

# Impact of heart rate on image quality of 16-slice spiral CT coronary angiography and optimization of image reconstruction window

LI Pei-ling, XU Ke\*, LI Shu, WANG Qiang

(Department of Radiology, the First Clinical Hospital of China Medical University, Shenyang 110001, China)

**ABSTRACT Objective** To explore the impact of heart rate on the image quality of 16-slice spiral CT coronary angiography (MSCTCA) and optimization of image reconstruction window. **Methods** Sixty-nine cases who have accepted MSCTCA were divided into four groups by the heart rate, first group including 20 cases with heart rates less than 60 beats per minute (bpm), second group 15 cases with heart rates of 61 – 65 bpm, third group 18 cases with 66 – 70 bpm and fourth group with heart rate over 70 bpm. The image quality of MSCTCA was scored four grades from 0 to 3 by heart motion artifact and vessel continuity, and the impact of heart rate on the image quality of MSCTCA was assessed. The optimization of image reconstruction windows of different coronary segments were evaluated. **Results** From first to fourth group, the successful rate of examination of the left coronary artery and its main branches were 95%, 93.3%, 83.3% and 50%, respectively; and that of right coronary artery were 90%, 93.3%, 77.8% and 50%. Statistically significances exist between every coronary segments of third and fourth group ( $P < 0.05$ ). All coronary artery segments of first group were optimally visualized on the images reconstructed at 75% image reconstruction window of cardiac cycle; bilateral coronary artery of 80% cases (12/15) were best visualized at 75% image reconstruction window in second group; for third group, 72.2% of left coronary artery segments and 55.5% right coronary artery segments were best presented at 75% image reconstruction window, 33.3% of right coronary artery segments at 45% coronary artery segments; the optimal windows of image reconstruction of left and right coronary artery segments in fourth group were at 75% – 95% and 35% – 45%, respectively. **Conclusion** For 16-slice spiral CT, the higher successful rate of MSCTCA examination can be reached for cases with heart rate lower than 70 bpm. Bilateral coronary arteries usually were best shown at 75% image reconstruction window of cardiac cycle for cases with heart rate lower than 65 bpm. Both 35% – 45% and 75% – 95% image reconstruction should be performed when heart rate was over 65 bpm, espically over 70 bpm.

**KEY WORDS** Coronary angiography; Heart rate; Tomography, X-ray computed; Image quality; Reconstruction window

## 心率对 16 层螺旋 CT 冠状动脉造影图像质量的影响及其重建相位窗的优选

李佩玲, 徐克\*, 黎庶, 王强

(中国医科大学附属第一医院放射科, 沈阳 辽宁 110001)

**[摘要]** **目的** 探讨心率对 16 层螺旋 CT 冠状动脉造影图像质量的影响及其重建相位窗的优选。**方法** 本文收集接受 16 层螺旋 CT 冠状动脉造影 (MSCTCA) 检查者 69 例, 按心率分成小于 60 次/min、61 ~ 65 次/min、66 ~ 70 次/min 和大于 70 次/min 共四个组, 将冠状动脉图像质量根据冠状动脉伪影多少及血管连续性分为 0 ~ 3 分四个等级, 评价不同心率对重建图像质量的影响, 并分别优选出各组显示不同冠状动脉节段的最佳相位窗。**结果** 第 1 组至第 4 组左冠状动脉及其分支的检查成功率分别为 95%、93.3%、83.3% 和 50%, 右侧冠状动脉分别为 90%、93.3%、77.8% 和 50%。第 3 组和第 4 组间所有冠状动脉节段的成功率均有统计学差异 ( $P < 0.05$ )。第 1 组所有冠状动脉节段均以 75% 相位窗显示最佳; 第 2 组显示两侧冠状动脉以 75% 为最佳显示相位窗者均占 80% (12/15); 第 3 组中左、右冠状动脉以 75% 为最佳显示相位窗者分别占 72.2% 和 55.5%, 右侧冠状动脉以 45% 为最佳显示相位窗者占 33.3%; 第 4 组病例显示左侧、右侧冠状动脉的

[作者简介] 李佩玲 (1967 -), 女, 辽宁营口市人, 博士, 主治医师。研究方向: 胸部及心血管影像诊断。E-mail: lipeilingcmu@163.com

[通讯作者] 徐克, 沈阳市中国医科大学附属第一医院放射科, 110001。E-mail: xuke@cmuimaging.com

[收稿日期] 2005-08-28 [修回日期] 2005-10-03

最佳相位窗分布较分散,分别在 75%~95% 和 35%~45%。结论 对于 16 层螺旋 CT 来说,心率低于 70 次/min 时冠状动脉检查可获得较高的检查成功率。心率低于 65 次/min 时,两侧冠状动脉的最佳显示相位窗通常为 75%;心率超过 65 次/min,尤其超过 70 次/min 时,应选择 35%~45% 和 75%~95% 两个节段的多相位窗重建。

[关键词] 冠状动脉血管造影术; 心率; 体层摄影术, X 线计算机; 重建相位窗

[中图分类号] R814.42; R816.2 [文献标识码] A [文章编号] 1672-8475(2006)01-0018-05

## 0 引言

冠状动脉多层螺旋 CT 检查是近几年开展起来的检测冠状动脉病变的新技术。该项检查成功与否受到多种因素的影响<sup>[1,2]</sup>,且直接影响诊断的可信度。本文采用 16 层螺旋 CT 对 69 例疑诊冠心病患者进行了冠状动脉 CT 造影检查,通过对不同相位窗重建图像的比较和心率变化对图像质量影响的分析总结,以期大幅度地提高检查成功率和图像质量。

## 1 资料与方法

本文收集 2003 年 11 月-2004 年 5 月间于我院接受多层螺旋 CT 冠状动脉造影(multi-slice spiral CT coronary angiography, MSCTCA)检查的 69 例患者,其中男 48 例,女 21 例,年龄 26~78 岁,平均年龄 47 岁。按不同的心率分成小于 60 次/min、60~65 次/min、65~70 次/min 和大于 70 次/min 四组。其中临床确诊冠心病 28 例,另 41 例均有不同程度心绞痛或胸痛发作。20 例患者于 CT 检查前或后 1 周内接受了选择性冠状动脉造影检查。所有病例于 CT 检查前予以  $\beta$ -受体阻滞剂控制心率,常用药为心得安(10~30 mg)。

1.1 MSCT 冠状动脉成像方法及图像后处理 使用 GE LightSpeed Plus 16 层螺旋 CT 机及 AW 4.1 后处理工作站。具体扫描方法:首先获得胸部正侧位两个方向定位图像,选择主动脉根部层面进行同层连续动态扫描,共扫描 10 层,每层间隔时间 2 s,同时使用高压注射器,经肘静脉以 4.0 ml/s 注射速度注射造影剂 20 ml,注药后延迟 10 s 开始扫描,这样可获得造影剂通过主动脉根部的时间-密度曲线,根据该曲线计算出最佳延迟时间进行冠状动脉增强扫描。

冠状动脉造影 CT 检查的扫描范围从气管分叉下 1 cm 至心尖部,造影剂注射速度与小剂量试验流速一致,注射总量 95~100 ml。扫描参数:采用 Cardiac Segment 或 Plus 序列同时加用回顾性心电门控,准直器宽度 16 mm×1.25 mm,进床速度 6.5 mm/rot,螺距 0.375:1,重建层厚 1.25 mm,重建间隔 1.0 mm,120 kV,350~400 mA。扫描时嘱患者屏住呼吸,扫描时间在 15 s 以内。

将原始数据利用回顾性心电门控重建技术进行多相位后重建,获得从 5% 至 95%、间隔 5% 的 19 个不同

相位窗系列图像。然后使用 AW 4.1 三维工作站对所有图像进行后处理,后处理的方法包括容积成像(volume rendering, VR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)及 2D 曲面重建(2D curved reconstruction, CR)等。

1.2 显示冠状动脉的最佳相位窗的优选方法 利用 VR 及 MIP 等后处理技术对冠状动脉 MSCT 图像进行观察分析,评价不同相位窗重建图像显示冠状动脉的能力。将冠状动脉分为左冠状动脉主干、左前降支、左回旋支、右冠状动脉四个节段。通过对血管的轮廓、走行及其分支显示情况的比较观察,分别优选出不同心率情况下显示各冠状动脉节段的最佳相位窗。

1.3 后处理图像质量的评价 将冠状动脉的图像质量分为四个等级:图像清晰,冠状动脉显影连续,无梯状搏动伪影,评 3 分;图像清晰,冠状动脉显影连续性欠佳,可见少量梯状伪影,但不影响诊断,评 2 分;图像较清晰,可见多个梯状伪影,但不影响诊断,评 1 分;图像质量较差,伪影较多,血管轮廓不清晰,不能用于诊断,评 0 分。图像质量评分 2 分以上者为显示成功病例,评分为 0 分者属检查失败。通过分析各组图像质量的变化,探讨 MSCTCA 成功显示冠状动脉的最佳心率水平。

1.4 统计学处理采用  $\chi^2$  检验的确切概率法, $P < 0.05$  认为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 病例分组及图像质量评分结果 所有病例(69 例)按心率分组结果:第 1 组:低于 60 次/min 20 例,第 2 组:61~65 次/min 15 例,第 3 组:66~70 次/min 18 例,第 4 组:大于 70 次/min 16 例。每组病例的四个主要冠状动脉节段的图像质量评分结果见表 1。5 例重建图像不能用于诊断者图像质量评分均为 0 分。

从表 1 中可以看出,每个冠状动脉节段的显示成功率都随着心率的增加而评分逐渐降低。心率越低,图像质量好,评分越高,心率超过 70 次/min,两侧冠状动脉检查成功率明显降低,约 50%~62%,图像质量评分 1

表 1 按心率分组显示冠状动脉图像质量评分结果

心率组别	冠状动脉节段	图像质量评分(例数)				显示成功率(%)
		3分	2分	1分	0分	

第一组	左主干	17	2	1	0	95
	左前降支	17	2	1	0	95
	左回旋支	17	2	1	0	95
	右冠状动脉	16	2	2	0	90
第二组	左主干	12	2	1	0	93.3
	左前降支	12	2	0	1	93.3
	左回旋支	11	3	0	1	93.3
	右冠状动脉	11	3	0	1	93.3
第三组	左主干	14	2	2	0	88.9
	左前降支	14	1	3	0	83.3
	左回旋支	12	3	3	0	83.3
	右冠状动脉	12	2	4	0	77.8
第四组	左主干	6	4	2	4	62.5
	左前降支	6	4	2	4	62.5
	左回旋支	3	5	4	4	50
	右冠状动脉	3	5	4	4	50

2.2 不同心率情况下显示冠状动脉的最佳重建相位窗  
 对于所有病例的四个主要冠状动脉节段分别在不同心电图相位窗重建图像上进行比较观察,第 1 组所有病例显示两侧冠状动脉的最佳相位窗均为 75% (图 1~6)。第 2 组与第 3 组病例显示冠状动脉的最佳相位窗结果见表 2。

表 2 第 2 组与第 3 组各冠状动脉节段的最佳显示相位窗

冠状动脉节段	最佳显示相位窗							
	第 2 组(15 例)				第 3 组(18 例)			
	40%	45%	75%	80%	40%	45%	75%	80%
左冠状动脉主干	0	1	13	1	1	3	14	0
左前降支	0	2	12	1	1	3	13	1
左回旋支	0	2	12	1	1	3	13	1
右冠状动脉	0	3	12	0	2	6	10	0

分或 2 分的病例数明显增多。对于每个冠状动脉节段的显示成功率分别与相邻组间采用  $\chi^2$  检验的确切概率法进行比较,结果表明第 3 组与第 4 组间所有冠状动脉节段显示成功率均存在统计学差异 ( $P < 0.05$ )。

表 2 可以看出第 2 组中两侧冠状动脉以 75% 为最佳相位窗者占 80% 以上;第 3 组中左、右冠状动脉以 75% 为最佳显示相位窗者分别占 72.2% 以上和

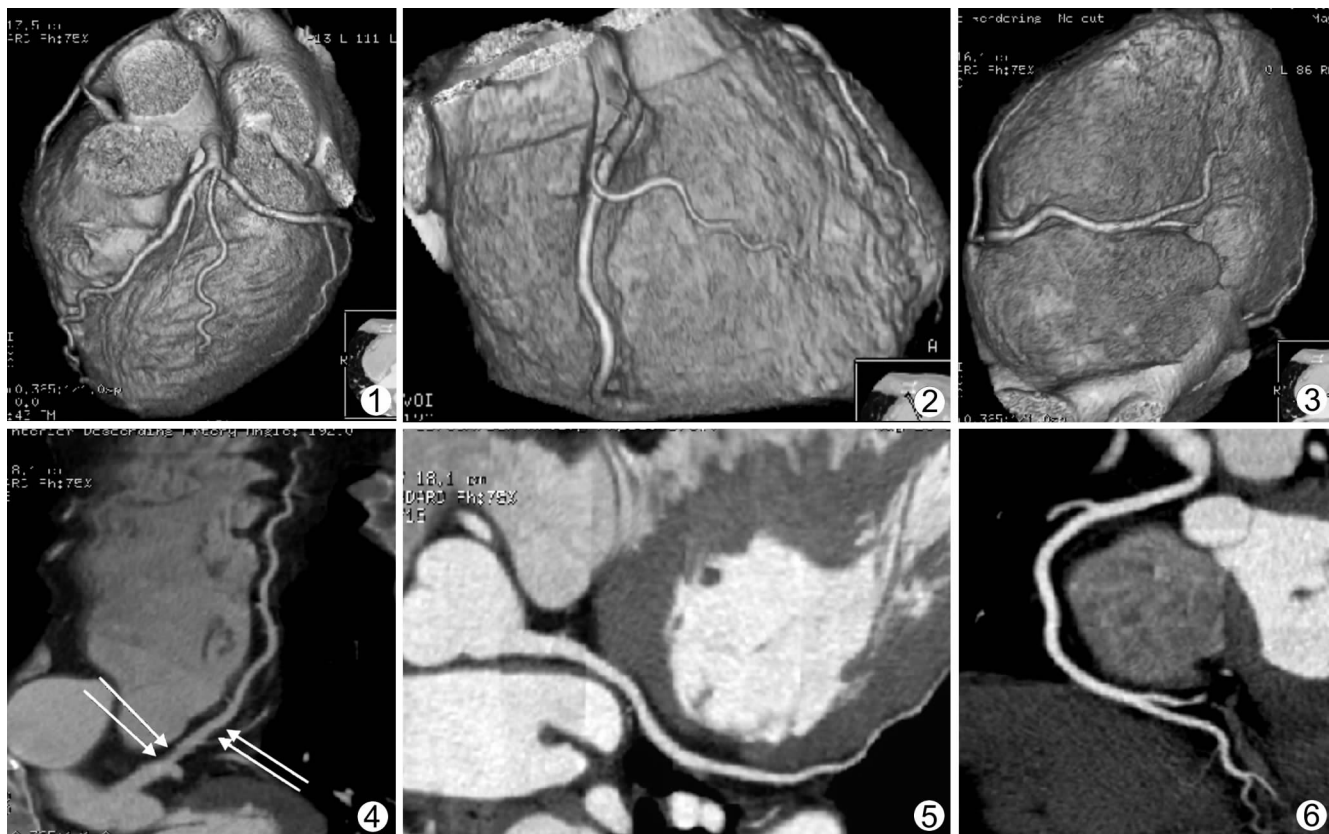


图 1~6 心率 57 次/min,两侧冠状动脉最佳相位窗均为 75%,评分 3 分。图 1 VR 图像清晰显示左冠状动脉主干、左前降支及左回旋支  
 图 2、3 VR 图像清晰显示右侧冠状动脉的近段和远段 图 4~6 2D 曲面重建图像显示左前降支(图 4)、左回旋支(图 5)和右冠状动脉(图 6),左前降支近段可见轻度管腔狭窄(箭头)

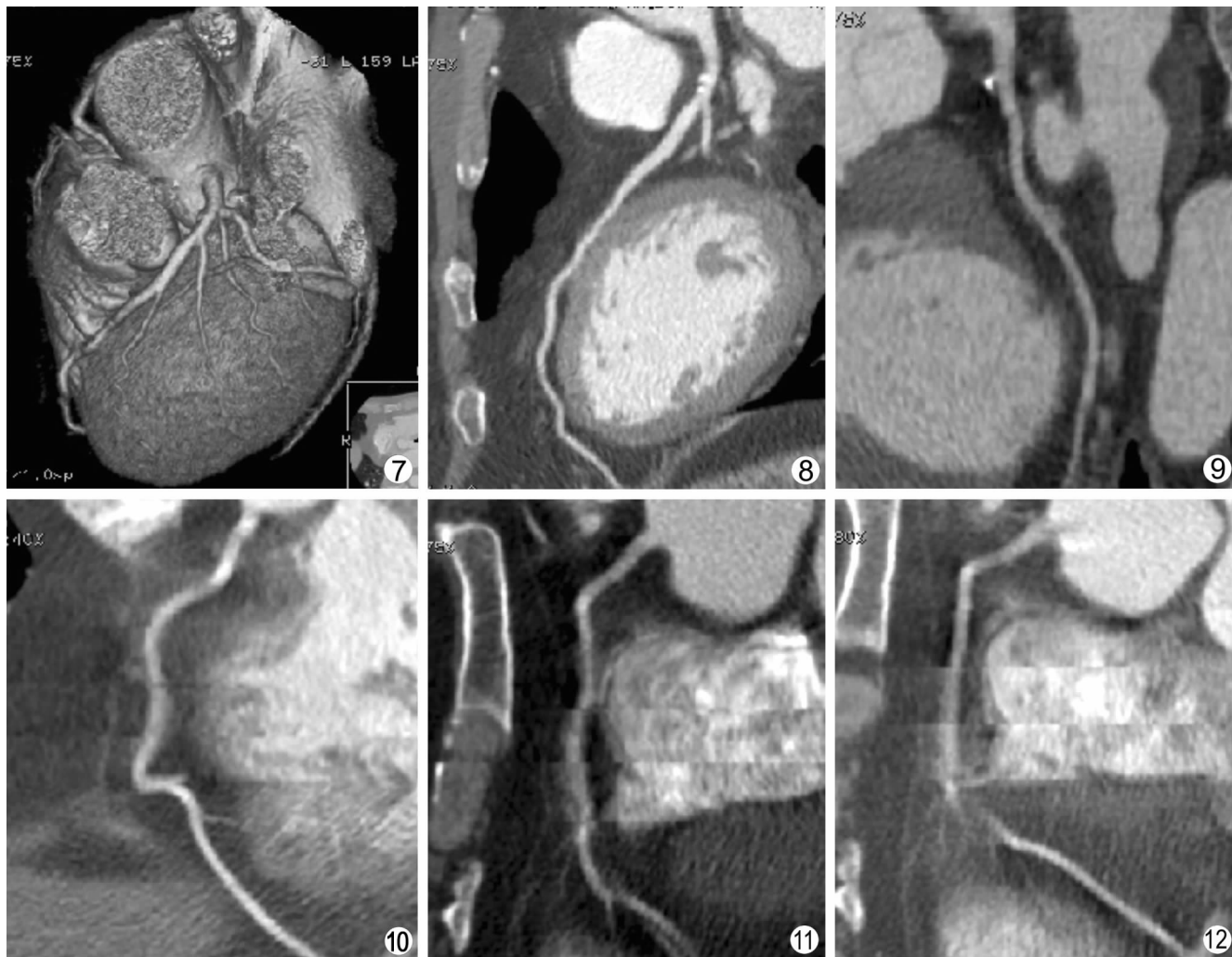


图 7~12 心率 68 次/min,左冠状动脉及其分支最佳相位窗 75%,图像质量评分 3 分;右冠状动脉最佳相位窗 40%,评分 2 分。图 7 VR 图像清晰显示左冠状动脉主干、左前降支及左回旋支,右冠状动脉仅显示近段 图 8 2D 曲面重建图像清晰显示左冠状动脉主干及左前降支,左冠状动脉主干可见斑点状钙化 图 9 2D 曲面重建图像清晰显示左回旋支 图 10~12 分别为 40%、75% 和 80% 不同相位窗 2D 曲面重建图像显示右冠状动脉,图像有少量齿状伪影,比较可以看出最佳显示相位窗为 40%

55.5% (图 7~9),右侧冠状动脉以 45% 为最佳显示相位窗者占 33.3% (图 10~12)。第 4 组中 10 例左冠状动脉主干及其主要分支的最佳相位窗在 75%~95% 之间,右冠状动脉的最佳相位窗在 35%~45%;另 6 例显示两侧冠状动脉的最佳相位窗均为 75%。

### 3 讨论

MSCT 的扫描速度较 SCT 提高了数倍,图像的 Z 轴分辨率显著提高,基本消除了部分容积效应伪影和心脏搏动产生的阶梯状伪影,对于运动器官尤其是冠状动脉的 CT 成像具有重要意义。虽然本研究的结果是从 16 层螺旋 CT 的临床应用中获得的,但对于 40 层乃至 64 层螺旋 CT 冠状动脉检查具有很强的指导价值,并且随着 64 层螺旋 CT 的广泛应用,冠状动脉 CT 造影的检查成功率一定会有明显的提高,临床应用也

会越来越多。

3.1 关于心率对图像质量的影响 心脏搏动对图像质量的影响一直是冠状动脉 CT 成像以及冠状动脉病变诊断的障碍,虽然 16 层螺旋 CT 冠状动脉显示能够满足临床诊断的需要<sup>[3]</sup>,但检查前控制心率十分必要。Nieman 等<sup>[4]</sup>对 78 例患者按心率分组进行比较,结果认为心率低于 62 次/min 具有较高的检测冠状动脉病变的敏感度和特异度。我们对 69 例冠状动脉 CT 成像的图像质量进行分析,也发现当心率低于 60 次/min 时,左侧冠状动脉及其主要分支显示效果最佳,所有病例均获得满意图像;右侧冠状动脉 90% 能够成功显示,无伪影或伪影较少。当心率在 60~65 次/min 时,约 93.3% 的病例成功显示了左侧冠状动脉主干、前降支、左回旋支右冠状动脉。心率超过 65 次/min

时,图像质量出现明显下降的趋势,第三组病例左侧冠状动脉及其分支显示成功率为 83.3%,右侧冠状动脉的显示成功率下降为 77.8%。当心率超过 70 次/min 时,两侧冠状动脉的四个主要节段的图像质量明显下降,左回旋支和右侧冠状动脉下降尤为明显,检查成功率也仅为 50%~62%,第三组与第四组间各冠状动脉节段的显示成功率经统计学处理均存在差异( $P < 0.05$ )。因此,作者认为冠状动脉检查前心率调整并不必要低于 60 次/min,低于 65 次/min 即可获得较高的检查成功率。

心率对图像质量的影响是多方面的,通常考虑心率平均水平,但在扫描过程中难免有波动,我们认为心率波动对图像质量的影响不容忽视,关于这一点目前还未见报道。我们通过对 69 例受检者心率变化幅度进行分析,发现当检查过程中心率变化在 2 次以内时,两侧冠状动脉显示成功率均为 100%,图像质量评分为所有病例均为 3 分;心率变化幅度为 3 次时,两侧冠状动脉显示成功率均下降到 80% 左右;当心率变化超过 4 次/min 时,检查成功率明显降低或虽检查成功率下降不明显但图像质量评分以 2 分占的比重为多。对于心率超过 70 次/min 的患者更应注意保持心率的平稳,本组中 2 例心率超过 85 次/min,但在扫描中心率保持很平稳,仍然可以获得很满意的图像。我们认为应尽可能使心率变化在 3 次以内,这样才能很好地保证检查成功率,同时不会有图像质量的明显下降。

3.2 关于最佳重建相位窗的优化 本研究中 20 例心率低于 60 次/min 者,经多相位窗重建图像的对比观察,所有冠状动脉节段均以 75% 相位窗显示最佳。心率在 61~65 次/min 之间者两侧冠状动脉均以 75% 为最佳显示相位窗病例数占 80%,右侧冠状动脉以 45% 为最佳显示相位窗者约占 20%。心率在 66~70 次/min 之间者,左侧冠状动脉以 75% 为最佳显示相位窗占 72.2%;右侧冠状动脉以 75% 为最佳显示相位窗占 55.5%,以 45% 为最佳显示相位窗者占 33.3%。心率大于 70 次/min 时,两侧冠状动脉的最佳显示窗变化范围较大,两侧冠状动脉最佳显示相位窗集中在 35%~45% 和 75%~95% 两个相位区间;以 75% 为显示最佳相位窗约占 37.5%。Hong 等<sup>[5]</sup>认为左冠状动脉前降支重建图像质量最佳的心电相位窗为 50% 和 60%,左冠状动脉回旋支为 60%,右冠状动脉为 50%。Kopp 等<sup>[6]</sup>认为左冠状动脉前降支重建图像质量最佳的心电相位窗为 60%~70%,左冠状动脉回旋支为 50%,右冠状动脉为 40%。Achenbach 等<sup>[7]</sup>的研究结果认为显示左冠状动脉主干及左前降支最佳的心电相

位窗为 70%~80%,左冠状动脉回旋支及右冠状动脉为 50%。本研究结果与之相似,但通过分组观察发现 Achenbach 等所得出的结果只适合于大多数心率大于 70 次/min 的患者。关于最佳重建相位窗文献报道结果差别如此之大,主要由于多相位重建相位窗的选择不同,而且多数学者没有注意到心率对显示冠状动脉的最佳相位窗的选择也有很大影响。心率低于 60 次/min 时,无论左侧还是右侧冠状动脉,其最佳图像质量的重建相位窗都是 75%;而随着心率的加快,最佳重建相位窗差别越大。原因在于当心率低于 60 次/min 时,75% 重建相位窗恰好心脏处在舒张期的状态且处于舒张期的时间相对较长,因此,此时相两侧冠状动脉均显示最佳;而当心率加快时,扫描全部心脏要包括多个心动周期,而两侧心室搏动时相有明显差别,并且两心率越快差别越明显。因此,心率大于 70 次/min 时,两侧冠状动脉最佳显示相位窗也明显不同。

总之,冠状动脉 MSCT 图像质量对诊断具有很大影响,为保证检查成功检查前要常规的控制心率,尽可能的使心率控制在 70 次/min 以下并保持平稳,图像后处理时要利用多相位窗互补观察血管走行及其形态,以尽可能地提高图像质量和诊断准确性。

### [参考文献]

- [1] Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ, et al. Coronary angiography with multi-slice computed tomography. *Lancet*, 2001, 357 (9256): 599-603.
- [2] 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.
- [3] Hamoir XL, Flohr T, Hamoir V, et al. Coronary arteries: assessment of image quality and optimal reconstruction window in retrospective ECG-gated multislice CT at 375-ms gantry rotation time. *Eur Radiol*, 2005, 15(2): 296-304.
- [4] 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(5): 470-474.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Achenbach S, Ulzheimer S, Baum U, et al. Noninvasive coronary angiography by retrospectively ECG-gated multislice spiral CT. *Circulation*, 2000, 102(23): 2823-2828.