

Multi-slice spiral CT coronary angiography: influence of heart rate on reconstruction window and image quality

SUN Hong*, HUI Ping, LI Tian-wen, CUI Zhi-peng, HU Xing-he, WANG Xin-ming

(Department of Radiology, PLA General Hospital, Beijing 100853, China)

ABSTRACT Objective To evaluate the influence of different heart rate on best reconstruction window and image quality. **Methods** Ninety subjects underwent ECG-gated 16-row MSCT angiography, retrospectively. Raw helical CT data were reconstructed at 75% and 10%–90% of the cardiac cycle in increments of 10%. Group 1 and 2 were divided according to their heart rate (≤ 65 bpm and > 65 bpm). Image quality was assessed for each coronary as I, II or III class. **Results** The rate with high quality (class I) in group 1 (82.2%) was significantly higher than that of group 2 (47.4%), and the rate with class III in group 1 (5.3%) was significantly lower than that of group 2 (22.4%). The total number with class III came to 45 (12.5%). Most of three major coronary arteries were best visualized at 75% image reconstruction window of the cardiac cycle while that in group 1 (92.3%) was significantly higher than that of group 2 (61.4%). Some segments of 15 coronary arteries were well visualized at complementary imaging windows. **Conclusion** For most patients with heart rate ≤ 65 bpm, all major coronary arteries are optimally visualized at 75% image reconstruction window. Best and complementary imaging windows can improve the identification rate of coronary arteries.

KEY WORDS Coronary angiography; Tomography, X-ray computed; Image processing, computer assisted; Image quality

多层螺旋 CT 冠状动脉造影: 心率对最佳重建相位窗及图像质量的影响

孙红*, 惠萍, 李天文, 崔志鹏, 胡兴和, 王新明

(解放军总医院放射诊断科, 北京 100853)

[摘要] 目的 探讨心率对 16 层螺旋 CT 冠状动脉造影最佳重建相位窗及图像质量的影响。方法 90 例受检者行 16 层螺旋 CT 回顾性心电图门控条件下冠状动脉造影, 对原始数据进行 R-R 间期 75% 及 10%~90% (间隔 10%) 多个时相重建, 按心率 ≤ 65 bpm 和 > 65 bpm 分为 2 组, 图像质量分为 3 级。结果 第 1 组图像质量为 I 级的冠脉比率 (82.2%) 显著高于第 2 组 (47.4%), III 级者则相反 (5.3% 和 22.4%)。两组中图像质量为 III 级的冠脉共计 45 支, 占总数的 12.5%。LAD、LCx 和 RCA 在 75% 相位窗显示最佳者居多, 随心率增加, 75% 相位窗显示最佳者减少 (第 1、2 组分别为 92.3% 和 61.4%)。15 支冠状动脉在不同相位窗重建互相弥补。结论 对于大多数心率 ≤ 65 bpm 者, 各支冠状动脉能同时在 75% 相位窗最佳显示; 最佳重建相位窗和互补相位窗的选择可提高冠脉的显示率。

[关键词] 冠状血管造影术; 体层摄影术, X 线计算机; 图像处理, 计算机辅助; 图像质量

[中图分类号] R322.1; R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2005)04-0274-05

0 引言

随着多层螺旋 CT (multislice spiral computed tomography, MSCT) 的问世, 尤其 16 层 CT 冠状动脉成像技术在临床上的应用, 无创影像学诊断方法部分替代插管法造影成为心血管影像学的重要进展。对于 MSCT, 目前冠状动脉运动伪影仍然是影响成像质量的最主要因素^[1,2]。本文报告应用 16 层螺旋 CT 评

[作者简介] 孙红(1961—), 女, 河北保定市人, 硕士, 副教授, 副主任医师。研究方向: 心胸部疾病影像诊断。

[通讯作者] 孙红, 中国人民解放军总医院放射科, 100853。

E-mail: shunhong@301hospital.com.cn

[收稿日期] 2005-04-15 **[修回日期]** 2005-04-20

价冠状动脉的初步经验,探讨心率与最佳重建相位窗的关系及对抑制冠状动脉运动伪影、提高图像质量的影响。

1 资料与方法

1.1 临床资料 研究对象为在我院接受 16 层螺旋 CT 冠状动脉成像检查的冠心病或疑似患者及健康查体者共 92 例,男 87 例,女 5 例,年龄 38~82 岁(平均 61 岁)。心率 >65 bpm 者,检查前服用 β 受体阻滞剂控制心率。扫描中不同受检者心率范围为 44~102 bpm。按心率 ≤ 65 bpm 和 >65 bpm 分为 2 组(以扫描过程中冠状动脉出现后扫描图像所记录的最高心率分组统计),第 1 组 52 例,平均心率 58 bpm (≤ 60 bpm, 29 例; 61~65 bpm, 23 例);第 2 组 38 例,平均心率 76 bpm (66~70 bpm, 15 例; 71~80 bpm, 12 例; >80 bpm, 11 例)。2 例于扫描过程中出现严重心率失常,检查失败,未做分组统计。

1.2 检查方法 使用 GE Lightspeed 16 螺旋 CT。扫描于正常吸气后屏气进行。首先行预扫描确定延迟时间。选取主动脉根部某一层面采用高压注射器经肘静脉注入非离子型造影剂 20 ml (欧乃派克 350 mgI/ml),流速 3.5 ml/s,于注药后 10 s 开始对选定层面进行同层动态扫描,每次扫描间隔时间为 1 s,共扫 15 层。应用随机软件生成时间-密度曲线,测出对比剂开始注入至主动脉内达增强峰值的时间,加上 3~5 s 作为冠状动脉扫描的延迟时间。然后应用回顾性心电图门控技术,单或双扇区重建算法行全心范围螺旋扫描。扫描参数:120 kV;350 mAs;管球旋转时间 0.5 s;矩阵 512×512;层厚 0.625 mm 或 1.25 mm;显示野 (FOV):250 mm。造影剂 100~130 ml (欧乃派克 350 mgI/ml),注射速率 3.5 ml/s。

1.3 图像处理与分析 对原始数据进行 R-R 间期 75% 及 10%~90% (间隔 10%) 多个时相重建。原始图像传至工作站,先进行容积再现 (volume rendering, VR) 重建,然后根据横轴面和 VR 图像,选取冠脉显影最佳的 1~3 个相位窗,进一步行二维曲面重建 (2D curve reformatting)、最大密度投影 (maximum intensity projection, MIP) 等重建。重建后血管按左主干 (LM)、左前降支 (LAD)、左回旋支 (LCx) 和右冠状动脉 (RCA) 分别进行分析。参照美国心脏病协会冠脉节段分法,将冠状动脉各主支分为左主干,左前降支近、中、远段,左回旋支近、远段,右冠状动脉近、中、远段,共 9 个节段进行观察。冠状动脉显示最清楚、伪影最少的相位窗为最佳相位窗。冠脉重建像的图像质

量分为 3 级: I 级图像显示质量良好,全程血管显示清楚,血管连续,无伪影; II 级图像质量一般,可有轻微的运动伪影即主干血管边缘轻微模糊,或血管边缘锐利清晰但有个别阶梯状伪影却不影响诊断; III 级血管显示不清或明显阶梯状伪影,无法评价,上述各支冠脉中的 1 个或 1 个以上的节段有此表现即归为 III 级。最后分析 III 级表现的冠脉节段。

1.4 统计学方法 统计软件为 SPSS 10.0,两组间率的比较应用 χ^2 检验。

2 结果

2.1 冠状动脉重建图像质量分析 心率 ≤ 65 bpm 的 52 例 (208 支) 和 >65 bpm 的 38 例 (152 支) 的冠状动脉影像质量分级如表 1 和表 2 所示,第 1 组图像质量为 I 级的冠脉比率显著高于第 2 组 ($P < 0.001$),第 2 组图像质量为 III 级的冠脉比率显著高于第 1 组 ($P < 0.001$)。2 组中图像质量为 III 级的冠脉共计 45 支,占总数的 12.5% (45/360),按节段统计,共计 51 个冠脉节段,占总节段数的 6.3%,以 RCA 中段最多,LCx 远段其次。

表 1 心率 ≤ 65 bpm 的 52 例 (208 支) 冠状动脉影像质量

图像质量	LM	LAD	LCx	RAD	合计 (%)
I 级	52	43	44	32	171 (82.2)
II 级	0	7	6	13	26 (12.5)
III 级	0	2	2	7	11 (5.3)

表 2 心率 >65 bpm 的 38 例 (152 支) 冠状动脉影像质量

图像质量	LM	LAD	LCx	RAD	合计 (%)
I 级	33	17	14	8	72 (47.4)
II 级	4	18	12	12	46 (30.3)
III 级	1	3	12	18	34 (22.4)

2.2 冠状动脉显示的最佳相位窗及与心率的关系 LM 在多数相位窗图像质量较好,LAD、LCx 和 RCA 在 75% 相位窗显示最佳者居多,因 70% 和 80% 相位窗与 75% 接近,在前两个相位窗与后一相位窗显示冠脉血管没有明显差异时按 75% 统计分析,90 例不同冠状动脉最佳相位窗和 90 例 (270 支冠状动脉) 两组不同心率最佳相位窗见表 3 和表 4。心率 ≤ 65 bpm 组和 >65 bpm 组三支冠脉血管在 75% 相位窗显示最佳者的比率分别为 92.3% (144/156) 和 61.4% (70/114),前组显著高于后组 ($P < 0.001$)。心率 ≤ 65 bpm

的 52 例中 44 例(84.6%)冠状动脉各支均在 75%相位窗显示最佳(图 1,2),其中 26 例(50%)图像质量为 I 级;心率>65 bpm 的 38 例中 15 例(39.4%)冠状动脉各支均在 75%相位窗显示最佳,其中无各支图像质量均为 I 级者。一些冠状动脉不同节段在不同相位窗显示最佳,有 15 支冠状动脉通过不同相位窗重建可以弥补最佳相位窗重建时部分冠脉节段运动伪影造成的图像质量的下降(图 3~8),互补的相位窗可以从 10%到 90%,且最佳相位窗的选择受心率影响(图 9~14)。

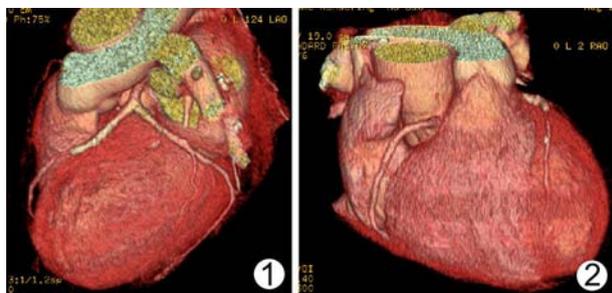


图 1、2 左前降支支架植入术后。心率 50 bpm,心脏 VR 成像,冠脉左主干及三大主支在 75%相位窗被很好显示,无伪影

表 3 90 例不同冠状动脉最佳相位窗

	30%	40%	50%	60%	70%	75%
LAD	0	6	6	1	2	75
LCx	1	7	5	3	1	73
RAD	0	14	5	3	2	66

表 4 90 例(270 支)两组不同心率冠状动脉支最佳相位窗分布

心率(次/分)	例数	30%	40%	50%	60%	70%	75%
≤65	52	0	7	2	1	2	144
>65	38	1	20	14	6	3	70

3 讨论

MSCT 结合回顾性心电门控技术显示冠状动脉管腔和评价其狭窄程度正在越来越多地应用于临床^[1-3]。早期研究(4 层螺旋 CT)发现,有限的时间分辨率不能完全消除冠状动脉运动伪影,成为冠状动脉不能评价的最主要因素,仅有 68%的冠状动脉可用于评价^[4]。即使心率在 60 bpm 以下的患者中,也仅有 80%的冠状动脉节段可用于评价^[1]。研究表明^[5-7],冠状动脉造影图像质量随心率增加而明显下降,为最大限度地抑制冠状动脉运动伪影,心率至少应控制在 65 或 70 bpm 以下,选择合适的重建相位窗有助于减少或消除冠状动脉运动伪影^[7,8]。目前冠状动脉运动伪影依然是影响冠状动脉造影图像质量的最主要因素。

本组心率 ≤ 65 bpm 组高质量图像(I 级)占 82.2%,心率 > 65 bpm 组仅占 47.4%,而不能评价的 III 级图像比率后组(22.4%)则显著高于前组(5.3%)。因此尽管 16 层 CT 利用最新的心脏图像重建算法,时间分辨率有所提高,将心率控制在 65 bpm 以下仍然是必要的,如若在 60 bpm 以下则更为理想。一些受检者在扫描前心率满足要求,但于扫描准备过程中由于注射造影剂、紧张或吸气屏气等原因心率明显加快,

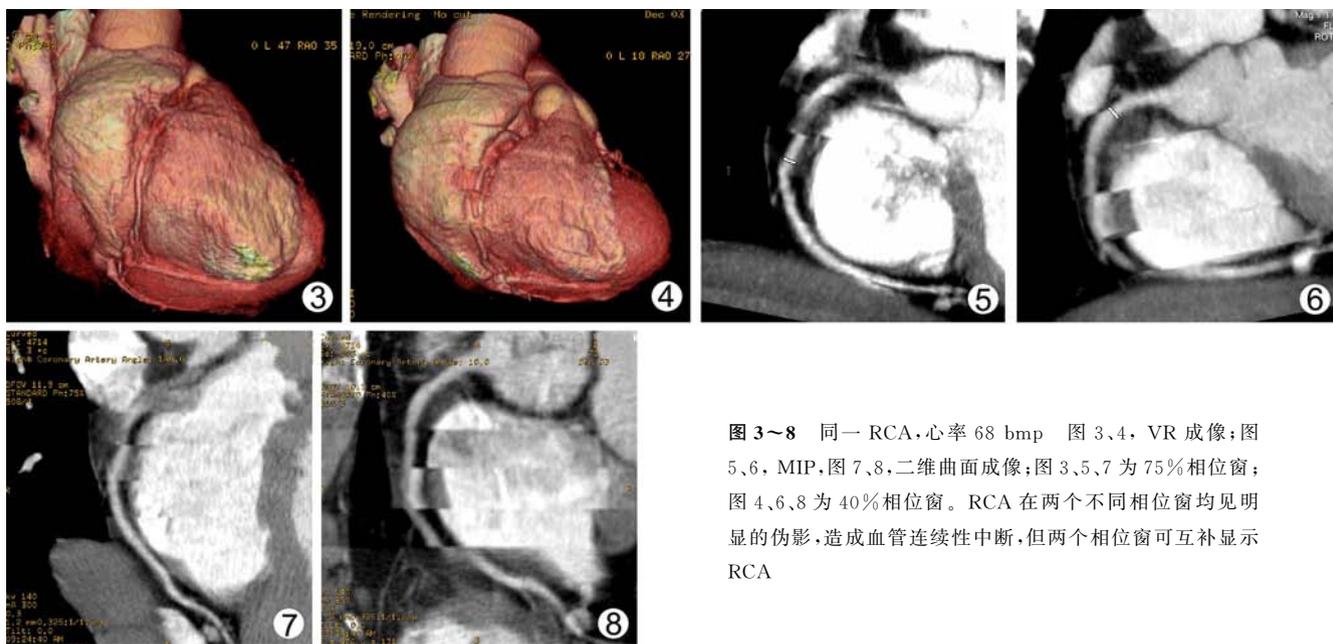


图 3~8 同一 RCA,心率 68 bpm 图 3、4, VR 成像;图 5、6, MIP,图 7、8,二维曲面成像;图 3、5、7 为 75%相位窗;图 4、6、8 为 40%相位窗。RCA 在两个不同相位窗均见明显的伪影,造成血管连续性中断,但两个相位窗可互补显示 RCA

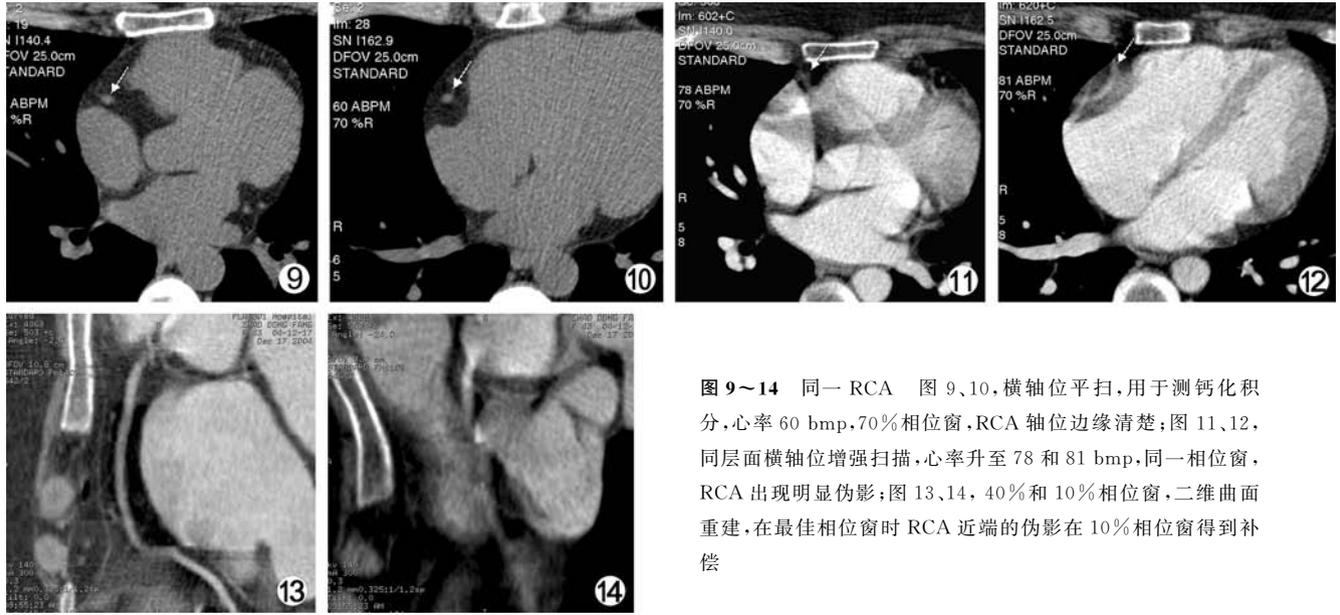


图 9~14 同一 RCA 图 9、10,横轴位平扫,用于测钙化积分,心率 60 bpm,70% 相位窗,RCA 轴位边缘清楚;图 11、12,同层面横轴位增强扫描,心率升至 78 和 81 bpm,同一相位窗,RCA 出现明显伪影;图 13、14,40% 和 10% 相位窗,二维曲面重建,在最佳相位窗时 RCA 近端的伪影在 10% 相位窗得到补偿

而吸气屏气后心率有所下降者亦不在少数。

选择合适的重建相位窗对保证图像质量也很重要。电子束 CT 和 MR 电影研究表明:冠状动脉 3 个主要分支在心动周期内有不同的运动模式^[9,10]。MSCT 研究结果显示:不同冠状动脉有不同的最佳相位窗,而且,不同作者之间得到各冠状动脉最佳相位窗亦不尽相同^[5-8,11,12],左冠状动脉主干和前降支最佳相位窗多在 50%~80%,左冠状动脉回旋支多为 50%~60%,右冠状动脉多在 40%~50%,也有作者认为是 50%~70%。本组结果显示重建图像质量最佳的心电相位窗主要集中在心脏运动较弱的舒张中后期 75% 相位窗,其次是 40%~50%。并且心率变化对最佳重建相位窗有显著的影响,心率 ≤ 65 bpm 组和 > 65 bpm 组三支冠脉血管在 75% 相位窗显示最佳者的比率分别为 92.30% 和 61.40%,后一组 40%~50% 为最佳相位窗者相对增加,其中 RCA 相对较多,与 Giesler^[5] 结果基本一致。不同作者之间最佳相位窗的差异可能原因为:①各组之间受检者心率的分布情况可能不同,而心率又明显影响最佳重建相位窗;②由于冠状动脉运动的个体差异较大,大组病例(受检者)可能更能说明问题;③不同的机型和扫描设置参数、重建技术对最佳相位窗可能也有一定影响。本组结果证实了程流泉等^[13] 用 MRI 电影对冠状动脉运动规律研究得出的部分结论,即 RCA 和 LCX 在 75% 和 40% 心动周期冠状动脉运动轨迹相对集中,累积的移动距离最小,而且舒张中期的最小运动速度期间随着心率的降低而有延长的趋势,当心率小于 60 bpm 时其运动轨

迹在舒张中期集中的趋势也更加明显,当心率小于 75 bpm 时,建议选择舒张中期(75% R-R 间期)进行冠状动脉断层的采样或重建。本组将 75% 相位窗作为常规重建的相位窗,对于心率 ≤ 65 bpm 者,84.6% 的患者(受检者)冠状动脉各支同时在此相位窗最佳显示。在最佳相位窗显示不满意的冠状动脉节段,可再找最佳显示该段的相位窗(互补相位窗),不必考虑已满意显示的节段,从而提高冠状动脉节段的显示率。

[参考文献]

- [1] Vogl TJ, Abolmaali ND, Diebold T, et al. Techniques for the detection of coronary atherosclerosis: multi-detector row CT coronary angiography. *Radiology*, 2002, 223(1):212-220.
- [2] Ropers D, Baum U, Pohle K, et al. Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation*, 2003, 107(5): 664-666.
- [3] Jin ZY, Zhang ZH, Lin SB, et al. Coronary angiography with sixteen-slice spiral CT: an initial study. *Natl Med J China (Chinese)*, 2003, 83(13):1150-1155.
- [4] Achenbach S, Giesler T, Ropers D, et al. Detection of coronary artery stenoses by contrast-enhanced, retrospectively electrocardiographically-gated, multislice spiral computed tomography. *Circulation*, 2001, 103(21):2535-2538.
- [5] 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. *Am J Roentgenol*, 2002, 179(4):911-916.
- [6] Mao DB, Hua YQ, Wang MP, et al. Multi-slice spiral CT

- coronary angiography: influence of heart rate and reconstruction window on image quality. *Chin J Radiol (Chinese)*, 2004, 38(5): 521-524.
- [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(3): 712-717.
- [8] Kopp AF, Schroeder S, Kuettner A, et al. Coronary arteries: retrospectively ECG-gated multi-detector row CT angiography with selective optimization of the image reconstruction window. *Radiology*, 2001, 221(3): 683-688.
- [9] Achenbach S, Ropers D, Holle J, et al. In-plane coronary arterial motion velocity: measurement with electron-beam CT. *Radiology*, 2000, 216(2): 457-463.
- [10] Wang Y, Vidan E, Bergman GW. Cardiac motion of coronary arteries: variability in the test period and implications for coronary MR angiography. *Radiology*, 1999, 213(3): 751-758.
- [11] Kuang PD, Zhang MM, Zhu JH, et al. Retrospectively electrocardiographically-gated reconstructed multi-slice spiral CT coronary angiography: optimal R-R phase and clinical application. *Chin J Radiol (Chinese)*, 2004, 38(2): 178-183.
- [12] Achenbach S, Ulzheimer S, Baum U, et al. Noninvasive coronary angiography by retrospectively ECG-gated multislice spiral CT. *Circulation*, 2000, 10(23): 2823-2828.
- [13] Cheng LQ, Gao YG, Sun W, et al. Movement patterns of coronary artery on cine MR imaging. *Chin J Med Imaging Technol (Chinese)*, 2004, 20(11): 1708-1710.