

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

王怡宁 金征宇 孔令燕 张竹花 宋兰 张抒扬 林松柏 牟文斌 王运 赵文敏

【摘要】 目的 探讨双源 CT 冠状动脉成像的图像质量和重组时相与心率的关系。方法 对 95 例临床可疑冠心病患者进行双源 CT 增强扫描, 检查前均不使用 受体阻滞剂控制心率。按扫描时心率分为 3 组: 低心率组 (< 70 次/min) 26 例, 中心率组 ($71 \sim 90$ 次/min) 37 例, 高心率组 (> 91 次/min) 32 例。利用回顾性心电门控重建出 10% ~100% R-R 时相的图像, 分析不同 R-R 时相冠状动脉的图像质量情况及其与心率的关系。结果 低、中、高心率 3 组图像质量评分分别为 (1.08 ± 0.27)、(1.32 ± 0.58)、(1.47 ± 0.61) 分, 低心率和中心率组图像质量评分差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 低心率组图像质量评分显著优于高心率组 ($P < 0.05$), 中心率组和高心率组图像质量评分差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。只有 1.4% ($19/1386$) 的冠状动脉节段不可评价。74 例患者 (77.9%) 可在单一重组时相获得冠状动脉各段最佳图像质量。低心率组 23 例 (88.5%) 最佳重组时相在舒张中晚期; 高心率组 27 例 (84.4%) 的最佳重组时相前移至舒张早期和收缩末期。结论 双源 CT 能够在相当宽的心率范围内提供优良的图像质量; 多数患者可在单一时相获得各支冠状动脉最佳质量图像, 随着心率的增快最佳重组时相从舒张中晚期前移至舒张早期和收缩末期。

【关键词】 冠状血管; 心率; 体层摄影术, X 线计算机

The impact of heart rate on image quality and reconstruction timing of dual-source CT coronary angiography WANG Yi-ning*, JIN Zheng-yu, KONG Ling-yan, ZHANG Zhu-hua, SONG Lan, ZHANG Shu-yang, LIN Song-bai, MOU Wen-bin, WANG Yun, ZHAO Wen-min. * Department of Radiology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China
Corresponding author: JING Zheng-yu, Email: king@csc.pumch.ac.cn

【Abstract】 Objective To evaluate the impact of patient's heart rate (HR) on coronary CT angiography (CTA) image quality (IQ) and reconstruction timing in dual-source CT (DSCT). Methods Ninety-five patients with suspicion of coronary artery disease were examined with a DSCT scanner (Somatom Definition, Siemens) using 32×0.6 mm collimation. All patients were divided three groups according to the heart rate (HR): group 1, HR < 70 beats per minute (bpm), $n = 26$; group 2, HR > 70 bpm to 90 bpm, $n = 37$; group 3, HR > 90 bpm, $n = 32$. No beta-blockers were taken before CT scan. 50—60 ml of nonionic contrast agent were injected with a rate of 5 ml/s. Images were reconstructed from 10% to 100% of the R-R interval using single-segment reconstruction. Two readers independently assessed IQ of all coronary segments using a 3-point scale from excellent (1) to non-assessable (3) for coronary segments and the relationship between IQ and the HR. Results Overall mean IQ score was 1.31 ± 0.55 for all patients with 1.08 ± 0.27 for group 1, 1.32 ± 0.58 for group 2 and 1.47 ± 0.61 for group 3. The IQ was better in the LAD than the RCA and LCX ($P < 0.01$). Only 1.4% ($19/1386$) of coronary artery segments were considered non-assessable due to the motion artifacts. Optimal image quality of all coronary segments in 74 patients (77.9%) can be achieved with one reconstruction data set. The best IQ was predominately in diastole (88.5%) in group 1, while the best IQ was in systole (84.4%) in group 3. Conclusions DSCT can achieve the optimal IQ with a wide range of HR using single-segment reconstruction. With the increasing of HR, the timing of data reconstruction for the best IQ shifts from mid-diastole to systole.

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

作者单位: 100730 中国医学科学院 中国协和医科大学 北京协和医院放射科 (王怡宁、金征宇、孔令燕、张竹花、宋兰、牟文斌、王运、赵文敏), 心内科 (张抒扬), 特需医疗部 (林松柏)

通信作者: 金征宇, Email: king@csc.pumch.ac.cn

多层螺旋 CT 冠状动脉成像因其无创性和较高的准确性已成为诊断冠心病的重要手段。但目前应用的 64 层螺旋 CT 由于时间分辨率有限, 导致约 12% 的冠状动脉节段无法评价而使诊断准确率降

低^[1]。临床上只能通过使用 β -受体阻滞剂降低心率,提高冠状动脉图像质量^[2]。双源 CT 因其双 X 线管扫描的内在优势将时间分辨率提高到 83 ms (机架旋转时间 330 ms) 而不依赖于心率^[3],有望减少搏动伪影,改善图像质量。本研究的目的是探讨双源 CT 冠状动脉成像的图像质量与重组时相和心率的关系。

资料与方法

一、临床资料

2006 年 11 月至 2007 年 2 月间,对本院 95 例临床怀疑冠心病的患者进行了双源 CT 冠状动脉成像,其中男 55 例,女 40 例,年龄 38 ~89 岁(59.6 ± 12.5) 岁。病例排除标准包括:对含碘对比剂过敏,严重心律不齐,严重肝肾功能不全,失代偿性心功能不全,冠状动脉支架置入或旁路移植术后以及不能配合屏气的患者。患者检查前均不使用药物控制心率。95 例患者按扫描时平均心率分成 3 组,低心率组(< 70 次/min) 26 例,中心率组(71 ~90 次/min) 37 例,高心率组(> 91 次/min) 32 例。

二、扫描技术

采用西门子双源 CT (Somatom Definition, Siemens) 进行冠状动脉成像。先做胸部屏气定位像,扫描范围为气管分叉下方 10 mm 至心脏膈面,采用高压注射器以 5.0 ml/s 的流率在肘前静脉注入 50 ~60 ml 非离子对比剂(碘普胺, 370 mg I/ml) 和 50 ml 生理盐水。应用对比剂示踪法 (bolus-tracking), 在主动脉根部层面选择感兴趣区监测 CT 值,当感兴趣区内 CT 值超过 80 HU 时,延迟 5 s 自动触发扫描。扫描参数:准直 32 层× 0.6 mm,采用 Z 轴飞焦点技术采集 64 层,每层 0.6 mm,矩阵 512× 512,视野(FOV) 150 mm× 150 mm ~180 mm× 180 mm;机架旋转时间 330 ms,螺距(pitch) 0.2 ~ 0.5,根据心率调整。管电压 120 kV,管电流 400 mAs,应用心电图脉冲(ECG-pulsing)管电流调节技术。

三、图像后处理方法

采用单段重建法重建心脏 R-R 间期 10% ~ 100% 间隔 10% 的 10 组数据,层厚 0.75 mm,间隔 0.5 mm,卷积函数值 B26f。应用心血管后处理软件 (Syngo Circulation, Siemens) 对图像进行多平面重组 (multi-planar reconstruction, MPR)、最大密度投影 (maximal intensity projection, MIP) 及容积重组 (volume rendering, VR) 等后处理。

四、图像评价方法

分别以例数及冠状动脉节段为单位评价图像质量。采用美国心脏协会推荐的 15 分段法分析冠状动脉树^[4],右冠状动脉(right coronary artery, RCA) 包括第 1 ~4 段,左主干(left main, LM) 和左前降支(left anterior descending, LAD) 包括第 5 ~10 段,左回旋支(left circumflex, LCX) 包括第 11 ~15 段。闭塞血管以远段不记入分析。冠状动脉图像质量分为 3 级,相应评为 1 ~3 分:1 级为血管显示良好,边界清晰,无阶梯状伪影或血管中断;2 级为血管边界模糊,或有轻度阶梯状伪影;3 级为血管显示不清,或有严重阶梯状伪影。质量评分为 1、2 级的血管可以满足诊断要求,为可评价血管;质量评分为 3 级的血管不能满足诊断要求,为不可评价血管。由 2 名有经验的专业医师独立对图像质量作出评分,并求平均值做结果分析。

五、统计学方法

对每例患者取其最佳重组时相的图像,应用 t 检验比较不同冠状动脉分支图像质量评分,应用单因素方差分析最小显著差异(LSD)法比较低、中、高心率 3 组患者的图像质量评分。统计学处理在 SPSS 11.0 统计分析软件包上完成, P < 0.05 表示差异有统计学意义。

结 果

一、双源 CT 冠状动脉重组图像质量评价

95 例患者扫描时平均心率为 (82.8 ± 19.0) 次/min (44 ~ 139 次/min)。扫描时间为 (7.84 ± 1.36) s (5.51 ~ 11.68 s)。其中 70 例 (73.7%) 患者图像质量为 1 级; 21 例 (22.1%) 图像质量为 2 级; 4 例 (4%) 图像质量为 3 级。图像质量评分为 (1.31 ± 0.55) 分。LAD、LCX 和 RCA 质量评分分别为 (1.01 ± 0.10)、(1.15 ± 0.39) 和 (1.20 ± 0.48) 分, LAD 图像质量评分显著优于 LCX (t = - 3.347, P < 0.01) 和 RCA (t = - 3.801, P < 0.01), LCX 和 RCA 的图像质量评分差异无统计学意义 (t = - 0.839, P > 0.05, 图 1)。

冠状动脉各段显示情况: 95 例患者可显示 1386 段冠状动脉 (1425 段中 22 段因解剖变异未显示, 17 段因位于血管闭塞远端未显示), 其中图像质量为 1 级 1264 段 (91.2%), 2 级 103 段 (7.4%), 可评价的冠状动脉节段达到 98.6%; 3 级不可评价 19 段 (1.4%)。

二、双源 CT 冠状动脉重组图像质量、最佳重组

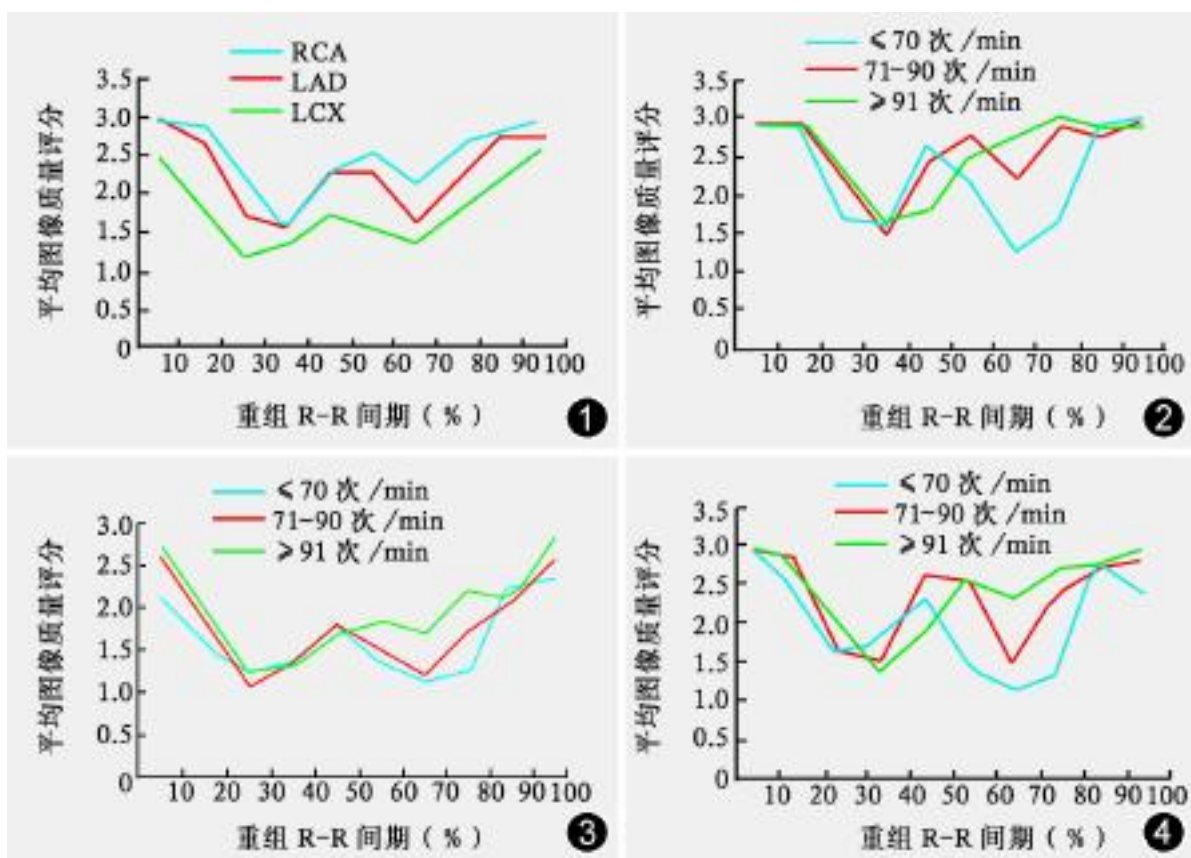


图1 冠状动脉各主要分支图像质量评分与重组 R-R 时相的关系。RCA: 右冠状动脉; LAD: 左前降支; LCX: 左回旋支 图2 不同心率下 RCA 图像质量评分与重组 R-R 时相的关系。当平均心率 <70 次/min 时, RCA 最佳重组时相在 70% R-R 间期; 当平均心率在 71~90 次/min 时, RCA 最佳重组时相在 40% R-R 间期; 当平均心率 >91 次/min 时, RCA 最佳重组时相在 40% R-R 间期 图3 不同心率下 LAD 图像质量评分与重组 R-R 时相的关系。当平均心率 <70 次/min 时, LAD 最佳重组时相在 70% R-R 间期; 当平均心率在 71~90 次/min 时, LAD 最佳重组时相在 30% 或 70% R-R 间期; 当平均心率 >91 次/min 时, LAD 最佳重组时相在 30%~40% R-R 间期 图4 不同心率下 LCX 图像质量评分与重组 R-R 时相的关系。当平均心率 <70 次/min 时, LCX 最佳重组时相在 70% R-R 间期; 当平均心率在 71~90 次/min 时, LCX 最佳重组时相在 40% 或 70% R-R 间期; 当平均心率 >91 次/min 时, LCX 最佳重组时相在 40% R-R 间期

时相选择与心率的关系

低、中、高心率 3 组图像质量评分分别为 (1.08 ± 0.27) 、 (1.32 ± 0.58) 、 (1.47 ± 0.61) 分, 单因素方差分析显示不同心率组间图像质量评分差异有统计学意义 ($F = 3.947, P < 0.05$), LSD 法比较两两组间图像质量评分差异, 显示低心率和中心率组评分差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 低心率组图像质量评分显著优于高心率组 ($P < 0.05$), 中心率组和高心率组图像质量评分差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。不同心率下冠状动脉各分支图像质量与重组时相的关系见图 2~4。95 例患者中 74 例 (77.9%) 可在单一重组时相获得最佳图像质量 (图 5~8), 其余 21 例需要 2 个或 2 个以上重组时相以获得对冠状动脉各支的最佳显示。低心率组 23 例 (88.5%) 患者的最佳重组时相在舒张中晚期 (60%~80% R-R 间期); 中心率组 27 例 (73.0%) 患者的最佳重组时相在收缩末期至舒张早期 (30%~50% R-R 间期); 高心率组 27 例 (84.4%) 患者的最佳重组时相在收缩末期至舒张早期 (30%~50% R-R 间期)。

讨 论

1. 双源 CT 在时间分辨率方面的优势: 影响冠状动脉 CT 成像质量的因素主要有心脏搏动伪影、呼吸伪影和血管壁严重钙化等。心脏搏动伪影在心率快和心律不齐时尤为显著^[5]。16 层和 64 层螺旋 CT 扫描的目标心率通常控制在 60~65 次/min 以下, 当心率超过 65~70 次/min 时需要采用多段重组法 (multisegmental reconstruction), 联合 2 个以上相邻心动周期的数据来提高时间分辨率^[6]。双源 CT 采用双 X 线管扫描, 在单段重组模式下时间分辨率达到 83 ms, 本研究结果显示, 无需使用多段重组法和受体阻滞剂控制心率即可在大多数 (98.6%) 患者中获得可评价的图像。

2. 图像质量与冠状动脉分支及心率的关系: 以前的研究显示多层螺旋 CT 的最佳重组时相在不同人及不同冠状动脉节段间变化很大, 且往往需要多个重组时相以使冠状动脉各段都能得到最佳显示^[7-9]。

本研究结果显示, 图像质量与冠状动脉分支及心率相关, LAD 总体图像质量最好, LCX 和 RCA 的图像质量相对较差与其走行在冠状沟中易受心房收缩影响有关^[10]。低心率组的总体图像质量明显优于高心率组, 与快心率所致心脏搏动伪影及螺距随心率变化有关。双源 CT 在相同扫描范围内, 心率越快, 螺距越大, 冠状动脉接受的射线量越少, 图像的密度分辨率下降, 从而影响血管成像的质量。虽然心率较高时整体图像质量有所下降, 但总体上只有 1.4% 的冠状动脉节段不可评价, 且大多数患者 (77.9%) 可在单一重组时相获得冠状动脉各段最佳图像质量。

3. 最佳重组时相与心率的关系及其临床应用: 本研究的扫描方案中使用了心电脉冲法, 仅在对重组有用的范围内发射正常剂量的射线, 而在其他时相管电流降低 80%, 依据不同心率有效剂量可减少 30%~50%, 且不增加图像噪声^[11]。本研究结果显示, 最佳重组时相受心率影响, 心率较慢时冠状动脉各分支在舒张中晚期获得最佳图像质量, 心率较

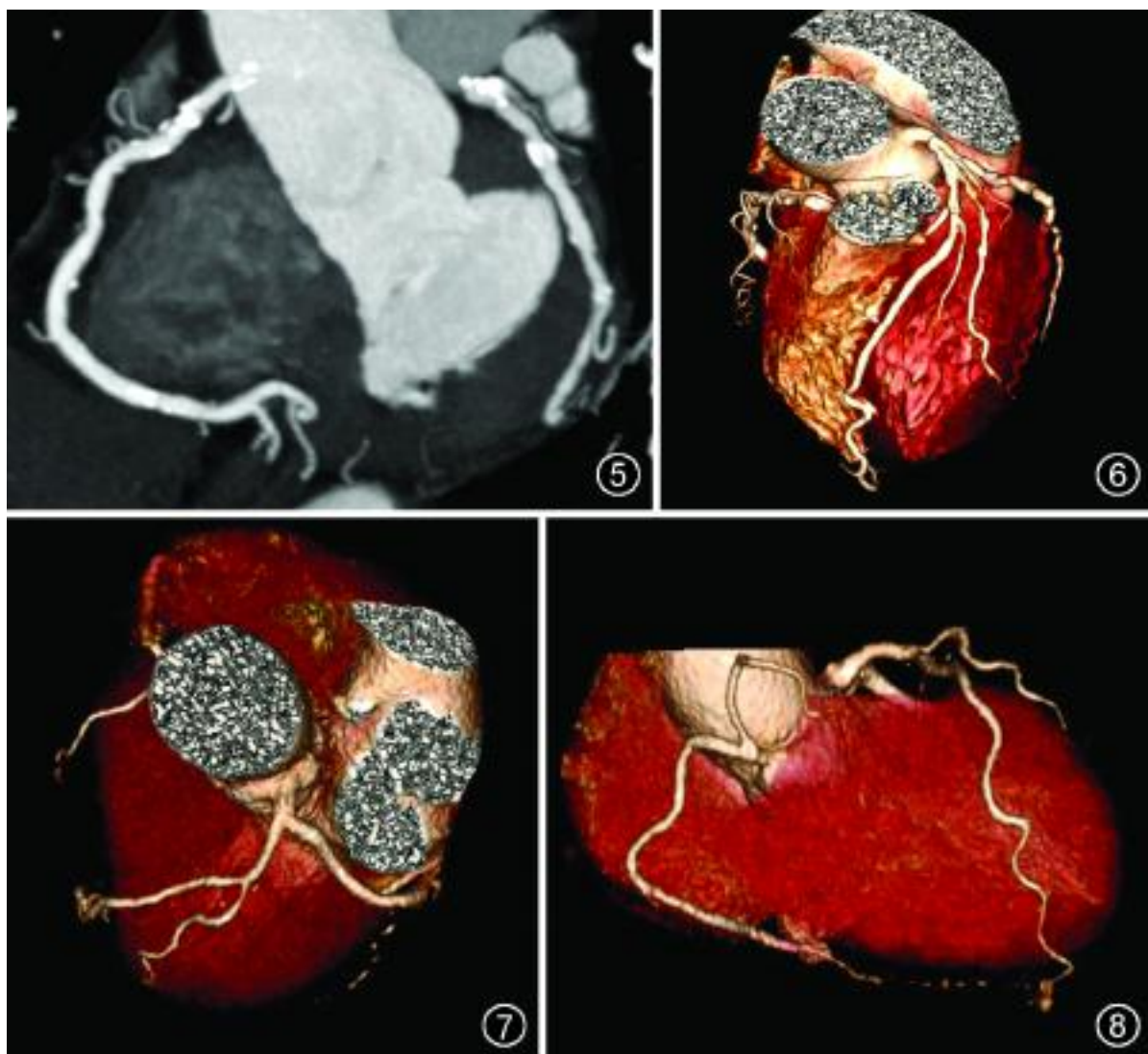


图 5,6 男,88 岁,平均心率 67 次/min。图 5 为 70% R-R 间期最大密度投影像,显示右冠状动脉和回旋支图像质量为 1 级。图 6 为 70% R-R 间期容积像,显示前降支图像质量为 1 级,无搏动伪影。图 7,8 女,65 岁,平均心率 105 次/min。图 7 为 40% R-R 间期容积像,显示左主干、前降支和回旋支近中段图像质量为 1 级。图 8 为 40% R-R 间期容积像,显示右冠状动脉和前降支图像质量为 1 级。

快时最佳重组时相前移至舒张早期或收缩末期,提示当平均心率 70 次/min 时,可将心电脉冲的窗宽设置在舒张中晚期(50% ~80% R-R 间期);当平均心率 >70 次/min 时,心电脉冲的窗宽应适当放宽到收缩末期至舒张中晚期(30% ~80% R-R 间期)。这样在保证图像质量的前提下合理减少了放射线辐射。

参 考 文 献

[1] Raff GL, Gallagher MJ, O Neill WW, et al. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. J Am Coll Cardiol, 2005, 46:552-557.

[2] Giesler T, Baum U, Ropers D, et al. Noninvasive visualization of coronary arteries using contrast-enhanced multidetector CT: influence of heart rate on image quality and stenosis detection. AJR, 2002, 179:911-916.

[3] Flohr TG, McCollough CH, Bruder H, et al. First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. Eur Radiol, 2006, 16:256-268.

[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. Circulation, 1975, 51(4 Suppl):5-40.

[5] Nieman K, Rensing BJ, van Geuns RJ, et al. Non-invasive coronary angiography with multislice spiral computed tomography: impact of heart rate. Heart, 2002, 88:470-474.

[6] Halliburton SS, Stillman AE, Flohr T, et al. Do segmented reconstruction algorithms for cardiac multi-slice computed tomography improve image quality? Herz, 2003, 28:20-31.

[7] Hong C, Becker CR, Huber A, et al. ECG-gated reconstructed multi-detector row CT coronary angiography: effect of varying trigger delay on image quality. Radiology, 2001, 220:712-717.

[8] Bley TA, Ghanem NA, Foell D, et al. Computed tomography coronary angiography with 370-millisecond gantry rotation time: evaluation of the best image reconstruction interval. J Comput Assist Tomogr, 2005, 29:1-5.

[9] 邝平定,张敏鸣,朱建华,等. 多层螺旋 CT 回顾性心电门控冠状动脉重组的最佳 R-R 时相及其临床应用. 中华放射学杂志, 2004, 38:178-183.

[10] Achenbach S, Ropers D, Holle J, et al. In-plane coronary arterial motion velocity: measurement with electron-beam CT. Radiology, 2000, 216:457-463.

[11] Jakobs TF, Becker CR, Ohnesorge B. Multislice helical CT of the heart with retrospective ECG gating: reduction of radiation exposure by ECG-controlled tube current modulation. Eur Radiol, 2002, 12:1081-1086.

(收稿日期:2007-10-25)
(本文编辑:任晓黎)