❖影像技术学

Clinical application of auto-ECG-gating technique of 256 row CT coronary angiography in patients without heart rate control

WANG Fang, HAO Wanqing, YANG Lili, ZHENG Jingyao, HA Ruoshui*, WANG Zerun, CAO Yongpei, HUANG Fei

(Medical Imaging Center, Ningxia Hui Autonomous Region People's Hospital [North University of Nationalities Teaching Hospital], Yinchuan 750002, China)

[**Abstract**] **Objective** To explore the image quality and diagnostic efficiency of coronary CTA (CCTA) in patients without heart rate (HR) control by optimizing acquisition phase with auto-ECG-gating technology using 256-row wide-volume detector. **Methods** Totally 200 patients with suspected coronary artery disease (CAD) were selected and underwent CCTA with auto-ECG-gating on a 256 row wide detector CT (Revolution CT). Patients were divided into 4 groups according to the real-time HR, group A (n=50): HR≤69 bpm; group B (n=50): HR 70—80 bpm; group C (n=50): HR 81—90 bpm; group D: HR≥91 bpm (n=50). CCTA images quality and diagnostic rate were assessed by two experienced radiologists blindly, and effective radiation dose were compared among 4 groups. **Results** There were no significant differences of age, sex, and body mass index among 4 groups (all P>0.05), and there was significant difference of image quality score among 4 groups (P<0.05). Totally, 800 coronary arteries and 2 575 segments in 200 patients were assessed. There had no significant difference of diagnostic rate among four groups derived from the segment, coronary artery and patients (all P>0.05). The effective radiation dose in A—D groups were (1.05±0.48)mSv, (2.41±1.20)mSv, (1.27±0.55)mSv, (2.66±1.12)mSv, and the difference was significant (F=29.22, P<0.001). **Conclusion** It is feasible to perform CCTA in single cardiac cycle in patients with arbitrary heart rate by auto-ECG-gating using Revolution CT equipped wide-volume detector. And it can improve image quality and success ratio in patients with moderate and high heart rate.

[**Key words**] Angiography; Tomography, X-ray computed; Coronary disease

DOI: 10.13929/j.1003-3289.201611037

256 排宽体探测器 CT 智能心电门控技术在不控制心率患者冠状动脉 CTA 中的应用

汪　芳，郝万庆，杨利莉，郑静瑶，哈若水*，王泽润，曹永佩，黄　飞

[宁夏回族自治区人民医院(北方民族大学教学合作医院)医学影像中心，宁夏 银川　750002]

[**摘　要**] **目的**　探讨 256 排宽体探测器 CT 智能心电门控技术对不控制心率患者 CT 冠状动脉成像的图像质量及可诊断性。**方法**　200 例疑似冠心病的患者接受 256 排宽体探测器 CT 冠状动脉成像，采用智能心电门控扫描，根据扫描患者实时心率分成 4 组，A 组(心率≤69 次/分)、B 组(心率为 70～80 次/分)、C 组(心率为 81～90 次/分)、D 组(心率≥91 次/分)，每组 50 例。由 2 名有心血管 CT 诊断经验的医师以盲法对 4 组冠状动脉成像的图像质量及可诊断性进行评价，并比较各组的辐射剂量。**结果**　4 组患者年龄、性别、体质量指数差异无统计学意义；图像质量主观评分差异有统计学意义(P

[**第一作者**] 汪芳(1982—)，女(满族)，辽宁北镇人，硕士，主治医师。研究方向：心脏大血管影像诊断。E-mail：xiaoxiao_8236@sina.com

[**通信作者**] 哈若水，宁夏回族自治区人民医院(北方民族大学教学合作医院)医学影像中心，750002。E-mail：ruoshui_ha@sina.com

[**收稿日期**] 2016-11-07　[**修回日期**] 2017-03-01

＜0.05)。200 例患者共评价 600 支血管 2 575 个节段,4 组图像节段水平、患者水平、血管水平的可诊断率差异均无统计学意义(P 均＞0.05)。A～D 组的有效辐射剂量分别为(1.05±0.48)mSv、(2.41±1.20)mSv、(1.27±0.55)mSv、(2.66±1.12)mSv,差异有统计学意义(F=29.22,P＜0.001)。**结论** Revolution CT 宽体探测器智能心电门控技术在不同心率患者单个心动周期完成冠状动脉 CTA 检查具有可行性,并提高了中高心率患者检查成功率及图像质量。

[**关键词**] 血管造影术;体层摄影术,X 线计算机;冠状动脉疾病
[**中图分类号**] R541.4; R814.42 [**文献标识码**] A [**文章编号**] 1003-3289(2017)07-1080-05

近年来,随着 CT 技术的不断革新,冠状动脉 CT 血管成像(coronary CT angiography, CCTA)已成为临床筛查冠状动脉心脏病的主要影像学检查手段。然而,CCTA 的成功与否受多种因素影响,其中心率的影响最显著[1]。虽然 CT 的硬件设备和软件在不断地发展进步中(如提高机架转数、采用双源或回顾性门控及多扇区扫描等技术),但目前仍无法完全消除高心率患者的图像伪影,同时辐射剂量问题也限制了其应用[2-4]。目前 256 排宽体 CT 16 cm 的 Z 轴覆盖范围及 0.28 s 的机架旋转速度可实现 1 次扫描获得单个心动周期的全部数据,同时冠状动脉追踪冻结技术(snapshot freeze, SSF)可以减小冠状动脉的运动伪影[5]。本研究旨在探讨宽体探测器智能心电门控技术对不控制心率受试者行 CCTA 的可行性,并分析其图像质量、可判读性及成功率。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2016 年 3 月—6 月在我院因疑似冠心病接受 CCTA 检查的患者 200 例,其中男 116 例、女 84 例,年龄 39～82 岁,平均(59.2±9.4)岁。所有入选病例均排除中度以上肾功能不全[eGFR＜60 ml/(min·1.73 m^2)]、严重器官功能衰竭、含碘对比剂禁忌证、硝酸甘油禁忌证、肥胖[体质量指数(body mass index, BMI)＞30 kg/m^2]、冠状动脉搭桥术后以及其他导致扫描失败的因素。根据扫描时实时心率分成 4 组,A 组(心率≤69 次/分)、B 组(心率 70～80 次/分)、C 组(心率 81～90 次/分)、D 组(心率≥91 次/分),每组 50 例。本研究经伦理委员会批准,所有患者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 扫描前患者禁食 4～8 h,无需服用降心率药物;为提高血管远段及分支显示率,扫描前 5 min常规服用硝酸甘油 0.5 mg,并进行呼吸屏气训练。

采用 GE Revolution 256 排宽体 CT 扫描机,扫描范围由气管分叉下 1 cm 至心底,全部数据在 1 个心动周期内采集完成(如果患者心律严重不齐时可在 1 个心动周期后,间隔 1～2 个心动周期采集),扫描方式为前瞻性心电门控轴向扫描,曝光时不移动扫描床。探测器覆盖范围根据心影大小可选择 12 cm、14 cm 或 16 cm,重组层厚、间隔均选择 0.625 mm,迭代重组权重 ASiR-V 为 50%,重组矩阵 512×512,重建算法选择标准算法。管电压和管电流均根据患者体型大小采用自动调制技术,管电压调节范围包括 80、100、120 kV,管电流调节范围为 200～600 mA。预计噪声指数 24,机架旋转 1 周时间为 0.28 s。使用双筒高压注射器,经肘前静脉注射非离子型对比剂碘普罗胺(370 mgI/ml),对比剂用量＝体质量(kg)×0.9＋12 ml,注射流率 4.0～5.5 ml/s,随后以相同的流率追加生理盐水 20 ml 冲洗。采用对比剂智能触发技术,ROI 位于气管分叉层面的升主动脉内,CT 值达到 60 HU后延时 9.9 s 启动扫描。

根据宽体探测器智能心电门控(Auto-ECG-gating)技术自动判断心率及心律情况,并根据不同心率和心律自动推荐合适的曝光时相及是否开启冠状动脉 SSF 技术。对于心率≤69 次/分的患者,曝光期相推荐 75%R-R 间期;心率为 70～80 次/分,曝光时间窗推荐 40%～55%和 70%～80%R-R 间期;心率为 81～90 次/分,曝光时间窗推荐 40%～50%R-R 间期;心率≥91 次/分,曝光时间窗选择 40%～55%和 70%～80%R-R 间期。对于心律严重不齐患者,为保证检查成功率,在第 1 次扫描后间隔 1～2 个心动周期再重复扫描。记录并计算其有效辐射剂量(effective radiation dose, ED)。

1.3 图像后处理和质量评价

1.3.1 图像后处理 扫描后所有数据传至 GE Advantage Workstation 4.6 工作站,利用自动冠状动脉分析软件进行图像后处理,包括 VR、MIP、曲面重建及 MPR 等,并参考原始横断面图像对每一支血管进行分析。对于扫描自动开启 SSF 的图像,选择冻结后重建图像进行分析。

1.3.2 图像质量主观评价 依据美国心脏协会冠状动脉改良分段方法[6],将冠状动脉分为 15 个节段,评分主要基于右冠状动脉(right coronary artery, RCA)

近、中、远段，左前降支（left anterior descending branch，LAD）近、中、远段及回旋支（left circumflex branch，LCX）近、远段。所有图像由 2 名有 5 年以上工作经验的心血管专业的放射诊断医师采取独立盲法评价，不一致时协商确定，不排除非运动伪影所引起的管径纤细、对比剂充盈不佳、钙化遮蔽以及支架等。图像质量评分标准采用 likert 分级 4 分法[7]：4 分，图像质量优良，血管壁边缘光整，无阶梯伪影或血管中断；3 分，图像质量欠佳，血管壁边缘欠光整，或有轻度错层伪影，但不影响血管评价；2 分，图像质略差，血管壁边缘模糊，有轻度错层伪影，但能满足诊断；1 分，血管显示不清，或有严重阶梯状伪影，不能用于诊断。图像质量主观评分≥2 分为可诊断图像。分别对所评估患者的每支血管、每个节段进行评分并取平均值，可诊断率＝可诊断例数/总例数×100％。血管水平评分以节段中的最低分、患者水平评分以血管水平的最低分计算。

1.4 统计学分析　采用 SPSS 20.0 统计分析软件。4 组间性别和可诊断率比较采用 χ^2 检验，年龄、BMI、心率和 ED 的比较采用单因素方差分析；各组图像的主观评分比较采用等级资料的多个独立样本 *Kruslal-wallis H* 检验。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

所有患者平均心率为（81.0±15.7）次/秒，最高心率为 122 次/秒。4 组患者年龄、性别、BMI 差异均无统计学意义（P 均＞0.05），心率、ED 差异有统计学意义（P 均＜0.05，表 1）。

2.1 图像质量主观评分　不同心率组图像质量主观评分在冠状动脉分支水平、节段水平，差异均有统计学意义（P 均＜0.05，表 2）。B 组（中等心率）的 RCA 及 LCX 图像质量评分最低（图 1）。

2.2 图像质量的可诊断率　200 例患者中共分析了 600 支血管，2 575个节段，其中 A 组 639 个节段、B 组 641 个节段、C 组 650 个节段、D 组 645 个节段，各组图像基于节段水平、血管水平和患者水平的可诊断率差异均无统计学意义（P 均＞0.05，表 3）。

3 讨论

CCTA 已成为冠心病的重要筛查手段。高心率患者图像运动伪影较大，其解决的关键是从硬件水平和软件水平提高时间分辨率。以往研究[8]报道，双源 CT 大螺距前门控扫描可以一定程度上改善高心率冠状动脉运动伪影，但受时间分辨率限制，无法实现心率＞100 次/秒及心律不齐患者的 CCTA。相比双源 CT 75 ms 时间分辨率的优势，宽体 CT（如 320 排 CT）16 cm宽的探测器可以在 1 个心动周期内覆盖全心脏，避免了双源 CT 多扇区扫描中心率不一致及不同心动周期的影响，但传统宽体 CT 时间分辨率有限，且对心率有一定的要求。Revolution CT 不仅具有 16 cm 宽探

表 1　4 组一般资料和 ED 比较（$\overline{x}\pm s$）

组别	心率（次/分）	年龄（岁）	男/女（例）	BMI（kg/m²）	ED（mSv）
A 组	62.16±5.21	57.9±8.6	28/22	24.00±3.37	1.05±0.48
B 组	74.8±3.08	58.2±9.8	32/18	24.67±3.21	2.41±1.20
C 组	85.52±2.79	61.7±7.3	27/23	24.27±3.54	1.27±0.55
D 组	101.66±9.75	58.9±11.2	29/21	24.47±3.15	2.66±1.12
F 值/χ^2 值	401.92	1.66	1.15	0.37	29.22
P 值	＜0.001	0.177	0.765	0.774	＜0.001

表 2　4 组患者图像质量主观评分结果（分，$\overline{x}\pm s$）

组别	RCA	LAD	LCX	冠状动脉节段
A 组	3.84±0.36	3.81±036	3.72±0.43	3.91±0.27
B 组	2.79±0.71	3.28±0.64	2.70±0.80	3.17±0.63
C 组	3.08±0.63	3.25±0.61	2.93±0.52	3.46±0.58
D 组	2.96±0.71	2.93±0.52	2.75±0.70	3.29±0.62
χ^2 值	50.41	67.10	62.55	228.67
P 值	＜0.001	＜0.001	＜0.001	0.005

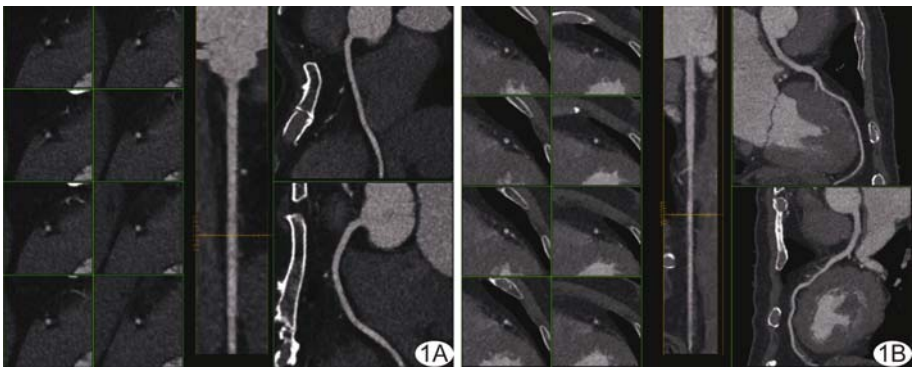

图 1　患者男，68 岁，心率 78 次/分，单心动周期双期相成像，45％RCA SSF 图像（A）和 75％LAD SSF 图像（B），图像质量好，主观评分均为 4 分

表 3 4 组冠状动脉图像可诊断率比较[%(例)]

组别	节段水平	患者水平	血管水平		
			RCA	LAD	LCX
A 组	100(639/639)	100(50/50)	100(50/50)	100(50/50)	100(50/50)
B 组	97.98(628/641)	90.00(45/50)	92.00(46/50)	98.00(49/50)	90.00(45/50)
C 组	99.54(647/650)	96.00(48/50)	98.00(49/50)	100(50/50)	98.00(49/50)
D 组	97.83(631/645)	90.00(45/50)	94.00(47/50)	100(50/50)	90.00(45/50)
χ^2 值	0.12	0.20	0.11	0.01	0.23
P 值	0.99	0.97	0.99	1.00	0.97

测器,机架旋转速度达到 0.28 s,结合 SSF 技术使得有效时间分辨率达 29 ms,同时配备了智能心电门控技术,扫描方式为前瞻性心电门控轴位扫描,根据同步心电 R-R 间期变化,软件自动推荐最佳扫描时相,进一步消除了中、高心率(心率≥70 次/分)下图像的运动伪影,提高了高心率患者图像质量。SSF 技术是使用 1 个心动周期内相邻期相的图像信息来描绘血管运动,包括运动路径和方向,以确定靶期相中血管的准确位置,从而有效地缩减重建的时间窗,在保证图像质量的前提下,降低辐射剂量[5]。

本研究所有受试者均未服用药物控制心率,平均心率为(81.0±15.7)次/秒,最高心率为 122 次/秒。本研究采用智能门控及 SSF 运动伪影校正技术,图像质量得到有效改善。本研究 4 组节段水平可诊断率分别为 100%,97.98%,99.54% 和 97.83%,与谭四平等[9]研究结果比较,在中高心率组(B～D 组)图像可诊断率有所提高。本研究中,中等心率组(B 组)、高心率组(C、D 组)仍有约 3%的冠状动脉节段冻结后存在运动伪影不能诊断,主要累及节段为 RCA 中段及 LCX 近段,其中 5 个冠状动脉节段为管径纤细、4 个节段为走行纡曲、6 个节段为右心内存在对比剂伪影、4 个节段为变异心率＞10 次/分。本组数据表明,随着心率增快、变异性增大,图像质量降低,特别是中等心率(70～80 次/分)为冠状动脉检查的困难心率,其合适的曝光时相落在收缩期或舒张期的概率不等,图像质量良好的概率相对降低。通常,低心率时 75%相位图像质量良好,高心率时 45%相位图像质量较好,而中等心率所处最佳时相概率不等,双期相成像可以实现图像质量互补,256 排宽体 CT 单心动周期轴位扫描中,可以同时实现 45%及 75%左右的相位内分别曝光,得到收缩期及舒张末期图像。本研究 B 组中 RCA 主观评分为(2.79±0.71)分,LCX 为(2.70±0.80)分,可诊断率分别为 92.00%及 90.00%,故对于心率 70～80 次/分的患者,256 排宽体 CT 可以得到满意的图像,而不需要全时相曝光,从而减少患者的辐射剂量。

目前中、高心率患者 CCTA 主要采取回顾性心电门控,但小螺距的重叠扫描导致较高的辐射剂量[10]。由于本研究中扫描方式为前瞻性心电门控轴扫,数据采集在单个心动周期之内,故 ED 均为 3 mSv 左右,明显低于以往研究,如孙啸天等[11]研究中双源 CTA 为(6.90±1.18) mSv 及舒震宇等[12]研究中 320 排 CTA 为(10.88±2.89)mSv。其中 B、D 组因采用双期相采集较多,故其 ED 略高于其他组。

本研究的局限性:①未与 DSA 进行对照,诊断准确率未进一步证实;②部分 RCA 及 LCX 近、中段评分为 1 分的图像在双期及 SSF 基础上仍未得到改善,原因有待大样本数据进一步研究;③样本量相对较少,还需加大样本量以检验结果的可靠性;④未对心率变异下成像期相情况所引起图像质量进行分析。

总之,本研究显示 256 排宽体 CT 智能心电门控技术对不控制心率患者均可实现单次心动周期冠状动脉扫描,具有很好的检查成功率,且图像质量可诊断率提高的同时降低了辐射剂量。

[参考文献]

[1] 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. Radiology, 2006,241(2):378-385.

[2] 陈文静,刘文亚,王海涛,等.心率、扇区重组、时相重建对 64 层螺旋 CT 冠状动脉成像质量的影响.中国医学影像技术,2008,24(5):785-788.

[3] 孙明利,吕滨,吴润泽,等.双源 CT 前瞻性心电门控对较高心率患者冠状动脉成像的准确性研究.中华放射学杂志,2011,45(5):436-440.

[4] Halliburton SS, Stillman AE, Flohr T, et al. Do segmented reconstruction algorithms for cardiac multi-slice computed tomography improve image quality? Herz, 2003,28(1):20-31.

[5] Fan L, Zhang J, Xu D, et al. CTCA image quality improvement by using snapshot freeze technique under prospective and retrospective electrocardiographic gating. J Comput Assist Tomogr, 2015,39(2):202-206.

[6] Wong DT, Soh SY, Ko BS, et al. Superior CT coronary angiography image quality at lower radiation exposure with second Generation 320-detector row CT in patients with elevated heart rate: A comparison with first Generation 320-detector row CT. Cardiovasc Diagn Ther, 2014,4(4):299-306.

[7] Leipsic J, Labounty TM, Hague CJ, et al. Effect of a novel vendor-specific motion-correction algorithm on image quality and diagnostic accuracy in persons undergoing coronary CT angiography without rate-control medications. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2012,6(3):164-171.

[8] 孙凯,韩瑞娟,马利军,等.大螺距双源 CT 前瞻性心电门控冠状动脉成像在高心率患者中的应用.中华临床医师杂志(电子版),2011,5(17):4962-4967.

[9] 谭四平,沈比先,薛水培,等.Flex Padding 技术在高心率患者前瞻性冠状动脉 CTA 中的应用研究.临床放射学杂志,2013,32(11):1650-1654.

[10] Lell M, Marwan M, Schepis T, et al. Prospectively ECG-triggered high-pitch spiral acquisition for coronary CT angiography using dual source CT: Technique and initial experience. Eur Radiol, 2009,19(11):2576-2583.

[11] 孙啸天,陈艳,余建明,等.不同螺距双源 CT 冠状动脉成像的图像质量与辐射剂量的对比研究.临床放射学杂志,2014,33(2):285-288.

[12] 舒震宇,王振,丁忠祥,等.高心率患者 640 层 CT 冠状动脉成像窄窗技术可行性研究及其对辐射剂量的影响.医学研究杂志,2013,42(6):183-187.

《介入性磁共振成像》已出版

由德国托马斯·卡恩和哈拉尔德·巴斯主编、解放军总医院肖越勇教授主译的《介入性磁共振成像》已出版。本书内容涵盖了介入性磁共振成像的各个方面:从成像基础、概念以及成像设备和器械等成像技术方面进行了论述,包括:MRI 介入系统、脉冲序列、MRI 导航、MRI 环境下的麻醉,iMRI 安全措施等;临床应用方面涵盖了 MRI 引导的细针穿刺,以及各部位病变的 MRI 引导介入治疗,包括:MRI 引导颅脑微创治疗、MRI 引导脑肿瘤的切除、MRI 引导骨与软组织病变的介入治疗、高场强开放式 MRI 介入、乳腺 MRI 介入、MRI 引导低血流量血管畸形的栓塞治疗、MRI 引导心脏介入治疗、前列腺活检、MRI 引导复发性前列腺癌治疗等。此外,本书对现有的技术以及正在发展的新技术进行了详细论述,并展望了未来的发展趋势,提出了将要面临的挑战。

本书定价 180 元,当当网、卓越网、京东及全国各地新华书店及医学书店均有销售。

联系人:姜晓婷

电 话:022-87892596,150 2261 3568

地 址:天津市南开区白堤路 244 号,邮编:300192

网 址:www.tsttpc.com

(汇款时请注明书名、册数、联系电话、是否要发票等)