage as well.

**【Key words】** Radiation dosage; Coronary vessels; Tomography, X-ray computed; Heart rate

双源 CT (dual source CT, DSCT) 由于使用两套 X 线管和两套数据探测系统, 极大地加快了扫描速度, 提高了时间分辨率, 对于心血管疾病的无创检查具有显著的优势。近几年国内关于 DSCT 冠状动脉成像的相关临床研究已有许多报道<sup>[1-5]</sup>。对于低剂量 DSCT 冠状动脉成像的研究多采用前瞻性心电门控技术<sup>[2,3]</sup>, 但前瞻性心电门控冠状动脉序列扫描易受心率和心律的影响, 不能改变重建时相, 不能进行心功能评价, 有一定局限性。有学者<sup>[4]</sup>针对体质量指数 (body mass index, BMI) 在正常范围内 ( $18.5 \sim 24.9 \text{ kg/m}^2$ ) 的患者进行低管电压 ( $100 \text{ kVp}$ ) 扫描研究, 认为可在保证图像质量的同时显著降低辐射剂量, 但未考虑心率因素的影响。本研究中针对 BMI 在  $17.51 \sim 30.00 \text{ kg/m}^2$  之间的患者按心率分组, 使用  $100 \text{ kVp}$  进行 DSCT 冠状动脉回顾性心电门控扫描成像, 旨在探讨心率对冠状动脉图像质量及辐射剂量的影响。

## 资料与方法

### 一、临床资料

2010 年 1 月至 7 月间, 对就诊于本院的心率  $< 91 \text{ 次/min}$  (beat per minute, bpm)、临床怀疑冠心病患者共 85 例进行 DSCT 低管电压冠状动脉成像检查, 其中男 62 例, 女 23 例, 年龄  $33 \sim 80$  岁, 平均年龄 62 岁。BMI  $17.51 \sim 30.00 \text{ kg/m}^2$ 。排除对碘对比剂过敏、严重肝肾功能不全、失代偿性心功能不全、严重心律不齐、不能很好屏气以及 BMI  $> 30.00 \text{ kg/m}^2$  的患者。扫描前不使用药物控制心率。按扫描时的平均心率将 85 例患者分为 3 组:  $\leq 59 \text{ bpm}$  为 A 组 (27 例),  $60 \sim 69 \text{ bpm}$  为 B 组 (29 例),  $\geq 70 \text{ bpm}$  为 C 组 (29 例)。所有患者在检查前签署知情同意书。

### 二、设备与扫描方法

扫描设备采用 Siemens DSCT (Somatom Definition, Siemens) 和 Medrad 双筒高压注射器。扫描前以  $18 \text{ G}$  安全留置针进行肘正中静脉穿刺。患者头先进仰卧于扫描床上, 双手上举过头, 身体稍偏向右侧, 将心脏部位置于扫描野中心, 按要求安放好

设备心电监控电极, 耐心训练患者呼吸及屏气。先扫描胸部前后位定位像, 设定扫描范围为自气管隆突下方  $1 \text{ cm}$  向下至心脏膈面。应用对比剂跟踪技术 (bolus tracking), 在主动脉根部冠状动脉开口上方层面选择 ROI 进行监测。高压注射器以  $5.0 \sim 5.5 \text{ ml/s}$  流率先试注射  $20 \text{ ml}$  生理盐水, 观察设备显示的注射压力曲线变化和患者静脉穿刺部位情况, 确认患者血液无外渗后, 以同样流率注射碘海醇  $70 \sim 95 \text{ ml}$  (浓度为  $350 \text{ mg/l}$ ), 随后再注射  $50 \text{ ml}$  生理盐水, 于注射对比剂同时启动扫描程序, 延迟  $10 \text{ s}$  自动运行监测扫描, ROI 内 CT 值超过设定值  $100 \text{ HU}$  并延迟  $3 \text{ s}$  时自动触发扫描。扫描参数为: 准直  $32 \text{ 层} \times 0.6 \text{ mm}$  (采用飞焦点技术实际数据采集  $64 \text{ 层}$ ), 层厚  $0.6 \text{ mm}$ , 重建矩阵  $512 \times 512$ , 卷积核 B26f, FOV  $142 \text{ mm} \times 142 \text{ mm} \sim 222 \text{ mm} \times 222 \text{ mm}$ , 螺旋扫描方式, 每圈旋转时间  $330 \text{ ms}$ , 螺距  $0.20 \sim 0.44$  (根据心率设备自动调整), 管电压  $100 \text{ kVp}$ , 每圈参考毫安秒量  $320 \text{ mAs}$ , 应用 CareDose 4D 和心电脉冲 (ECG-pulsing) 管电流调控技术, 全剂量时间窗根据心率自动调整。扫描所得图像数据传至 Siemens 专用独立图像后处理工作站。记录相关扫描参数。

### 三、图像后处理方法

采用单扇区图像重建和自动选取最佳重建时相, 并结合手动改变重建时相进行图像后处理, 在独立图像后处理工作站上调用专用心血管图像处理程序 (Syngo Circulation, Siemens), 观察最佳重组时相图像, 进行 VR、CPR 以及 MPR 等图像后处理。

### 四、图像评价标准及方法

采用美国心脏协会 (AHA) 标准, 对冠状动脉采取改良的 15 段分法: 右冠状动脉 (right coronary artery, RCA) 为段 1~4, 分别为近段、中段、远段和后降支; 左主干 (left main, LM) 为段 5, 左前降支 (left anterior descending, LAD) 为段 6~10, 分别为近段、中段、远段、第 1 及第 2 对角支; 左回旋支 (left circumflex, LCX) 为段 11~15, 分别为回旋支近段、中段、远段、第 1 和第 2 钝缘支; 如果有中间支、左室后支则为段 16~17<sup>[6]</sup>。

图像质量评价分为 5 级。5 分:图像质量优,冠状动脉显示清晰,管腔连续完整,无阶梯状伪影;4 分:图像质量良好,冠状动脉显示清晰,管腔连续完整,无阶梯状伪影;3 分:图像质量良好,管腔基本连续完整,管壁轻度伪影或 CPR 上见轻度阶梯状伪影,不影响诊断;2 分:图像质量尚好,管壁中度伪影或 CPR 图像中度阶梯状伪影,尚可以做出诊断;1 分:图像质量为差,重组图像上冠状动脉错位、管壁严重伪影,不能做出诊断。评价管腔直径 >2 mm 的血管,闭塞血管的远端和严重钙化血管段不作评价。

由 2 名副主任医师以上职称的放射医师对图像质量进行独立评价,意见不一致时进行共同阅片,达成一致意见。

### 五、辐射剂量计算

记录全剂量采集范围并计算出全剂量时相宽度值(全剂量结束时相减去全剂量开始时相),记录设备自动计算出的实际平均每圈毫安秒量(mAs/rot),统计 CT 冠状动脉增强扫描时的辐射剂量,不包括定位像(topogram)和对比剂跟踪监测扫描时的辐射剂量。记录 CT 设备自动计算得到的容积剂量指数(CT dose index volume, CTDI<sub>vol</sub>)和剂量长度乘积(dose length product, DLP),由 DLP 乘以转换系数 k 来估算有效剂量(effective dose, ED),参考欧盟关于 CT 质量标准指南, k = 0.017 mSv · mGy<sup>-1</sup> · cm<sup>-1</sup>[7]。

### 六、统计学方法

利用 SPSS 13.0 统计分析软件进行分析,应用单因素方差分析(LSD)法比较 3 组患者的心率、螺距、图像质量评分、mAs 和辐射剂量值等,应用  $\chi^2$  检验比较冠状动脉分级显示段数。应用 Kappa 检验判断 2 名评价者评分的一致性。P < 0.05 为差异有统

计学意义。

## 结 果

### 一、3 组患者扫描螺距、图像质量评分比较

3 组患者扫描时平均心率比较差异有统计学意义,两两比较任意两组之间差异均有统计学意义。3 组螺距比较差异有统计学意义,两两比较任意两组之间差异均有统计学意义。3 组图像评分均值比较差异无统计学意义。具体结果见表 1。2 名评价者评分的一致性较好(Kappa 值 = 0.66, P < 0.05)。

表 1 3 组患者心率、螺距及图像质量评分比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	平均心率 (次/分)	螺距	图像 评分(分)
A 组	27	54 ± 4	0.241 ± 0.025	4.78 ± 0.26
B 组	29	64 ± 3	0.286 ± 0.034	4.66 ± 0.56
C 组	29	76 ± 5	0.335 ± 0.036	4.70 ± 0.46
F 值		209.19	60.00	0.53
P 值		0.00	0.00	0.59

注:A 组:心率 ≤ 59 次/分;B 组:心率为 60 ~ 69 次/分;C 组:心率 ≥ 70 次/分

### 二、3 组患者冠状动脉各节段及辐射剂量评价结果

3 组患者冠状动脉各节段评价结果见表 2, 图 1 ~ 6。5、4 及 2 分节段 3 组间比较差异均无统计学意义。3 分段比较:3 组间差异有统计学意义,两两比较,B 组和 C 组 3 分段数多于 A 组,B 组与 C 组差异无统计学意义。

3 组患者所受辐射剂量的比较情况见表 3。3 组全剂量采集时相宽度及平均每圈毫安秒比较差异有统计学意义,两两比较,B 组和 C 组均大于

表 2 3 组患者的冠状动脉各节段评价比较

组别	冠状动脉 节段数(个)	5 分节段		4 分节段		3 分节段		2 分节段	
		个	比率(%)	个	比率(%)	个	比率(%)	个	比率(%)
A 组	365	289	79.18	73	20.00	3	0.82	0	0.00
B 组	401	319	76.16	66	16.38	15	3.72	1	0.25
C 组	391	296	75.70	81	20.72	14	3.58	0	0.00
$\chi^2$ 值		1.81		2.79		7.48		1.88	
P 值		0.40		0.25		0.02		0.39	

表 3 3 组患者受辐射剂量比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	全剂量采集时相宽度(%)	平均每圈毫安秒(mAs/rot)	CTDI <sub>vol</sub> (mGy)	ED(mSv)
A 组	27	21.89 ± 12.01	131.26 ± 39.40	18.06 ± 5.16	4.23 ± 1.16
B 组	29	34.28 ± 14.76	157.45 ± 39.94	19.62 ± 7.15	4.59 ± 1.75
C 组	29	37.62 ± 14.04	163.21 ± 42.98	17.50 ± 7.13	4.12 ± 1.39
F 值		10.80	4.97	0.83	0.86
P 值		0.00	0.01	0.44	0.43

注:CTDI<sub>vol</sub>:CT 容积剂量指数;ED:有效剂量

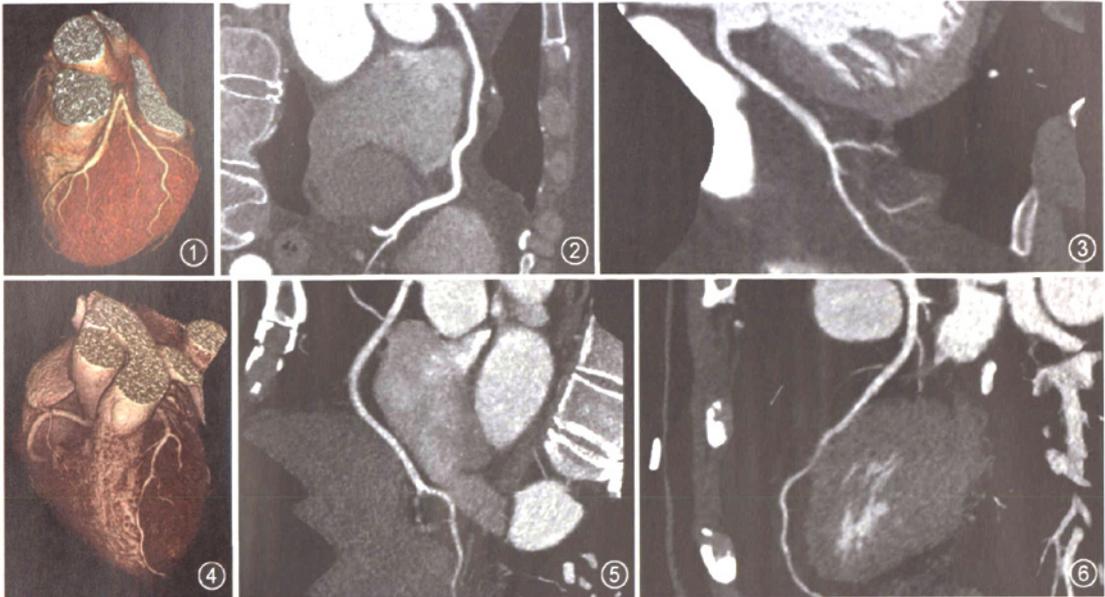


图 1~3 女, 54 岁, 扫描时平均心率 66 次/min (bpm)。图 1 为 VR 图像, 清晰显示冠状动脉各分支; 图 2 为 CPR 图像, 清晰显示右冠状动脉 (RCA) 近、中、远段, 边缘锐利, 管腔连续, 无阶梯状伪影, 图像质量优, 评分 5 分; 图 3 为 CPR 图像, 清晰显示左冠状动脉 (LCA)、左主干 (LM) 和左前降支 (LAD) 近、远段, 边缘锐利, 管腔连续, 无阶梯状伪影, 图像质量优, 评分 5 分。图 4~6 男, 48 岁, 扫描时平均心率 72 bpm。图 4 为 VR 图像, 清晰显示冠状动脉各分支; 图 5 为 CPR 图像, RCA 近、中、远段显示清晰, 管腔连续, 边缘略模糊, 无阶梯状伪影, 图像质量良好, 评分 4 分; 图 6 为 CPR 图像, LCA 显示尚可, 管腔连续, 无阶梯状伪影, 图像质量良好, LAD 中段局部边缘较模糊, 但能够进行诊断, 评分 3 分, 其余节段 4 分

A 组, B 组与 C 组比较差异无统计学意义。3 组有效辐射剂量比较差异无统计学意义。

### 讨 论

#### 一、DSCT 冠状动脉成像心率与螺距的关系

回顾性心电门控技术中最关键的参数是螺距, DSCT 扫描时最大螺距参照公式: 螺距 =  $D / (M \times S) \leq T_{rot} / T_{RR}$  ( $D$ : 球管旋转 1 周床移动的距离;  $M \times S$ : 探测器覆盖的宽度;  $T_{rot}$ : 机架旋转时间;  $T_{RR}$ : 患者心动周期), 但在实际应用中患者的心率变化存在一定偶然性, 为保证扫描成功率, 设备自动螺距修改为公式: 螺距 =  $T_{rot} / [(心率 - H) / 60]$ , 这里  $T_{rot}$  是机架旋转时间, 心率 (次/min) 指检测扫描程序装载前 10 个心动周期, 以最低 1 次心动周期保留 10 的整数位作为基数,  $H$  是风险控制, 根据心率快慢不同取值不同, 心率 > 100 次/min 时  $H$  为 20, 依次降低至 50 次/min 时  $H$  为 10。本研究有关心率与螺距关系的研究结果表明螺距随着心率的增加而增加。

#### 二、心率与全剂量采集时间窗和 mAs/rot 的关系

本研究采用自动全剂量窗设置, 设备根据心率情况自动选择全剂量范围, 心率低或稳定时全剂量

窗偏窄, 心率高或波动较大时则全剂量窗偏宽。ECG 电流调制技术可降低 30% ~ 50% 的辐射剂量<sup>[8]</sup>。mAs/rot 是 DSCT 引入的新概念, 本研究所使用的 mAs/rot 为扫描完成后程序中显示的每圈平均毫安秒。mAs/rot 使得每圈旋转采集的 mAs 保持不变, 脱离螺距的影响, 保证图像质量。本研究显示除 B 组 (心率 60 ~ 69 bpm) 与 C 组之间 (心率  $\geq$  70 bpm) 无明显差别外, B 组和 C 组的全剂量范围明显高于 A 组 (心率  $\leq$  59 bpm)。由于各组全剂量宽度的不同, 平均 mAs/rot 也随之产生相应变化, 即除 B 组和 C 组之间的 mAs/rot 差异无统计学意义外, 该两组 mAs/rot 高于 A 组。B 组与 C 组的差异性小可能与心率的分组以及心率的稳定性等因素有关。

#### 三、心率与辐射剂量的关系

按照设备本身的设置, 螺距随着心率的增加而增加, 如果各组的扫描参数和全剂量窗保持不变, 则辐射剂量将随着心率的增加而降低。本研究中 B 组和 C 组的平均心率显著高于 A 组, 理论上应该 B 组和 C 组的 CTDI<sub>vol</sub> 显著低于 A 组, 但实际上 3 组之间差别无统计学意义。原因可能在于螺距随心率加快而增加, 进而导致 CTDI<sub>vol</sub> 降低的同时为保证检查的成功率全剂量采集时间窗也相应加宽。也就是说,

由于心率增加导致的辐射剂量降低因全剂量采集时间窗的增宽而抵消。3 组 ED 差异也无统计学意义。当然, ED 还要受到扫描范围的影响,增加了各组之间差异的不确定性。

#### 四、心率对图像质量的影响

本研究结果表明,中低心率范围内,心率对 DSCT 低管电压冠状动脉成像的图像质量影响很小。虽然 A 组的图像评分稍高,但各组间图像质量评分差异无统计学意义,此点与王怡宁等<sup>[1]</sup>的报道一致。该学者以 120 kVp 扫描,进行了 DSCT 冠状动脉成像的图像质量和重组时相与心率关系的研究,认为低心率组(心率 $\leq 70$  bpm)与中心率组(心率 71~90 bpm)图像质量评分差异无统计学意义。就冠状动脉的各节段评价结果而言,本研究中 A 组的 5 分节段显示率稍高,但 3 组心率图像中 5 分和 4 分节段的显示结果相当,3 分节段的显示率 B、C 组大于 A 组。B 组 1 节段被评为 2 分,影响该段成像质量的原因尚不明确。3 组心率图像中未出现 1 分节段。

#### 五、Care Dose4D 技术问题

在实际扫描过程中,由于被检体厚薄、密度不同,设备依据探测器检测的信号强弱,按照设定的参考 mAs/rot,在 X、Y 平面和 Z 轴方向自动实时调整辐射剂量大小。它可以显著降低患者的受辐射剂量,本研究中将其全部设置为 320 mAs/rot,对全部患者使用该技术。有学者<sup>[9]</sup>研究说明复合采用 ECG 和 Care Dose4D 模式可以有效降低皮肤峰值剂量和有效剂量。

#### 六、本研究的临床意义和局限性

冠状动脉 CT 扫描成像已成为冠心病检查的一项重要重要的无创性成像手段<sup>[5]</sup>。由于心脏是运动器官,其成像质量直接影响冠状动脉疾病的诊断准确性,为保证成像质量,在 CT 扫描中常使用小螺距的重叠扫描,使得辐射剂量显著提高。虽然 DSCT 具有较高的时间分辨率,可以满足较大范围心率患者的冠状动脉成像需求,而且不会比单源 CT 增加辐射剂量<sup>[10]</sup>,但是从减少照射剂量和降低辐射效应方面考虑,专家倡导应重视 CT 冠状动脉成像中的辐射剂量问题<sup>[5]</sup>。因此,本研究采用的低管电压(100 kVp)进行中、低心率患者的图像质量和辐射剂量研究,没有将 BMI 局限于  $< 24.00$  或

$< 25.00 \text{ kg/m}^2$ <sup>[3,4]</sup>,而是增加到  $\leq 30.00 \text{ kg/m}^2$ ,扩大了低管电压的应用范围,而且采用 Care Dose4D、自动全剂量窗的心电门控等综合低剂量扫描技术,具有重要的现实意义。

本研究中为保证冠状动脉成像扫描的成功率,使得扫描参数设置更接近实际工作状态,与辐射剂量密切相关的全剂量窗设定为设备自动选择,全剂量采集范围具有随机性,加之应用了 Care Dose4D 技术,使得有关辐射剂量的研究结果有一定条件限制。由于评价者对噪声耐受程度以及低管电压时 X 线穿透能力的限制,没有涉及 BMI $\geq 30.00 \text{ kg/m}^2$  的病例。再者,本研究没有涉及高心率( $\geq 90$  bpm)以及心率变异等影响图像质量的因素,使得研究结果有一定局限性。

志谢 西门子公司李朝阳、宋志巍、李琛玮等在本文写作过程中就 DSCT 原理与使用问题提供了帮助

#### 参 考 文 献

- [1] 王怡宁,金征宇,孔令燕,等. 双源 CT 冠状动脉成像的图像质量及重组时相与心率的关系. 中华放射学杂志,2008,42:119-122.
- [2] 段艳华,王锡明,程召平,等. 前瞻性心电门控双源 CT 冠状动脉成像在高心率患者中应用的可行性研究. 中华放射学杂志,2009,43:714-718.
- [3] 徐磊,晏子旭,张兆琪,等. 双源 CT 低剂量前瞻性心电触发序列扫描在冠状动脉血管成像的应用. 中华放射学杂志,2009,43:700-703.
- [4] 晏子旭,张兆琪,徐磊,等. 双源 CT 低管电压降低冠状动脉 CTA 辐射剂量. 中国医学影像技术,2009,25:1614-1616.
- [5] 张兆琪,徐磊. 重视冠状动脉多层 CT 成像的低剂量检查. 中华放射学杂志,2009,43:681-683.
- [6] Alkadhi H, Scheffel H, Desbiolles L, et al. Dual-source computed tomography coronary angiography: influence of obesity, calcium load, and heart rate on diagnostic accuracy. Eur Heart J,2008,29:766-776.
- [7] Bax JJ, Schuijff JD. Which patients should be referred for non-invasive angiography with multi-slice CT? Int J Cardiol, 2007,114:1-3.
- [8] Abada HT, Larchez C, Daoud B, et al. MDCT of the coronary arteries: feasibility of low dose CT with ECG pulsed tube current modulation to reduce radiation dose. AJR,2006,186(6 Suppl 2):S387-S390.
- [9] 刘彬,郭森林,魏岚,等. 基于体模试验对比研究不同模式下多层螺旋 CT 冠状动脉成像照射剂量. 中华放射学杂志,2009,43:394-396.
- [10] Achenbach S, Anders K, Kalender WA. Dual-source cardiac computed tomography: image quality and dose considerations. Eur Radiol,2008,18:1188-1198.

(收稿日期:2010-08-18)

(本文编辑:张琳琳)