

## · 双低剂量 CT 成像专题 ·

## 前瞻性心电触发扫描模式应用于心律不齐患者冠状动脉 CTA 检查的可行性研究

姜健, 刘建新, 王霄英, 王慧慧, 蒋孟茜, 盛程程, 胡晓煜

**【摘要】** 目的:探讨心律不齐患者采用前瞻性心电触发扫描模式行冠状动脉 CTA 检查的可行性。方法:回顾性搜集本院行冠状动脉 CTA 检查的 13 例心律不齐患者的病例资料。所有患者均行双源 CT 扫描结合前瞻性心电触发扫描模式,每个 R 波后 250~350 ms 采集,管电压 120 kVp,自动毫安。对比剂采用碘克沙醇(270 mg I/mL),注射 30 mL。记录所有患者的辐射剂量。将冠状动脉分为 15 个节段,由 2 名影像科医师进行图像质量评价,并测量 CT 值。对结果进行统计学分析。结果:13 例患者均一次完成检查,平均有效辐射剂量为(2.61±1.29) mGy。主观评估了冠状动脉 CTA 的 172 个节段,有 163 个节段达到诊断要求,94.77% 满足临床诊断要求。80.12% 的节段管腔内 CT 值 > 250 HU。结论:心律不齐患者应用前瞻性心电触发扫描模式时,行冠状动脉 CTA 检查可以得到较好的图像质量,基本满足临床诊断要求。

**【关键词】** 心律不齐; 冠状动脉; 体层摄影术, X 线计算机; 前瞻性心电触发; 辐射剂量; 体型特异性剂量估计

**【中图分类号】** R814.42; R816.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2014)03-0264-04

**Feasibility study of prospective ECG-triggered coronary CT angiography for arrhythmia patients using dual source CT** JIANG Jian, LIU Jian-xin, WANG Xiao-ying, et al. Department of Radiology, Peking University First Hospital, Beijing 100034, P. R. China

**【Abstract】 Objective:** To evaluate the feasibility of prospective ECG-triggered coronary CT angiography (CCTA) for arrhythmia patients using dual source CT and iodixanol (270mg I/mL). **Methods:** Data of 13 patients with arrhythmia who underwent coronary CTA were recruited. CCTA images were obtained with prospective ECG-triggered CT protocol using dual source CT. The scanning parameters were as follow: 120kVp, automatic mA; iodixanol (270mg I/mL), volume 60mL. Two radiologists assessed image quality of the coronary artery and measured the CT value of vessel lumen. **Results:** The average effective dose was (2.61±1.29)mGy. The image quality of 94.77% (163/172) coronary vessel segments was considered to be good enough for diagnosis. The CT value in 80.12% segments was more than 250HU. **Conclusion:** Using dual source CT, CCTA images can be acquired by prospective ECG-triggered protocol and iodixanol (270mg I/mL) for arrhythmia patients, which can meet clinical diagnosis criteria.

**【Key words】** Arrhythmia; Coronary artery; Tomography, X-ray computed; Prospective ECG-triggering; Radiation dose; Size-specific dose estimate

冠状动脉 CT 血管成像(computed tomography angiography, CTA)在临床上已成为无创性检测冠状动脉病变的常规方法。它可检出冠状动脉有无狭窄、闭塞、动脉瘤甚至畸形等<sup>[1]</sup>。在 CTA 图像上,冠状动脉狭窄程度的评定,主要依靠管腔内充盈的对比剂与管腔斑块的密度有差异<sup>[2]</sup>,从而判断病变情况。心律不齐一直被认为是冠状动脉 CTA 检查的禁忌证之一,许多研究致力于提高心律不齐患者冠脉 CTA 检查的成功率<sup>[3]</sup>。本研究探讨在前瞻性心电触发扫描模式条件下,应用碘克沙醇(270 mg I/mL)对心律不齐患者行冠状动脉 CTA 检查的可行性。

## 材料与方法

### 1. 一般资料

回顾性搜集本院 2013 年 10 月—2014 年 1 月行冠状动脉 CTA 检查的 13 例心律不齐患者的病例资料。其中男 7 例,女 6 例,年龄 39~90 岁,平均(69.69±13.03)岁;身体质量指数(body mass index, BMI) 20.81~32.00 kg/m<sup>2</sup>,平均(24.88±3.29) kg/m<sup>2</sup>。行冠状动脉 CTA 检查前对患者进行风险评估,确定患者无中度以上肾功能不全(eGFR < 60 mL/min/1.73 m<sup>2</sup>)、严重器官功能衰竭、呼吸控制不佳、含碘对比剂过敏、甲亢等含碘对比剂禁忌证。所有患者在 CTA 数据采集过程中均出现心电信号异常。所有患者均一次性完成扫描。

### 2. 扫描方法

采用 Siemens Somatom Definition 双源 CT 机。检查前 0.5~1.0 h,在临床医生指导下,患者口服 β 受体阻滞剂(倍他洛克 25~50 mg),检查前 5 min 舌下含服硝酸甘油 1 片(0.25 mg)以扩张冠状动脉。并对患者进行呼吸训练,13 例患者均配合满意。

作者单位:100034 北京,北京大学第一医院影像科

作者简介:姜健(1989-),女,辽宁大连人,博士研究生,主要从事影像诊断新技术研究。

通讯作者:胡晓煜, E-mail: huerjia2000@hotmail.com

扫描范围自气管隆突下 1 cm 到心尖区。仰卧位获得定位像后,行平扫获得冠状动脉钙化积分。应用双筒机械高压注射器(Stellant, Medrad, USA)推注非离子对比剂碘克沙醇(270 mg I/mL),以 5 mL/s 流率经肘正中静脉注射 60 mL 对比剂,之后立即以相同流率注射 30 mL 生理盐水冲管。采用对比剂跟踪技术自动触发,兴趣区(region of interest, ROI)设定在降主动脉根部,阈值为 100 HU,延迟 4 s 启动扫描。CT 扫描参数如下:管电压 120 kVp,自动毫安 300 mAs, CARE Dose 4D,准直  $128 \times 0.6$  mm,重建层厚 0.75 mm,层间隔 0.6 mm,转速 0.28 s/转,采集时相为每个 R 波后 250~350 ms,扫描时间约为 5~6 s。

### 3. 图像后处理及分析

图像的后处理包括曲面重组(curved planar reformation, CPR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)以及容积再现(volume rendering, VR)。由两位有影像诊断经验的医师分别测量动脉管腔内的 CT 值,包括:主动脉根部(左主干发出水平),左主干,左前降支近、中、远段,第一对角支,第二对角支,左回旋支近段、远段,钝缘支,锐缘支,右冠近、中、远段,后降支,左室后支。ROI 的面积至少为所测管腔面积的一半,避开斑块及支架。对于内径  $< 2$  mm 的血管,不进行测量。计算两位医师所测管腔 CT 值的平均值。

参照美国心脏病协会推荐的 15 段法分析冠状动脉<sup>[4]</sup>。冠状动脉 CTA 图像由 2 名有经验的影像医生共同评分。评分标准如下:5 分:无伪影,血管轮廓清楚,管壁边缘锐利,管腔内密度均匀,诊断信心很强;4 分:轻微伪影,血管轮廓清楚,管壁边缘稍模糊,管腔内密度均匀,诊断信心强;3 分:轻度伪影,血管轮廓尚清楚,部分管壁模糊,管腔内密度欠均匀,尚有诊断信心;2 分:明显伪影,血管轮廓不易识别,管壁模糊不清,管腔不连续,缺乏诊断信心;1 分:严重伪影重,冠状动脉轮廓不能识别,不能用于诊断。图像质量评分  $\geq 3$  分符合临床诊断要求,  $\leq 2$  分不能达到临床诊断要求。

### 4. 辐射剂量

本研究所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、钙化积分和触发扫描的辐射剂量。评价指标包括 CT 设备记录的容积 CT 剂量指数(CT dose index, CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product, DLP)。计算后得到体型特异性剂量估计(size-specific dose estimate, SSDE)值及有效剂量(effective dose, ED),根据公式①和②计算 SSDE 和 ED:

$$SSDE = f_{size}^{32X} \times CTDIvol \quad (1)$$

转换系数通过计算胸部前后径和左右径之和,然

后查找线性关系表,得到相应的转换系数<sup>[5]</sup>。

$$ED = k \times DLP \quad (2)$$

k 为转换因子,  $k = 0.014 Sv / (mGy \cdot cm)$

### 5. 统计学分析

采用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析,计量资料(包括患者的年龄、BMI、冠脉各段 CT 值的测定、图像质量评分及辐射剂量)以均值  $\pm$  标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,计数资料(患者性别)以频数或百分比表示。

## 结 果

13 例患者行冠状动脉 CTA 中均出现异常的 QRS 波。其中包括 6 例房颤、2 例频发室性早搏、1 例 I 度房室传导阻滞,其余 4 例为未进行临床分型的心律不齐。所有患者均一次完成检查。

CT 辐射剂量:平均 CTDIvol 为  $(16.80 \pm 7.62)$  mGy, DLP 为  $(186.69 \pm 91.81)$  mGy  $\cdot$  cm, SS-DE 为  $(21.15 \pm 9.04)$  mGy, ED 为  $(2.61 \pm 1.29)$  mGy。

图像主观评估结果:13 例患者共显示 172 个节段,主观评分如下:5 分,105 个节段(61.05%);4 分,42 个节段(24.42%);3 分,16 个节段(9.30%);2 分,9 个节段(5.23%);无 1 分节段。共 163 个节段(94.77%)的图像满足临床诊断要求,9 个节段(5.23%)的图像未达到诊断要求(表 1)。不能满足临床诊断的 9 个节段,分布在 5 例患者中,未出现明确的集聚分布。

表 1 冠状动脉 CTA 图像中不同节段主观评分和 CT 值

冠状动脉分支	显示节段数	CT 值 (HU)	能满足临床诊断节段数	满足诊断率 (%)
左冠状动脉主干	13	356.89 $\pm$ 105.59	13	100
左前降支近段	13	348.50 $\pm$ 81.06	13	100
左前降支中段	13	292.85 $\pm$ 308.50	13	100
左前降支远段	13	240.31 $\pm$ 69.14	12	92.31
第一对角支	13	245.75 $\pm$ 76.86	13	100
第二对角支	9	291.33 $\pm$ 46.48	8	88.89
左回旋支近段	13	338.50 $\pm$ 102.20	13	100
左回旋支远段	13	288.69 $\pm$ 81.28	12	92.31
钝缘支	12	296.95 $\pm$ 87.30	11	91.67
锐缘支	8	249.25 $\pm$ 53.66	7	87.50
右冠支近段	13	370.41 $\pm$ 88.68	13	100
右冠支中段	13	342.14 $\pm$ 105.82	11	84.62
右冠支远段	13	390.25 $\pm$ 103.12	11	84.62
后降支	12	351.19 $\pm$ 78.97	12	100
左室后支	1	454	1	100
合计	172	319.45 $\pm$ 96.17	163	94.77

图像客观评估结果:通过测量各段冠脉管腔 CT 值,得到各段冠脉的 CT 值的均值(表 1):CT 值最大者为右冠状动脉远端,最小者为左前降支远端。80.12%的节段管腔内 CT 值  $> 250$  HU,19.88%的节段管腔内 CT 值  $< 250$  HU,但 143 支  $> 200$  HU,最小值不低于 142 HU。有两例患者所有测得的各段冠脉管腔 CT 值均  $\leq 250$  HU。

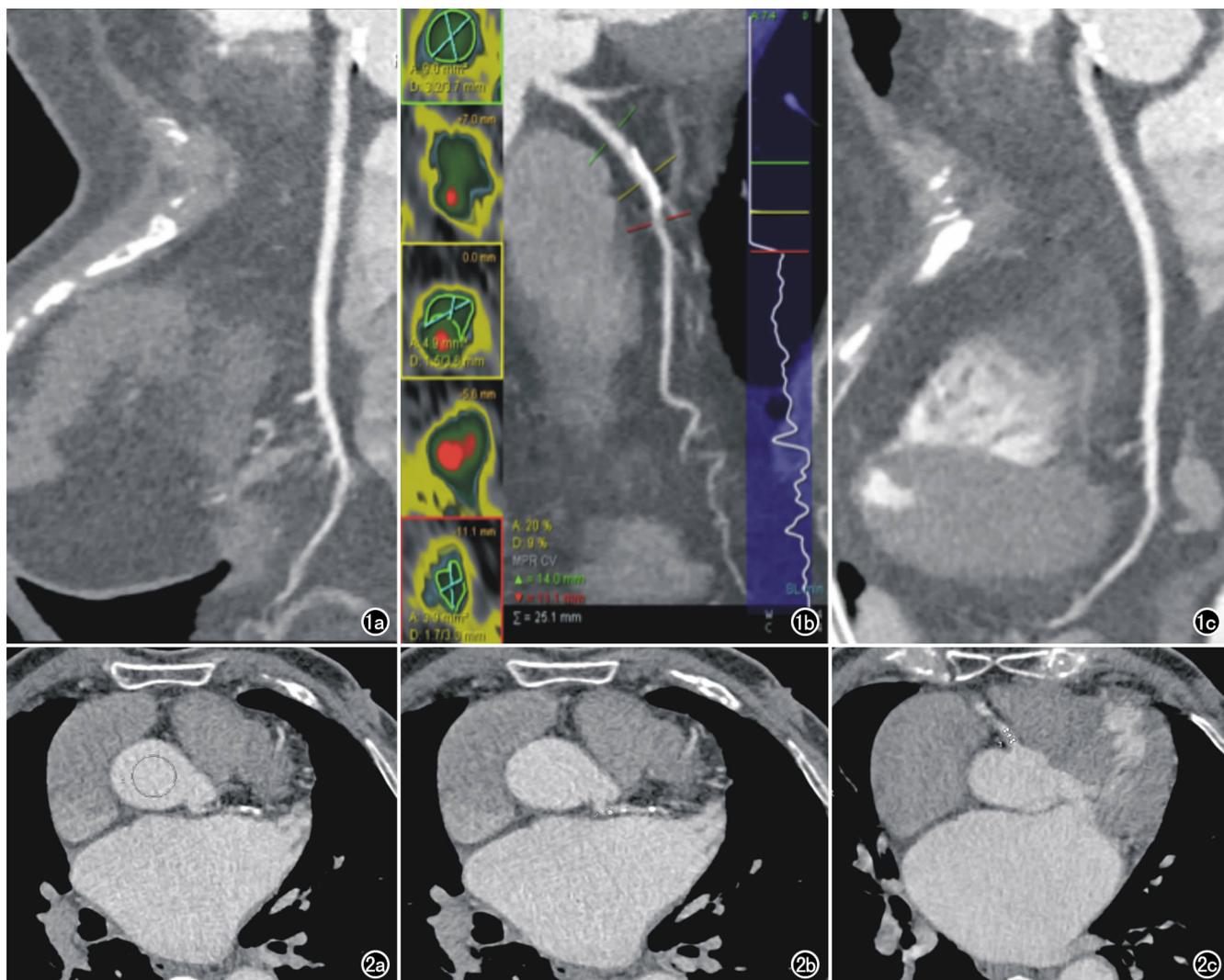


图1 心律不齐患者冠状动脉CTA重建图像,图像质量良好,可满足诊断要求。a) RCA重建后图像; b) LAD重建后图像; c) LCX重建后图像。图2 心律不齐合并左心功能不全者冠状动脉CTA各段血管官腔的CT值。a) 左主干发出水平的主动脉根部的CT值为194.70HU; b) 左主干的CT值为201.3HU; c) 右冠近段的CT值为181HU。

## 讨论

冠状动脉CTA检查已经越来越多地应用于临床,在心血管疾病的诊断中有着重要作用,可以作为心脏血管造影的预检和补充。影响冠状动脉CTA图像质量的因素有很多,如CT扫描设备的时间分辨率、扫描期相的选择、对比剂的注射总量和流率、患者心率及屏气情况等。相比其他因素,患者的自身情况是不可控的。有研究表明,患者屏气不良,可导致呼吸伪影;心率越快,其图像质量越差;心律不齐,可导致检查失败,或不得不使用辐射剂量非常高的扫描方案<sup>[6-7]</sup>。双源CT设备的时间分辨率很高,高心率的患者在自然状态下也可以得到很好的图像质量。但是,心律不齐患者行冠状动脉CTA检查仍有困难。影响心律不齐患者冠状动脉CTA成像的因素有很多,主要是患者心率的不稳定性和不可预测性,如R-R间期时间不均等、早搏、QRS波异常等。因此,在患者自身因素不可

控的条件下,探索CT扫描方案的优化,就成为研究的热点。

心律不齐患者进行常规的回溯性心电门控扫描,是根据采集前30个R-R间期的平均值算出扫描时的采集时间。但由于心律不齐的出现不可预期,真正采集时,扫描窗不一定会落在预定的期相。若按照常规的方法进行重建,一般会出现血管的错层或不连续。有研究表明,应用绝对时相和相对时相进行图像重建,可以提高图像质量,减少错层的发生<sup>[8]</sup>。由于相对时相法重建后的图像质量受R-R间期的影响较大,无法在同一心脏期相产生影像,因此血管可能表现为阶梯样外观。而绝对时相法将重建的采集窗设定于R波后的固定时间点,受R-R间期的影响较小。尤其是针对心率过快和心律不齐的患者,由于其R-R间期不成比例地延长或者缩短,绝对时相法较相对时相法更易获得好的图像质量<sup>[9]</sup>。所以本组扫描条件中,设定为

R 波后固定时间进行采集。

回顾性心电门控主要缺点是辐射剂量过高,前瞻性心电触发扫描模式不仅可以降低辐射剂量,同时也可以保证图像的质量<sup>[9]</sup>。所以本组病例应用前瞻性心电触发扫描模式结合绝对时相采集法,对心律不齐的患者进行冠状动脉 CTA 检查。在一个心动周期中,舒张期心脏的运动幅度最小,所以往往选择相对静止的舒张期进行图像的采集。另有研究证明,当心率 > 80 次/分,其最佳重建期相一般选在收缩末期<sup>[8]</sup>。所以把绝对时相的采集定在每个 R 波后 250~350 ms,约位于一个心动周期内收缩晚期及舒张期早期。本研究的结果显示,前瞻性心电触发扫描模式结合绝对时相(250~350 ms)应用于心率不齐患者冠状动脉 CTA 检查,可以得到很好的图像质量(图 1)。

对于正常心律患者,冠状动脉 CT 检查的低剂量、低对比剂技术已有不少报道,但是针对心律不齐的患者,低剂量、低对比剂使用的技术仍需探讨。本组患者增强扫描采用的是低浓度非离子对比剂碘克沙醇(270 mg I/mL),主观评估中,94.77%的血管节段可以达到临床诊断要求。13 例患者中,有 2 例患者的冠状动脉所有节段的 CT 值均未超过 250 HU(图 2)。通过查阅患者的病史资料,我们发现这两例患者的左室收缩功能均降低,左室射血分数分别为 40.19%及 43.64%,均低于正常水平。所以,血管内 CT 值较低的原因可能是因为左心功能减低,导致冠状动脉管腔内对比剂浓度的峰值延迟,当降主动脉 CT 值达到 100 HU,延迟 4 s 启动扫描时,冠状动脉管腔内的对比剂浓度并未达到峰值,导致所有冠状动脉节段 CT 值都稍低。但主观评估结果显示,这 2 例患者的血管节段中,92.31%仍然是符合诊断要求的。

在应用低浓度的对比剂的同时,本组病例也采用了前瞻性心电触发扫描模式技术,与回顾性心电门控扫描模式相比,降低了患者所接受的辐射剂量。有研究表明前瞻性心电触发扫描模式技术不仅可以得到好的图像质量,同时也可降低约 83%左右辐射剂量<sup>[10-11]</sup>。本研究的 SSDE 及 ED 分别为(21.15±9.04) mGy和(2.61±1.29) mGy,明显低于回顾性心电门控模式扫描的辐射剂量<sup>[12]</sup>。

本研究有不足之处:首先,病例数少,心律不齐的临床分型很多,仍需扩大样本量来验证不同类型、不同心率下,本研究的结论;其次,未对研究对象进行分组(如不同 BMI),低碘量用于高体重患者的图像质量以

及临床应用价值仍需进一步研究,将来应研究基于不同患者情况的个性化给药方案;另外,未评价本组条件下 CCTA 对冠状动脉病变诊断的准确性,将来应以 DSA 为金标准,进一步评价低剂量 CCTA 的诊断效能。

总之,心律不齐患者应用前瞻性心电触发扫描模式行冠状动脉 CTA 检查,可以得到较好的图像质量,基本能够满足临床的诊断要求。

#### 参考文献:

- [1] 蒋学祥,邱建星,刘剑,等. 64 层螺旋 CT 评估冠状动脉狭窄的准确性与传统冠状动脉造影对照研究[J]. 中国医学影像技术, 2006,22(10):1472-1476.
- [2] 蒋学祥,邱建星,王继琛,等. 64 层螺旋 CT 冠状动脉成像质量的研究[J]. 中国医学影像技术, 2006,22(10):1452-1455.
- [3] 董智,朱杰敏,刘赫,等. 心率过快、心律不齐及起搏器置入患者的电子束 CT 冠状动脉成像[J]. 中华放射学杂志, 2006,40(3):273-275.
- [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[J]. Circulation, 1975,51(4 Suppl):5-40.
- [5] 张晓东,郭小超,王霄英,等. 体型特异性剂量估计的概念和方法[J]. 放射学实践, 2013,28(3):312-314.
- [6] Nieman K, Rensing BJ, van Geuns RI, et al. Non-invasive coronary angiography with multislice spiral computed tomography: impact of heart rate[J]. Heart, 2002,88(5):470-474.
- [7] Giesler T, Baum U, Ropers D, et al. Noninvasive visualization of coronary arteries using contrast enhanced multi-detector CT: influence of heart rate on image quality and stenosis detection[J]. AJR, 2002,179(4):911-916.
- [8] Herzog C, Arning-Erb M, Zangos S, et al. Multi-detector row CT coronary angiography: influence of reconstruction technique and heart rate on image quality[J]. Radiology, 2006,238(1):75-86.
- [9] Leschka S, Alkadi H, Plass A, et al. Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience[J]. Eur Heart J, 2005,26(15):1482-1487.
- [10] Arnoldi E, Ramos-Duran I, Abro JA, et al. Coronary CT angiography using prospective ECG triggering: high diagnostic accuracy with low radiation dose[J]. Radiology, 2010,50(6):500-506.
- [11] Hsieh J, Londt J, Vass M, et al. Step-and-shoot data acquisition and reconstruction for cardiac X-ray computed tomography[J]. Med Phys, 2006,33(11):4236-4248.
- [12] 包佳琪,赵兴胜,李文新,等. 64 层螺旋 CT 前瞻性与回顾性心电门控冠状动脉成像图像质量与辐射剂量比较的系统评价[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2012,6(15):4375-4379.

(收稿日期:2014-01-08)