

· 影像技术学 ·

320 排 CT 冠状动脉成像平均心率对图像质量和辐射剂量的影响

徐健, 狄幸波, 毛德旺, 陈军法, 钟建国, 曾云建, 张玉江

【摘要】 目的:探讨不同心率条件下 320 排容积 CT 冠状动脉血管成像的图像质量和辐射剂量。**方法:**将 259 例临床怀疑或确诊的冠状动脉疾病的患者(含 35 例心律失常患者)分为 3 组:A 组 79 例, 心率 ≤ 65 次/分;B 组 120 例, $65 < \text{心率} < 80$ 次/分;C 组 60 例, 心率 ≥ 80 次/分。扫描完成后选用最佳的重建时相,对冠状动脉进行容积再现(VR)、最大密度投影(MIP)、多平面重组(MPR)和曲面重组(CPR)等图像处理。按照 4 分法对图像质量进行评级并进行统计分析,比较各组冠状动脉血管段显示的优良率和可评价性;记录各组的放射剂量,分析心率与放射剂量的关系。**结果:**各组之间冠脉节段显示的优良率的差异无统计学意义($\chi^2=4.216, P=0.121$),35 例心律失常患者未出现不可评价血管段。心率与冠状动脉图像评分呈正相关($r=0.177, P<0.001$)。A 组、B 组和 C 组平均有效辐射剂量分别为 (3.47 ± 2.48) 、 (10.28 ± 4.25) 和 (15.76 ± 6.09) mSv, 各组辐射剂量差异具有统计学意义($\chi^2=149.14, P<0.001$), 心率与有效辐射剂量正相关($r=0.401, P<0.001$)。**结论:**320 排 CT 能在较宽的心率范围内保证图像质量,对高心率具有较好的适应性,对于心率在 65 bpm 以下的患者辐射剂量降低显著。

【关键词】 冠状动脉疾病; 体层摄影术, X 线计算机; 冠状动脉; 辐射剂量

【中图分类号】 R814.42; R543.3 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2011)11-1224-04

Impact of mean heart rate on image quality and radiation dose in 320-detector coronary artery angiography XU Jian, DI Xing-bo, MAO De-wang, et al. Department of Radiology, Zhejiang Provincial People's Hospital, Hangzhou 310014, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the image quality and radiation dose of coronary computed tomography angiography (CTA) on patients with various heart rate using 320-detector CT scanner. **Methods:** A total of two hundred and fifty nine patients who were suspected or known with coronary artery disease underwent coronary CTA. These patients were divided in three subgroups: group A (79 cases), with heart rate below 65 beats per minute; group B (120 cases), with heart rate from 65 to 80 beats per minute; group C (60 cases), with heart rate more than 80 beats per minute. All images with best phase were transferred to a workstation for further post-processing, including VR, MIP, MPR and CPR. Image quality was scored based on 4-point Likert scale in a coronary segmental basis. Statistic analysis was made for grade of image quality and radiation dose, and the relationship between the heart rate and radiation dose was analyzed. **Results:** No significant difference was found for image quality scale and score in group A, group B and group C ($\chi^2=4.216, P=0.121$). Nonassessable segments were not found in 35 patients with arrhythmias. Positive correlation was shown between heart rate and image quality score ($r=0.177, P=0.000$). Mean effective dose was (3.47 ± 2.48) mSv, (10.28 ± 4.25) mSv, (15.76 ± 6.09) mSv in group A, B and C respectively, there was a significant difference ($\chi^2=149.14, P=0.000$). Positive correlation was found between heart rate and effective dose ($r=0.401, P<0.001$). **Conclusion:** 320-detector CT scanner can provide diagnostic image quality within relatively wide range of heart rate and be relevantly adaptive to higher heart rate. Radiation dose was reduced especially for patients with heart rate below 65 beats per minute.

【Key words】 Coronary artery diseases; Tomography, X-ray computed; Coronary artery; Radiation dose

CT 冠状动脉成像已经成为无创性准确诊断冠状动脉疾病的重要方法^[1],但是由于其较高的辐射剂量及其所致的生物学效应引起广泛关注以及其图像质量受到心率(律)的显著影响,使冠状动脉 CT 成像存在一些不足^[2,3]。近年来 320 排容积 CT 逐渐应用于临床,其探测器 Z 轴宽度达到 160 mm,能覆盖整个心脏,球管旋转一周在单个心跳时间内即可完成对全心脏数据的采集,有效降低了心脏运动对冠脉 CTA 图像质量的影响以及连续的 X 线照射的期望。本研究中

对本院 259 例行 CT 冠状动脉成像的连续性病例进行分析,旨在探讨 320 排 CT 冠脉成像时质量对心率是否具有较好的适应性以及心率对辐射剂量的影响,进而评价 320 排 CT 在冠状动脉检查中的价值。

材料与方法

1. 一般资料

连续选取本院 2010 年 10 月~2010 年 12 月采用前瞻性心电门控行 CT 冠状动脉成像的患者共 259 例,其中男 147 例,女 112 例,年龄 25~89 岁,平均 (62 ± 13) 岁,其中行冠状动脉支架置入术 14 例,心律

作者单位:310014 浙江省人民医院放射科

作者简介:徐健(1976—),男,浙江永康人,主管技师,主要从事 CT 影像技术工作。

失常 35 例,口服美托洛尔 57 例。排除标准包括严重肾功能不全、明确碘过敏史、心脏起搏器植入、屏气无法配合及冠状动脉搭桥术后。根据扫描实时心率将受检者分 3 组:A 组心率 ≤ 65 次/分,共 79 例;B 组 $65 <$ 心率 < 80 次/分,共 120 例;C 组心率 ≥ 80 次/分,共 60 例。

2. 检查前准备

所有患者检查前均签署 CT 冠状动脉检查知情同意书,对于心率超过 80 次/分的患者在无禁忌证的情况下口服 25~50 mg 美托洛尔。病人在受检前 3 min 舌下含服硝酸甘油 0.5 mg。对所有患者均进行检查过程告知,并进行有效呼吸训练。

3. 数据采集

使用 Toshiba Aquilion One 320 排容积 CT,常规先行钙化积分扫描。根据体重指数设置管电压和管电流:体质量指数 ≤ 18 kg/m² 时采用 80 kV 和 350~400 mA;体质量指数 19~24 kg/m² 时采用 100 kV 和 350~400 mA;体质量指数为 25~29 kg/m² 时采用 120 kV 和 400~500 mA;体质量指数 > 30 kg/m² 时采用 120 kV 和 500~580 mA。对比剂总量 45~65 ml。由软件根据同步心电监护的心率变化自动设置机架转速,取得与心率匹配的时间分辨力 75~175 ms。扫描范围根据心脏大小调整,范围 100~160 mm,扫描视野 320mm $\times$ 320mm,显示矩阵 512 $\times$ 512。使用双筒高压注射器,于肘前静脉放置 20G 套管针建立静脉通道,以 4.0~5.5 ml/s 的流率注射对比剂,并以相同的流率注射生理盐水 30 ml。将 Surestart 自动监测兴趣区放在降主动脉,触发阈值为 270 HU,经过 4 s 的呼吸指令后启动容积扫描。

4. 图像后处理

图像重建层厚 0.5 mm,层间隔 0.25 mm,软组织函数,容积数据包含预置的 R-R 间期的 75%期相和最佳期相。如果预置期相不能满足血管显示,需要进行心电编辑将清晰显示冠状动脉的时相数据传至 Vitrea FX 图像后处理工作站,应用软件进行后处理得到冠状动脉的 VR、MIP、MPR 和 CPR 图像。

5. 放射剂量评估

本研究中统计的辐射剂量仅为冠状动脉 CTA 的辐射剂量,不包括定位像、钙化积分和主动脉对比剂浓度监测扫描时的辐射剂量。记录 CT 机自动计算得到的容积 CT 剂量指数(CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product, DLP),有效剂量(effective dose, ED)以 DLP 乘以 k 换算求得。k 为特定转换系数,参考欧盟委员会关于 CT 的质量标准指南^[4],k=0.017 mSv/mGy $\cdot$ cm。

6. 图像质量评价

按照美国心脏协会制订的冠状动脉 15 分段法^[5],参照文献将图像质量分为 4 级。1 分:图像质量为优,图像上没有运动伪影,血管轮廓清晰;2 分:图像质量为良,有轻微伪影,对血管有轻度干扰;3 分,图像质量为中等,有中等程度伪影干扰,但血管走行连续;4 分:图像质量为差,有严重伪影干扰,血管呈现双影或走行中断,血管轮廓不能分辨^[6]。1~3 分为可评价图像,4 分为不可评价图像。血管图像质量评级由两位经验丰富的医师在不知心率分组的情况下独立完成,评价不一致时两人共同阅片,协商达成一致结论。对于钙化严重、支架置入以及直径 < 1.5 mm 的血管段不作评价。

7. 统计分析

对一般资料和相关参数的年龄、体质量指数、对比剂用量和注射流率、管电压及管电流的分析用单因素方差分析,时间分辨力、X 线照射时间、扫描范围用秩和检验,而对于各组的性别构成采用卡方检验。比较各组冠状动脉血管段的优良率、可评价性用卡方检验,心率与血管段得分的关系用双变量相关分析,对放射剂量的相关指标包括 CT 容积剂量指数、剂量长度乘积和有效剂量采用秩和检验,心率与有效辐射剂量的关系采用双变量相关分析。

结 果

1. 一般资料

三组患者的一般资料见表 1。

表 1 各组病例一般资料的比较

指标	A 组	B 组	C 组	检验值	P 值
例数	79	120	60	—	—
年龄(岁)	64.0 $\pm$ 12.1	61.3 $\pm$ 12.7	61.3 $\pm$ 12.8	1.31*	0.27
性别(男/女)	48/31	66/54	33/27	0.742 Δ	0.69
体质量指数(kg/m ²)	24.0 $\pm$ 3.6	24.1 $\pm$ 3.5	24.2 $\pm$ 3.3	0.031*	0.97

注:检验值*为 F 值, Δ 为 χ^2 值。

2. CT 检查相关参数

A、B、C 各组的 CT 检查参数见表 2

表 2 各组病例 CT 扫描相关参数比较

组别	A	B	C	检验值	P 值
电压(kVp)	111.2 $\pm$ 13.8	113.5 $\pm$ 11.9	118.4 $\pm$ 41.4	1.534*	0.218
电流(mA)	418.3 $\pm$ 60.0	422.0 $\pm$ 52.9	424.4 $\pm$ 55.8	0.199*	0.82
对比剂用量(ml)	54.3 $\pm$ 5.1	54.7 $\pm$ 5.2	55.7 $\pm$ 8.3	1.04a	0.36
扫描范围(mm)	130.56*	125.53*	138.20*	1.73 ^b	0.42
扫描时间(ms)	40.13*	141.39*	225.55*	214.10 ^b	< 0.01
时间分辨力	217.78*	112.37*	49.68*	189.48 ^b	< 0.01

注:* 平均秩次,检验值^a为 F 值,^b为 χ^2 值。

3. 冠状动脉血管段评价结果

各组血管段图像质量评分见表 3。除去因解剖变异没有显示、钙化、直径 < 1.5 mm、支架置入等不能评价的节段,259 例患者共评价血管段 2985 段。仅 8 段为不可评价血管段,均为运动伪影所致,2 段为右冠脉

2、1 段为右冠脉 3、1 段为 PDA、1 段为 PLA、1 段为 OM、2 段为 LAD3。35 例心律失常患者没有发现不可评价的血管段。

表 3 各组血管段评分结果 (段)					
组别	血管段评分(%)				合计
	1 分	2 分	3 分	4 分	
A 组	653(69.0)	257(27.2)	36(3.8)	0	946
B 组	923(68.3)	392(29.0)	36(2.7)	1(0.1)	1352
C 组	305(44.4)	279(40.6)	96(14.0)	7(1.0)	687
合计	1881	928	168	8	2985

图像质量评为优和良(图 1)的血管段比例在 3 组间的差异无统计学意义($\chi^2=4.216, P=0.121$); 各组之间可评价节段比例差异无统计学意义($\chi^2=0.025, P=0.987$)。心率与冠状动脉血管段评分呈正相关($r=0.177, P<0.001$), 即心率越快, 图像质量等级越低。

4. 放射剂量评估

各组放射剂量见表 4, 各组放射剂量统计分析结果见表 5。

表 4 各组放射剂量比较				
指标	A 组	B 组	C 组	
CTDIvol(mGy)	15.36±8.38	50.28±24.31	77.55±26.31	
DLP(mGy·cm)	191.69±110.31	590.43±277.02	939.82±341.47	
ED(mSv)	3.47±2.48	10.28±4.25	15.76±6.09	

表 5 各组放射剂量平均秩次					
指标	A 组	B 组	C 组	检验值	P 值
CTDIvol	45.76	148.50	203.91	165.64	<0.01
DLP	51.22	145.93	201.88	148.04	<0.01
ED	49.44	148.75	198.57	149.14	<0.01

注:CTDIvol 单位为 mGy,DLP 单位为 mGy·cm,ED 单位为 mSv。

本研究中平均 CTDIvol、DLP、ED 分别为

(45.95±31.30)mGy、(549.75±375.70)mGy·cm、(9.47±6.26)mSv。心率与有效辐射剂量呈正相关($r=0.401, P<0.001$)。

讨 论

1. 心率与图像质量

本研究证实 320 排 CT 降低了心脏运动对图像质量的影响,能在较宽的心率范围保证诊断图像质量。统计显示各组血管段图像质量的优良率以及可评价性差异没有统计学意义,A 组所有的冠状动脉血管段均可评价;B 组和 C 组不可评价冠状动脉分别占 0.07%和 1.02%,低于 64 层螺旋 CT 的 12%和双源 CT 的 1.5%~5.0%^[7-9],表明图像质量对高心率具有良好的适应性,但心率与图像质量呈负相关,随着心率升高图像质量有降低的趋势。由于患者心率和心率变异影响冠状动脉显影主要取决于时间分辨力^[10],CT 冠状动脉检查通常需要控制心率。320 排 CT 175 ms 的时间分辨力低于双源 CT 的 83 ms,理论上降低了对高心率患者的冠状动脉的显示能力。但 160 mm 宽的探测器具有覆盖全心脏的优势,机架旋转一周就可获得全心动数据,并且数据采集期间检查床静止不动,由此避免了因多扇区数据采集于不同心动周期,而冠脉处于不同相位出现对位和配比偏差的问题,使得多扇区重建提高时间分辨力的优势能够充分的应用,从而保证高心率患者的图像质量。相应地针对约 20%服用 β 受体阻滞剂无效甚至可能导致不良后果的患者^[11],本组研究结果表明,对这类患者可在不控制心率的情况下进行冠状动脉成像。

本研究中不可评价血管段仅 8 段,2 段发生在运

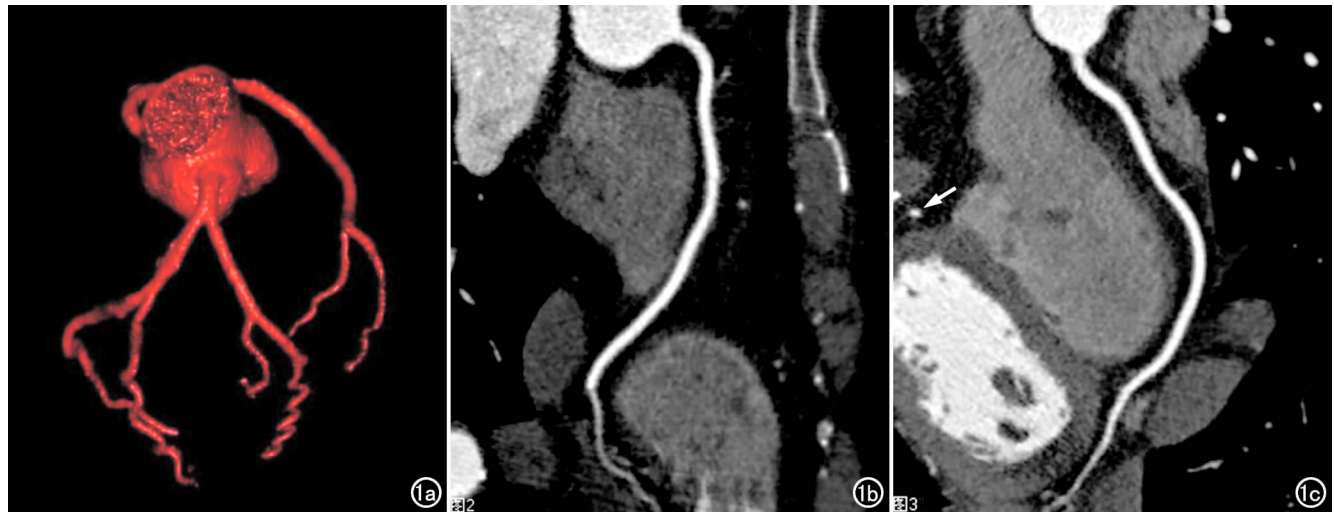


图 1 女,63 岁,体质量指数 20.8kg/cm²,80kV,400mA,有效辐射剂量 1.7mSv。a) VR 图像示冠状动脉树显示清晰;b) CPR 图像,显示左冠状动脉前降支近段、中段血管轮廓清晰,无运动伪影,图像质量优(评分为 1 分),远段有轻微伪影,对血管有轻度干扰,图像质量良(评分为 2 分);c) CPR 图像,显示右冠状动脉各段血管轮廓清晰,无运动伪影,图像质量优,后降支有轻度伪影,血管边缘略模糊,图像质量为良(箭)。

动幅度最大的右冠状动脉中段,余均发生在冠状动脉的远段和细小分支,且 8 段均为运动伪影所致。因此管腔直径的大小是影响图像质量的重要因素之一,相比双源 CT 时间分辨力上的优势,320 排 CT 175 ms 的时间分辨力是出现重度运动伪影造成血管段不可评价的原因。

2. 心率与辐射剂量

CT 冠状动脉成像具有无创优势,并且诊断准确性很高,带来诊断效益的同时其高辐射剂量增加了远期患癌风险^[12]。因此在 CT 冠状动脉成像检查中如何降低辐射剂量具有重要的现实意义。

本研究采用前瞻性心电门控触发模式,仅在预置期相曝光。由于其需要在特定的时间获取足够的数据,心率 65 次/分以下只需采集一次心跳内的数据,而心率高于 65 次/分,需要采集 2 个以上心跳周期,辐射剂量比单扇区重建显著增加。320 排 CT 能根据同步心电图 R-R 间期变化决定是否增加采集的心跳数,一旦相邻 R-R 间期变化幅度超过 20%,软件将自动增加采集的心跳数以获得更多的容积数据来保证图像质量。本研究纳入了 35 例心律失常的病例,其心率变异较大往往需要采集多次心跳的数据(2~4 个心跳),使本研究中平均有效辐射剂量为 9.46 mSv,高于文献报道的 7.2 mSv^[13],但 160 mm 覆盖全心脏的优势结合前瞻性心电门控触发技术不存在螺旋 CT 小螺距的重叠扫描和首末两周旋转的过扫描,平均辐射剂量显著低于 12.3~14.7 mSv^[14,15]。在分组的平均辐射剂量中,A 组患者仅需采集 70%~80% R-R 间期和一次心跳,平均辐射剂量为(3.47±2.48) mSv,低于 3.9~6.8mSv^[14,15],显著低于需要采集 30%~80%的 R-R 间期和多次心跳的 B 组[(10.27±4.25) mSv]和 C 组[(15.76±6.07) mSv]的平均辐射剂量。而且 B 组和 C 组中纳入了心律失常的病例,心率变异较大使触发软件自动增加采集心跳数也是造成其较高辐射剂量的原因。因而心律失常患者获得诊断图像质量是以高辐射剂量为代价的。结合心率越快、平均辐射剂量越高的关系和前述心率与图像质量等级负相关的结果,强调了控制心率的重要性,降低辐射剂量的同时提高图像质量等级,有利于 CT 冠状动脉检查进一步的临床推广。

参考文献:

[1] Achenbach S, Ropers U, Kuettner A, et al. Randomized comparison of 64-slice single-and dual-source computed tomography coronary angiography for the detection of coronary artery disease[J]. J

Am Coll Cardiol, 2008, 3(1): 177-186.

[2] Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography[J]. JAMA, 2007, 298(7): 317-323.

[3] 杨琳, 张兆琪, 范占明, 等. 心室率心室率波动及心电编辑对心房颤动患者 64 层螺旋 CT 冠状动脉成像质量的影响[J]. 中华放射学杂志, 2010, 44(4): 369-373.

[4] Bax JJ, Schuijff JD. Which patients should be referred for Noninvasive angiography with multi-slice CT? [J]. Int J Cardiol, 2007, 114(1): 1-3.

[5] Austen WG, Edwards JE, Erye RL, et al. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease [J]. Circulation, 1975, 51(Suppl 4): S5-S40.

[6] Matt D, Scheffel H, Leschka S, et al. Dual-source CT coronary angiography: image quality, mean heart rate, and heart rate variability[J]. AJR, 2007, 189(9): 567-573.

[7] Ropers U, Ropers D, Pflederer T, et al. Influence of heart rate on the diagnostic accuracy of dual-source computed tomography coronary angiography[J]. J Am Coll Cardiol, 2007, 50(12): 2393-2398.

[8] Raff GL, Gallagher MJ, O'Neill WW, et al. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography[J]. J Am Coll Cardiol, 2005, 46(8): 552-557.

[9] Bzumuller S, Leschka S, Desbiolles L, et al. Dual-source versus 64-section CT coronary angiography at lower heart rates: comparison of accuracy and radiation dose[J]. Radiology, 2009, 253(10): 56-64.

[10] Hoffmann MH, Shi H, Mnzke R, et al. Noninvasive coronary angiography with 16-detector row CT: effect of heart rate[J]. Radiology, 2005, 234(1): 86-97.

[11] Dewey M, Teige F, Schnapauff D, et al. Noninvasive detection of coronary artery stenoses with multislice computed tomography or magnetic resonance imaging[J]. Ann Intern Med, 2006, 145(9): 407-415.

[12] Dewey M, Zimmermann E, Deissenrieder F, et al. Noninvasive coronary angiography by 320-row computed tomography with lower radiation exposure and maintained diagnostic accuracy[J]. Circulation, 2009, 120(9): 867-875.

[13] Rybicki FJ, Otero HJ, Michael L, et al. Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography[J]. Int J Cardiac Imaging, 2008, 24(3): 535-546.

[14] Coles DR, Smail MA, Negus IS, et al. Comparison of radiation doses from multislice computed tomography coronary angiography and conventional diagnostic angiography[J]. J Am Coll Cardiol, 2006, 47(5): 1840-1845.

[15] Donnino R, Jacobs JE, Doshi JV, et al. Dual-source versus single-source cardiac CT angiography: comparison of diagnostic image quality[J]. AJR, 2009, 192(4): 1051-1056.

(收稿日期: 2011-02-11 修回日期: 2011-06-20)