

320 层 DVCT 扇区重建技术对心率波动患者冠脉图像质量的影响

徐向东, 郑力强, 蒋超, 徐洪刚, 陈阿梅

【摘要】 目的:探讨扇区重建技术对心率波动患者冠脉图像质量的影响,寻找合适的重建方法以提高心率波动患者的冠脉图像质量。**方法:**39 例心率波动患者行 320 层动态容积 CT 冠状动脉成像,分别采用半重建法(half)和多扇区重建法选择最佳时相对冠脉图像进行重建,分析两种重建方法下图像质量与扫描时的最低心率以及心率波动范围之间的相关性。**结果:**采用 half 重建法,有 94.87% 的图像可满足诊断,采用多扇区重建法,有 87.18% 的图像可满足诊断。两种重建方法下图像质量与心率波动范围之间均无相关性;采用 half 重建时,图像质量与描时的最低心率呈负相关($r = -0.351$, $P = 0.028$)。**结论:**运用 320 层容积 CT 进行冠状动脉成像,选择最低心率所对应的单一心动周期进行 half 重建,可明显提高心率波动患者的冠脉图像质量。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 放射摄影术; 图像处理, 计算机辅助; 冠脉成像

【中图分类号】 R814.3; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2011)04-0449-04

Influence of segment reconstruction technique on the image quality of coronary artery with 320-slice dynamic volume CT in patients with heart rate fluctuation XU Xiang-dong, ZHENG Li-qiang, JIANG Chao, et al. Department of Radiology, Guangdong Provincial Guangzhou Municipal First People Hospital, Guangzhou 510180, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the effect of segment reconstruction technique on the image quality of coronary artery in patients with heart rate fluctuation, and to seek the appropriate reconstruction technique, in order to improve the image quality. **Methods:** Thirty-nine patients with heart rate fluctuation were studied with 320-slice dynamic volume CT (DVCT), half as well as segment reconstruction technique were used to recombine coronary images on optimal reconstruction phase. Pearson correlation was used to analyze the relationship between image quality and the minimal heart rate as well as heart rate fluctuation during CT scanning with the two reconstruction techniques. **Results:** Using half reconstruction technique, 94.87% of the images fulfilled the quality requirement of diagnosis and 87.18% of images fulfilled the requirement as segment reconstruction was adopted. No correlation between image quality and heart rate fluctuation was showed with these two reconstruction techniques. The minimal heart rate had negative correlation with image quality when using half reconstruction technique ($r = -0.351$, $P = 0.028$). **Conclusion:** To perform CT-CAA with 320-slice DVCT, half reconstruction technique corresponded with the minimal heart rate in a single cardiac cycle can obviously improve the image quality of coronary artery in patients with heart rate fluctuation.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Radiography; Image processing, computer-assisted; Coronary image

长期以来,采用多层螺旋 CT 进行冠状动脉成像一直受探测器宽度以及机架旋转速度的限制,扫描时间长,患者屏气时间长,对比剂用量和辐射剂量大,特别是对于心率波动范围大的患者,无法避免冠状动脉在 CT 数据采集过程中时相不一致所致的阶梯状伪影,检查成功率低。而提高成功率的唯一办法就是不断提高 X-Y、Z 轴上的时间分辨力。近年来推出的东芝 320 层动态容积 CT(DVCT)的探测器宽度为 $320 \times 0.5 \text{ mm} = 160 \text{ mm}$,一个心动周期可以覆盖整个心脏,其 Z 轴的时间分辨力达到 1beat;机架旋转一周的时间最快为 0.35 s, X-Y 轴的有效时间分辨力为 175 ms。本文旨在从临床使用以及扇区重建方法方面来阐述

320 层 DVCT 冠脉成像在心率波动患者中的应用情况。

材料与方法

1. 病例资料与分组

选取本院 2010 年 3 月~6 月行 320 层容积 CT 冠脉成像时发生心率波动的 39 例患者,其中男 25 例,女 14 例,年龄 35~81 岁,平均 65.9 岁。体重指数 BMI 为 19~30,平均为 23.4。依照重建方法将所有患者分成两组,比较不同重建方法图像质量与心率波动范围以及最低心率之间的关系。

2. 检查方法

采用东芝 320 层动态容积 CT 在非螺旋模式下进行心脏扫描。检查前对患者进行屏气训练,患者取仰卧位,在胸部指定位置粘贴电极,连接心电监护监测心

率。获取自胸廓入口至心脏膈面的胸部正侧位定位图,首先进行冠脉钙化积分扫描,采用 Volume 扫描模式,扫描开始位置在气管分叉下 1 cm 的范围,结束位置应在心尖消失平面下 1 cm 的范围,以防患者吸气的幅度不一致。扫描参数:管电压 120 kV,管电流 300~450 mA,扫描野选择 M-FOV,转速 0.35 s。在肘静脉埋置 18G 静脉留置针,采用双筒高压注射器(Ulrich)以 5.2 ml/s 的流率进行盐水对比剂双相注射,对比剂用量 60~75 ml。增强扫描模式范围同钙化积分扫描,应用 SureStar 对比剂追踪技术,将 ROI 置于降主动脉之上,自动触发,触发阈值为 300 HU。

3. 重建方法

检查结束后,选择合适的扇区对采集的数据进行重建。通常情况下,CT 机会根据 SureCardio 所监测的心率范围来决定采集的心动周期数,一般重建所需扇区数与采集的心动周期数相对应,当数据采集过程中心脏发生期前收缩,机器会根据(real time beat control, RBC)技术跳转到下一个正常心动周期继续采集,此时,心动周期数大于扇区数。本研究所收集的病例均为二扇区或三扇区重建;另对每 1 例心率波动患者,均利用心电编辑功能,挑选 R-R 间期最长的一个心动周期(最低心率所对应的单一 R-R 间期)进行 half 重建,层厚 0.5 mm,层间隔 0.25 mm(图 1、2)。最后,把两种重建方法所得的容积数据传到 VitreaFx 工作站,行容积再现(VR)、最大密度投影(MIP)、多平面重组(MPR)以及曲面重组(CPR)。

4. 图像评价方法

根据美国心脏协会(American Heart Association, AHA)的分类指南^[1],评价所有直径 ≥ 1.5 mm 的 15 段冠状动脉节段。根据三维 VR 像对冠状动脉图像质量进行评价:①5 分,冠状动脉支主支及二级分支充盈良好,血管显示清晰,无血管中断或双血管伪影;②4 分,冠状动脉 3 支主支充盈良好,血管显示清晰,二级分支出现小段血管截断或出现双血管伪影;③3 分,冠状动脉 3 支主支显示尚可,二级分支多数显示不清,或者 1 支冠脉主支出现小段血管截断或出现双血管伪影,其余血管均可清晰显示;④2 分,1 支冠脉主支出现两段以上血管截断或出现双血管伪影,或者所有血管均可显示,但超半数的血管充盈不好,边界毛糙;⑤1 分,2 支以上的冠状动脉主支出现血管截断或双血管伪影。所有患者的冠状动脉影像评价由 2 位有 3 年以上心脏影像诊断经验的放射科医师完成,图像质量为 3 分、4 分、5 分者可满足诊断。

5. 统计学方法

统计软件为 SPSS 13.0,采用 Kappa 检验对不同观察者间评价结果一致性进行检验, $Kappa \geq 0.75$ 表

明一致性满意。以每一病例的心率波动范围和最低心率以及图像质量为变量,采用 Pearson 相关分析来评价图像质量与最低心率和心率波动之间的相关性, $P < 0.05$, 差异有统计学意义。

结 果

不同观察者间一致性检验结果为 Kappa 值 = 0.872,认为评价结果具有良好的一致性。两种重建方法下图像质量分值及例数见表 1,由表 1、表 2 可知,采用 half 重建时有 94.87%(37/39)的图像可满足诊断,图像平均分值为 4.26,多扇区重建时有 87.18%(34/39)的图像可满足诊断,图像平均分值为 3.74,因而从本采样数可看出 half 重建优于多扇区重建(图 1、2)。

表 1 两种重建方法下图像质量评分情况 (例)

重建方法	图像质量评分				
	5 分	4 分	3 分	2 分	1 分
Half	22	7	8	2	0
多扇区	13	9	12	4	1

表 2 图像质量分值与最低心率以及心率波动范围之间的相关性

重建方法	平均分值	心率波动范围		最低心率	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Half	4.26	0.284	0.080	-0.351	0.028
多扇区	3.74	-0.242	0.137	0.007	0.966

为了进一步分析两种重建方法下图像质量与最低心率以及心率波动范围之间的关系,我们把每一病例的最低心率、心率波动大小以及图像质量分值代入 Spss13.0 软件进行 Pearson 相关分析,分析结果见表 2。由表 2 可知,采用 half 重建时,图像质量与心率波动范围的大小无相关性,但是与最低心率的大小呈负相关($r = -0.351, P = 0.028$);采用多扇区重建时,图像质量与心率波动范围以及最低心率均无相关性。另外,两种重建方法所得图像评分结果之间呈中度正相关($r = 0.515, P = 0.001$)。以上分析结果表明:①当采用单一心动周期的 half 重建法时,最低心率越慢,心率波动患者的冠脉图像质量越好;②心率波动对图像质量有影响,但是心率波动范围的大小与图像质量之间无相关性;③两种重建方法所得图像质量在一定程度上具有一致性。

讨 论

扫描过程中心率变化剧烈,心律不齐一直是多层螺旋 CT 冠状动脉成像的棘手问题,也是影响心脏成像成功率的一大因素。如何解决这些问题,扩大冠脉成像的适应证范围是目前需要面对的问题。近年来推出的 320 层容积 CT,宣称一个心动周期可以覆盖整个心脏,在对心率波动患者冠脉成像的应用如何,是大

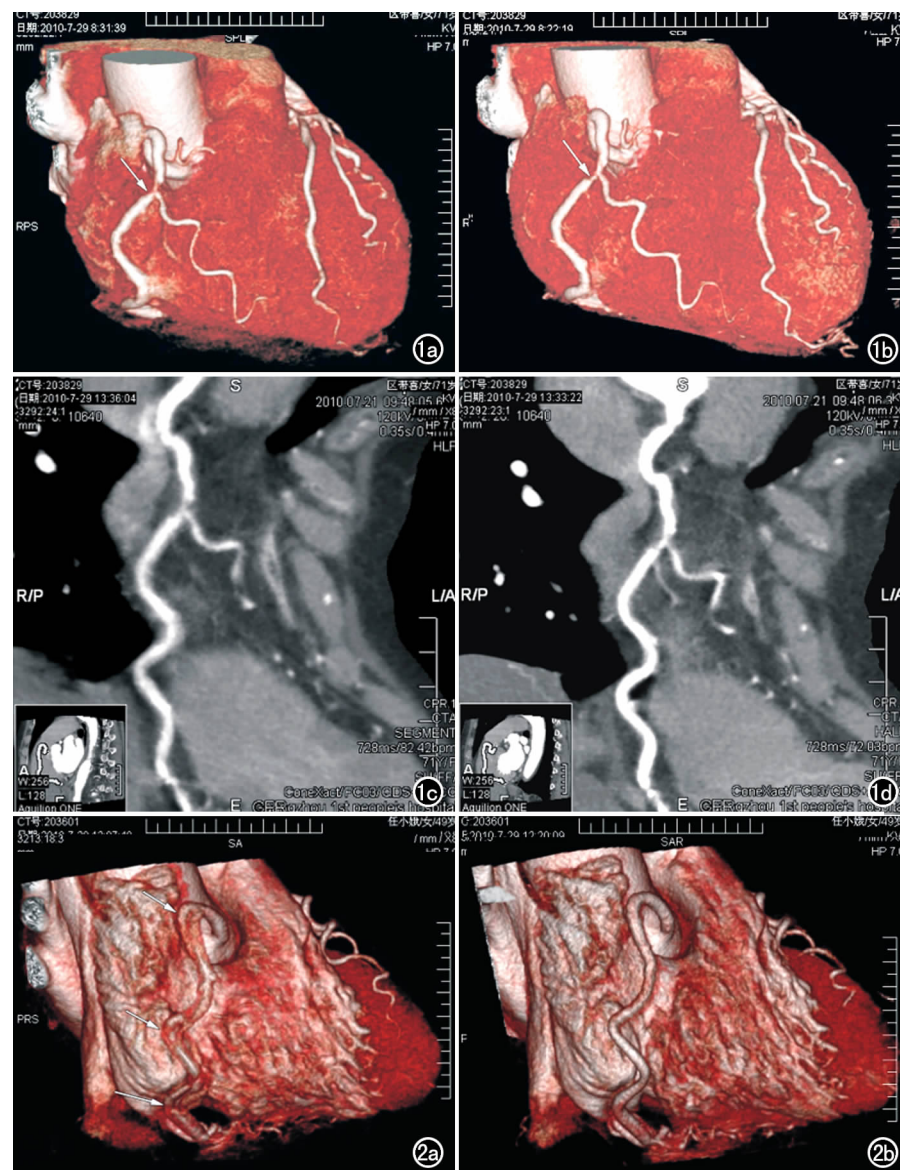


图 1 a) 采用多扇区重建法所得的 VR 图像; b) 采用 half 重建所得的 VR 图像; 两种重建方法对比, VR 图像整体相差明显,但箭所示血管图像前者比后者宽,有失真; c) 采用多扇区重建法所得的 CPR 图像; d) 采用 half 重建所得的 CPR 图像,两种重建方法对比,后者更清晰。图 2 a) 采用多扇区重建所得图像,明显可见右冠状动脉有三处双血管伪影(箭); b) 采用 half 重建所得,右冠状动脉无伪影。

家翘首以待的问题。

影响心脏图像质量的因素主要是时间分辨率,其中机架速度,扇区重建决定了 X-Y 轴的时间分辨率,而探测器宽度直接影响了 Z 轴时间分辨率。X-Y 轴时间分辨率又称图像时间分辨率,可直接影响横断面图像的清晰度;Z 轴时间分辨率又称扫描时间分辨率,可以定义为完成整个心脏需要几个心动周期,可直接减少扫描中心率波动对心脏成像质量的影响。

以往多层螺旋 CT 在 Z 轴上的分辨力低,需要采集数个心动周期,螺旋扫描多个层面才能覆盖整个心脏,然后将多层面的数据进行拼接融合得到心脏的三维 VR 像。当心率波动显著时,心脏在各个心动周期中的运动状态不一致,导致同一相位所收集的原始数据不一致,不同层面之间的数据不能完全相互拼接融合,此时所得的三维 VR 像就会出现错层或阶梯状伪影。当然采用心电编辑可以删除或忽略异常心动周期,使阶梯伪影出现的几率有所下降^[2]。但扫描床是

持续移动的,忽略的异常心动周期所对应的 Z 轴数据也丢失了,虽然小的间隙可以通过图像空间插值或时间窗的外延(间隙处的图像用稍微不同的期相数据重建)来补偿,但是较大的间隙将导致三维(VR)图像中的断续和伪影。为了确保完整的容积覆盖,MSCT 必须采用非常小的螺距进行连续扫描,但这会大大增加患者所遭受的辐射量。

东芝 320 层动态容积 CT 探测器宽度为 $320 \times 0.5 \text{ mm} = 160 \text{ mm}$,一个心动周期(beat)可以覆盖整个心脏,其 Z 轴的时间分辨率达到 1 beat。相较于以往的多层螺旋 CT,其优势主要表现为以下 3 点:①扫描时间缩短,屏气不能持久者甚至不能屏气者也可获得满意的检查;②采集的心动周期数目减少,可减少心率不稳心动周期的采集,甚至能够避开心率不稳的心动周期;③可以选择单一的心动周期进行图像重建,依据心电编辑,在所采集的几个心动周期中,只需选择一个较长的 R-R 间期(最低心率所对应的 R-R 间期)就可

重建出整个心脏的三维 VR 像,因而心率波动范围的大小不会对其造成任何影响,只与最低心率的大小有关。

另外,由于探测器可以覆盖整个心脏,所重建的 VR 像不会出现错层或阶梯伪影,但是在多扇区重建时会出现双血管伪影。这是因为东芝 320 排动态容积 CT 的机架旋转一周的时间最快为 0.35 s,与同品牌 64 层 VCT 相比,X-Y 轴的有效时间分辨力仍为 175 ms。因而对于高心率的患者,仍须采集 2~5 个心动周期进行多扇区重建法来提高 X-Y 轴时间分辨力。心脏多扇区重建技术是利用同步 ECG 信号,从不同的心动周期和不同排列的探测器,收集同一相位但不同角度的原始数据,组成完成心脏图像重建所必须的 240 度数据。当不同的心动周期中处于同相位同层面的血管不在同一位置时,由不同的心动周期融合数据所重建出的血管就会失真:当血管移动幅度较小时,重建出的 VR 血管比实际情况宽,CPR 则表现为血管边缘模糊(图 1);当血管移动幅度较大时,所重建出的三维 VR 像就会出现双血管伪影(图 2)。因而,相对于以往的图像质量评价标准^[3],本研究的评价标准中删掉了阶梯伪影,增加了双血管伪影。毫无疑问,选择多扇区重建,有可能引起误诊,选择单一心动周期行 half 重建时,可避免误诊及双血管伪影。

对于以往的多层螺旋 CT,有研究^[4]认为采用 8 层螺旋 CT 行冠状动脉成像时,心率变化 >10 次/分,会对 MSCTCA 图像质量有明显影响,而使用 64 层螺旋 CT 行 MSCTCA 时,心率变化 >20 次/分,图像质量才会明显下降^[5]。不过也有作者认为如出现心律不齐或心率波动较大,即使是慢心率扫描,也不可避免阶梯伪影的出现。本研究认为,采用 320 层 DVCT 进行冠脉成像,心率波动患者的冠脉图像质量与心率波动范围的大小之间无相关性,采用 half 重建时与扫描时的最低心率呈负相关,这与理论分析相一致。从重建过程来讲,利用单一心动周期重建图像,心率不稳定的患者已经与稳定心率的患者无异。在实际工作中,单一心动周期一般首选 R-R 间期最长者,若图像质量不满意再选择其它单一的心动周期进行重建。有时冠脉内造影剂充盈不好或摄影技术条件过低造成图像噪声增大,可以选择 2 个或 3 个心率一致的心动周期进行多扇区重建。

Matt 等^[6]发现心率在既快又变异的情况下会降

低图像质量,这同样适用于 320 层 DVCT。当心率较快时,采用 half 重建图像质量出现下降,这时须配合使用多扇区重建。从理论上讲,心率波动范围越大,心脏运动状态变化越大,利用多个心动周期进行多扇区重建所得图像质量就越差。Leschka 等^[7]对心率大于 65 次/分的患者采用双扇区重建算法发现在冠状动脉整体和每一支冠状动脉中心率变异性和图像质量之间呈明显的负相关。但本研究结果显示总体图像质量与心率波动范围之间无相关性,有的患者心率非常稳定,但是利用多个心动周期重建出来的图像伪影很大,相反,心率变异较大的患者,重建出的图像反而较好。其主要原因可能是冠脉血管位置的变化与心率的变化性并无明显的相关性,冠脉血管的位移是否与心率的变化有某种比例关系,还有待于进一步的研究。

运用东芝 320 层 DVCT 行冠状动脉成像,选择最低心率所对应的单一心动周期进行 half 重建,可以避免心率波动的影响,且可明显提高心率波动患者的冠脉图像质量。多扇区重建与 half 重建所得图像质量在一定程度上具有一致性,但是采用多扇区重建出的血管可能比实际情况宽,有可能引起误诊,因此实际工作过程中要尽量避免使用多扇区重建。

参考文献:

- [1] Austen WG, Edwards JE, Frye RL, et al. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease[J]. Circulation, 1975, 51(4 Suppl):5-40.
- [2] 王继琛,邱建星,王鹤,等. 心电图编辑软件在 CT 冠状动脉成像中的应用价值[J]. 中国医学影像技术, 2006, 22(10):1485-1487.
- [3] 王怡宁,金征宇,孔令燕,等. 64 层螺旋 CT 冠状动脉成像初步研究[J]. 中华放射学杂志, 2006, 40(8):797-801.
- [4] 姜荣,吴晓华,贺文. 心率波动对多层螺旋 CT 冠脉造影图像质量的影响[J]. 中国医学影像技术, 2004, 20(10):1574-1576.
- [5] 赵红,刘斌,吴兴旺,等. 64 层螺旋 CT 冠状动脉成像的心率变化及其对图像质量的影响[J]. 实用放射学杂志, 2007, 239(2):145-149.
- [6] Matt D, Schefel H, Leschka S, et al. Dual-source CT coronary angiography: image quality, mean heart rate, and heart rate variability[J]. AJR, 2007, 189(3):567-573.
- [7] Leschka S, Wildermuth S, Boehm T, et al. Noninvasive coronary angiography with 64-section CT: effect of average heart rate and heart rate variability on image quality[J]. Radiology, 2006, 241(2):378-385.

(收稿日期:2010-09-20 修回日期:2010-11-22)