

论 著

绝对时相收缩期窄曝光窗前门控扫描降低房颤患者心脏CTA辐射剂量的研究

袁知东^{1,2} 曾建奇² 范秀松²
徐德敏² 冯 飞² 成官迅^{2,*}

1.汕头大学医学院 (广东 汕头 515041)

2.北京大学深圳医院医学影像科
(广东 深圳 518036)

【摘要】目的 探讨绝对时相收缩期窄曝光窗前门控扫描降低房颤患者心脏和冠状动脉CTA辐射剂量的可行性。方法 本研究连续纳入房颤患者132例,并按随机数表法分为两组,每组各66例。其中研究组采用绝对时相收缩期窄曝光窗(R波后220-380ms)前门控扫描;对照组采用相对时相(R-R间期35%~75%)适应性前门控扫描。两组扫描参数完全相同,扫描完成后重建出最佳时相的图像,比较两组扫描的图像质量和辐射剂量。结果 研究组和对照组患者的临床资料和图像质量评分的差异无统计学意义($P>0.05$)。研究组的CT剂量容积(CTDIvol)、剂量长度乘积(DLP)、有效剂量(ED)分别为(15.01 ± 5.62)mGy、(210.14 ± 74.63)mGy·cm、(2.95 ± 1.05)mSv,明显低于对照组的(28.43 ± 20.82)mGy、(398.02 ± 203.56)mGy·cm、(5.57 ± 2.88)mSv,两组间的差异有统计学意义(P 均 <0.05)。结论 利用双源CT对房颤患者进行心脏和冠脉成像,采用绝对时相收缩期窄曝光窗前门控扫描,可明显缩短曝光时间,在保证图像质量的同时大幅降低辐射剂量。

【关键词】绝对时相;心房颤动;CT血管成像;辐射剂量;图像质量

【中图分类号】R322.1+2

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.09.030

The Study of Reducing Cardiac CTA Radiation Dose in Patients with Atrial Fibrillation by Prospective ECG-gated Scanning in Systolic Absolute Phase with Narrow Exposure Window

YUAN Zhi-dong^{1,2}, ZENG Jian-qi², FAN Xiu-song², XU De-min², FENG Fei², CHENG Guan-xun^{2,*}.

1.Shantou University Medical College, Shantou 515041, Guangdong Province, China

2.Department of Radiology, Peking University Shenzhen Hospital, Shenzhen 518036, Guangdong Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the feasibility of reducing the radiation dose of CTA in coronary artery of patients with atrial fibrillation by prospective ECG gated scanning in systolic absolute phase with narrow exposure window.

Methods This study included 132 consecutive patients with atrial fibrillation and divided them into two groups using a random number table method, with 66 patients in each group. The research group used prospective ECG-gated scans with absolute phase contraction narrow exposure window (220-380ms after R-wave); The control group underwent adaptive prospective ECG-gated scans with a relative phase (R-R interval of 35%~75%). The scanning parameters of the two groups were identical, and the images in the best phase were reconstructed after scanning. The image quality and radiation dose of the two groups were compared.

Results There was no statistically significant difference in clinical data and image quality scores between the study group and the control group ($P>0.05$). The CT dose volume (CTDIvol), dose length product (DLP), and Effective dose (ED) of the study group were (15.01 ± 5.62) mGy, (210.14 ± 74.63) mGy·cm, and (2.95 ± 1.05) mSv, respectively, which were significantly lower than those of the control group (28.43 ± 20.82) mGy, (398.02 ± 203.56) mGy·cm, and (5.57 ± 2.88) mSv. The difference between the two groups was statistically significant ($P<0.05$). **Conclusion** The use of dual source CT for cardiac and coronary angiography in patients with atrial fibrillation, and the use of systolic absolute phase with narrow exposure window prospective ECG gated scanning, can significantly reduce radiation dose while keeping image quality constant.

Keywords: Absolute Phase; Atrial Fibrillation; CT Angiography; Radiation Dose; Image Quality

心脏冠状动脉CT血管成像(coronary CT angiography, CCTA)是一种广泛应用于心脏结构和冠状动脉疾病诊断的无创影像学检查。随着CT时间分辨率提高和探测器覆盖宽度的增加,尤其是双源CT的应用使心房颤动患者的CCTA检查成为常规^[1-2]。由于房颤患者R-R间期的差别巨大,为保证图像质量和检查成功率,CCTA通常采用小螺距回顾性心电门控全心动周期扫描或适应性前门控宽时间窗扫描,这就导致患者接受的辐射剂量大幅增加^[3]。作者回顾性分析和比较采用这两种扫描方法的房颤患者的心电波形、图像重建时相位置和图像质量,发现采用绝对时相(毫秒,ms)收缩期重建可获得理想的图像质量。本研究探讨房颤患者采用绝对时相收缩期窄曝光窗前门控扫描^[4-5]的可行性和降低患者辐射剂量的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 前瞻性纳入2022年1月至2022年12月间在北京大学深圳医院进行冠脉CTA和左房肺静脉CTV联合检查的心房颤动患者145例,其中13例被排除,本研究纳入132例,其中男性73例,女性59例;年龄35-72岁,中位年龄56岁。排除标准:碘对比剂过敏、严重心肝肾功能不全、不能配合屏气和冠状动脉搭桥术后的患者。根据随机数表法分为研究组和对照组,每组66例。患者体重指数 BMI范围为18.8~28kg/m²,平均23.4kg/m²。两组间性别、年龄、BMI差异无统计学意义($P>0.05$)。本研究经医院伦理委员会审查通过,所有患者均签署知情同意书。

1.2 研究方法 使用Siemens Somatom Definition Flash双源CT,机架转速0.28s/圈,时间分辨率75ms,准直层厚0.6mm×64×2。两组扫描参数完全相同,管电压100kVp,管电流采用自动管电流调制技术,根据定位像进行调整,参考mAs为320mAs/圈。患者仰卧于检查床上,双上肢上举伸直,心脏置于扫描野等中心位置,心电信号稳定且每个R波均能被CT机正确识别。检查前进行严格规范的呼吸训练,患者达到要求后才能开始CTA扫描。扫描范围从气管分叉下1cm至心脏膈面约12-14cm,需扫描3-4个心动周期。经右肘正中静脉置入20G的留置针,采用Medrad Stellant双筒高压注射器,对比剂为碘佛醇(350mgI/mL,江苏恒瑞),注射方案为0.075mL/kg/秒,注射时长为12秒,并以同流速追加注射生理盐水10秒。CTA扫描采用对比剂跟踪触发技术,升主动脉内CT值达到120 HU时触发延迟5秒开始CTA扫描,CTA扫描结束后仔细观察左心耳的充盈情况,有充盈缺损者延迟30秒再次扫描左心房。研究组采用绝对时相收缩期窄曝光窗(R波后220-380ms)前门控扫描;对照组采用相对时相(R-R间期30%~75%)适应性前门控扫描。所有患者均不控制心率,扫描前给予舌下含服硝酸甘油以扩张冠状动脉。

1.3 图像重建 重建层厚0.75mm;重建层间距0.5mm;平滑卷积核I26f,迭代重建

【第一作者】袁知东,男,主任技师,主要研究方向:CT血管成像。E-mail: yuanzhidong@126.com

【通讯作者】成官迅,男,主任医师,主要研究方向:心血管影像诊断。E-mail: chengguanyun@outlook.com

SAFIRE 3。两组扫描结束后机器均自动重建绝对时相(ms)的最佳收缩期图像,如图像层面内出现较明显的冠脉运动伪影或图像层面内出现错层则需要手动进行以自动最佳时相为中心前后各60ms并以20ms为步进的绝对值多时相图像重建,选择最佳时相的图像传输至Syngo.via三维后处理工作站,采用MPR、VR、MIP、CPR和截面等技术方法显示冠脉的三维图像并进行图像质量分析。

1.4 图像质量主观评价 根据美国心脏协会(American heart association, AHA)分类指南将冠状动脉分成15个节段^[6],参照Frank J等的CCTA 图像质量评价标准^[7],由2名放射科副主任医师独立对冠状动脉图像质量进行评分,评分不一致时两位医师共同商讨达成一致。评分标准如下:4分:无伪影,可明确诊断;3分:轻度伪影,对诊断无明显影响;2分:中度伪影,尚能诊断;1分:重度伪影,无法诊断。

1.5 辐射剂量的计量 从扫描结束后CT机自动生成的剂量报告中找出CTA扫描序列的CT剂量容积(CTDIvol)和剂量长度乘积(DLP),根据公式 $ED=DLP \times K$,有效剂量(ED)由DLP乘以转换系数k值(采用成人胸部, $k=0.014$)来计算得出。

表1 研究组和对照组患者的临床资料比较

		性别(例)		年龄	BMI	平均心率	心率波动
组别	例数	男	女	岁	kg/m ²	次/分	次/分
研究组	66	40	26	58.5±9.9	25.2±2.9	93±52	60±32
对照组	66	37	29	60.1±10.3	25.9±3.3	89±50	59±31
t值				0.598	0.827	1.322	1.243
P值				0.631	0.568	0.185	0.219

表3 研究组和对照组患者的辐射剂量比较

组别	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy·cm)	ED (mSv)
研究组	15.01±5.62	210.14±74.63	2.95±1.05
对照组	28.43±20.82	398.02±203.56	5.57±2.88
t值	5.83	6.14	6.27
P值	0.01	0.01	0.01

1.6 统计学处理 采用SPSS 23.0软件对所得数据进行统计学分析。正态分布计量资料以表示,应用独立样本t检验对两组基本资料(对年龄、身高、体重、BMI、平均心率、最低心率、最高心率、心率波动)和辐射剂量指标(CTDIvol、DLP、ED)进行比较,图像质量主观评分的一致性采用Kappa检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床资料分析 两组患者的年龄、BMI、平均心率、心率波动等各指标间差异均无统计学意义($P>0.05$),见表1。

2.2 图像质量分析 两组患者均顺利完成检查,两位医生对图像质量的主观评价有非常高的一致性, $Kappa=0.84$ 。两组患者的图像均能满足诊断要求,图像质量差异无统计学意义,见表2。

2.3 辐射剂量分析 研究组的CT剂量容积(CTDIvol)、剂量长度乘积(DLP)、有效剂量(ED)分别为(15.01±5.62)mGy、(210.14±74.63)mGy·cm、(2.95±1.05)mSv,明显低于对照组的(28.43±20.82)mGy、(398.02±203.56)mGy·cm、(5.57±2.88)mSv,两组间的差异有统计学意义(P 均 <0.05),见表3。

表2 研究组和对照组患者的图像质量评分比较

组别	例数	4分	3分	2分	1分	平均分
研究组	66	35	30	1	0	3.44±0.61
对照组	66	38	27	1	0	3.53±0.49
χ^2 值		5.19	5.53	0.01	0	2.58
P值		1.32	0.89	0.95	1	0.55

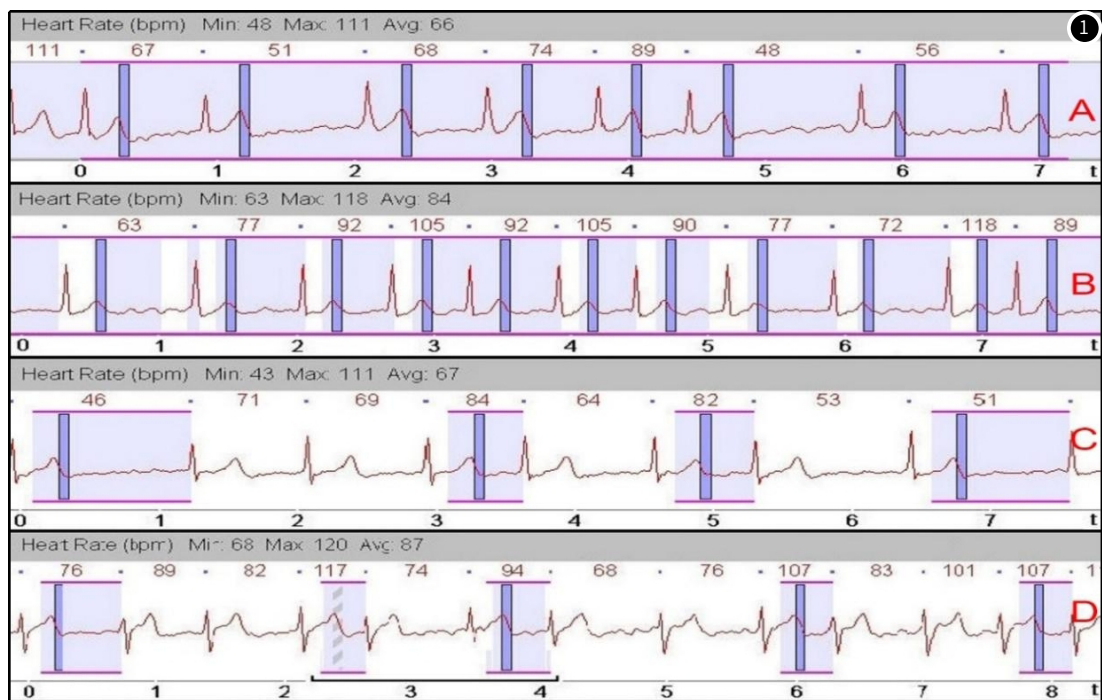


图1 双源CT心脏冠脉CCTA不同扫描模式的心电图和曝光时间窗: A为回顾性心电门控全心动周期扫描,连续不间断扫描时间长,辐射剂量非常高; B为带ECG管电流调制技术的回顾性心电门控扫描,在R-T时间窗内球管的输出为常规剂量的20%,辐射剂量有一定程度的下降; C为适应性前门控相对时相扫描,为保证图像质量CT延长了曝光时间至下一个R波; D为有重复扫描的适应性前门控相对时相扫描,CT机检测到117BPM的心动周期,并自动进行了重复扫描。图中四种模式均显示房颤患者的图像重建窗在R波后的绝对时间非常一致。

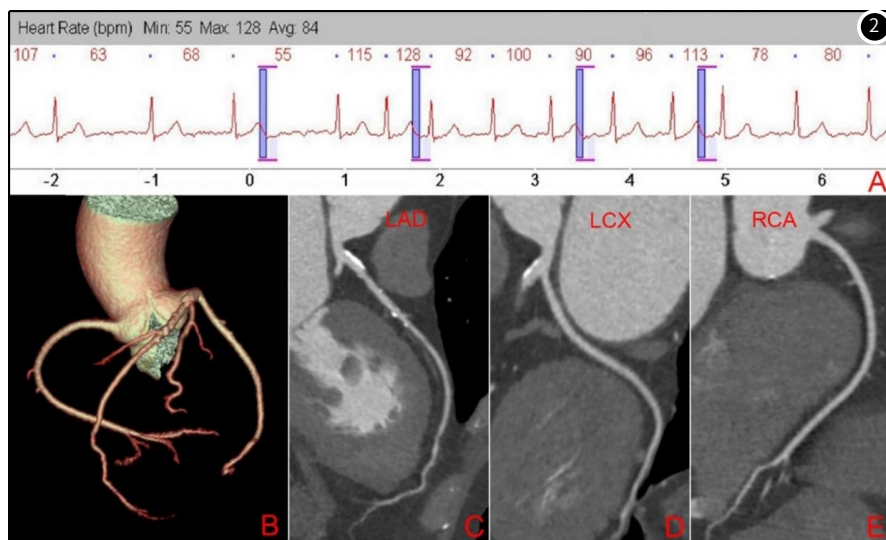


图2 房颤患者采用绝对时相收缩期窄曝光窗前门控扫描的心电图和图像质量。A为扫描心电图和图像重建窗的位置，该患者的心率波动超过最慢心率的一倍多(55~128BMP)，但图像重建窗位于R波后的绝对时间依然保持恒定。B为VR冠状血管树，C、D、E分别是LAD、LCX、RCA的CPR图像，图像质量评级为优。

3 讨论

随着CT技术的快速发展和临床经验的不断积累，心房颤动患者的CCTA检查已经成为临床常规，CCTA可以一站式解决临床医生关注的房颤患者有无冠状动脉病变、心脏和肺静脉结构异常、左心耳血栓^[8-9]等核心问题而在临床上广泛使用。由于房颤患者心率变化极大且无任何规律，双源CT的回顾性心电门控扫描模式^[10]通常采用小螺距全心动周期曝光(图1A)，扫描时间长采集数据多，可进行回顾性的多时相重建和心电编辑，在一定程度上保证图像质量和检查成功率，但患者接受的辐射剂量可能增加数倍。适应性前门控相对时相扫描模式^[11]通常采用宽时间窗扫描，并根据心率变化情况延长曝光时间至下一个R波(图1C)，对于超过一定范围的快心率CT会对同一位置自动进行一次重复扫描(图1D)，这就导致曝光时间明显延长，患者接受的辐射剂量大幅度增加但仍会明显低于回顾性心电门控扫描模式。作者通过查阅文献^[12-13]、回顾性分析和比较采用这两种扫描方法的房颤患者的心电波形、图像重建时相位置(图1A-图1D)和图像质量，发现采用绝对时相(ms)收缩期重建可获得理想的图像质量。

有研究^[14]和大量的临床病例证实，心率低于65bpm患者的最佳图像质量重建窗一般在舒张中晚期，心率大于80bpm的最佳图像质量重建窗一般在收缩末期，心率在65~80bpm之间的最佳图像质量重建窗可能在收缩末期或者在舒张中晚期。随着心率的增快，心脏收缩期与舒张期呈现非比例性缩短，收缩期时长保持相对恒定而舒张期时长缩短明显^[15]。从心电图上看，P波是心房除极的信号，R波是心室除极的信号，T波是心室复极的信号，心脏完整的收缩过程是非常恒定的。通常一个完整的心室收缩过程所需时间(R-T间期)大约为300ms且相对固定，随着心率改变略有变化但大都在240~360ms之间且明显小于因代偿间歇所致舒张期的时间变化幅度。房颤患者的心脏搏动也符合这些特点，尽管心率变化很大，R-R间期的时间也差异巨大，即使患者的心率波动超过最慢心率的一倍多但完整的心室收缩过程(R-T间期)依然保持恒定(图2，心率55~128bpm)，最佳时相重建窗的位置位于前一个R波后的时间几乎完全一致，均位于T波波峰后的很短时间范围内，这正是房颤患者采用绝对时相收缩期窄曝光窗前门控扫描的心电生理基础。采用绝对时相窄曝光窗曝光时，曝光时间窗很短在心率出现变化时往往曝光就已经结束，因此不会随着心率的变化而进行曝光补偿，降低了患者的辐射剂量。

本研究通过比较房颤患者行冠状动脉CTA时采用绝对时相收缩期窄曝光窗前门控扫描(R波后220~380ms)和相对时相适应性前门控扫描(R-R间期30%~75%)两种方法的辐射剂量和图像质量发现，两种方法的图像质量几乎相同(表2)，但绝对时相收缩期窄曝光窗前门控扫描的辐射剂量却较相对时相适应性前门控扫描的下降了47%(表3)。CCTA的辐射主要取决于曝光窗的宽度，曝光窗

越宽扫描时间就越长，可以重建的时相就会越多，同时患者所接受的辐射剂量也会越高。绝对时相收缩期窄曝光窗前门控扫描大幅缩短了曝光时间，患者接受的辐射剂量明显下降，增加了检查的安全性。这也充分说明房颤患者行冠状动脉CTA时采用绝对时相收缩期窄曝光窗前门控扫描的可行性和必要性。

总之，使用第二代双源CT对房颤患者进行CCTA扫描时，采用绝对时相收缩期窄曝光窗前门控扫描可保证图像质量并大幅降低辐射剂量，值得在临床上推广使用。

参考文献

- [1] Mushtaq S, Conte E, Melotfi E, et al. Coronary CT angiography in challenging patients: high heart rate and atrial fibrillation. A review[J]. Acad Radiol, 2019, 26(11): 1544-1549.
- [2] Zhao C, Jiang M, Liu J, et al. Feasibility of low-dose coronary computed tomographic angiography used in atrial fibrillation patients[J]. Acta Cardiol, 2017, 72(3): 292-298.
- [3] Meyer M, Haubenreisser H, Schoepf UJ, et al. Radiation dose levels of retrospectively ECG-gated coronary CT angiography using 70-kVp tube voltage in patients with high or irregular heart rates[J]. Acad Radiol, 2017, 24(1) 30-37.
- [4] 莫理达, 彭志毅, 王世威, 等. 绝对时相收缩期采集在心律不齐患者冠状动脉CTA检查中的初步研究[J]. 临床放射学杂志, 2019, 38(9): 1769-1772.
- [5] Xu L, Yang L, Fan ZM, et al. Absolute phase acquisition versus relative phase acquisition for dual source CT coronary angiography in patients with atrial fibrillation[J]. J Cardiovascular Pulmonary Dis, 2014, 33(1): 84-88.
- [6] Austen WG, Edwards JE, Erye RL, et al. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease[M]. Report of the Ad Hoc Committee for Grading of Coronary Artery Disease, Council on Cardiovascular Surgery, American Heart Association Circulation, 1975: 5-40.
- [7] Frank J, Rybicki J, Hansel J, et al. Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2008, 24(5): 535-546.
- [8] 段利科, 张周龙. 多层螺旋CT与超声心动图诊断房颤患者左心耳血栓的临床价值比较[J]. 中国CT和MRI杂志, 2019, 17(4): 59-61, 119.
- [9] 袁知东, 石桥, 冯飞, 等. 256排CT冠状动脉成像延迟扫描诊断房颤患者左心耳血栓的价值. 中国CT和MRI杂志[J], 2019, 17(8): 42-44.
- [10] 沈衍富, 殷磊, 郑小梅, 等. 回顾性心电编辑在心律不齐患者双源CT冠状动脉成像中的应用[J]. 中国医学科学院学报, 2010, 32(6): 671-676.
- [11] 王小琴, 钱农, 潘昌杰, 等. 双源CT非心率控制自适应前门控序列扫描冠状动脉成像[J]. 中国医学影像技术, 2012, 28(10): 1910-1913.
- [12] 徐磊, 杨琳, 范占明, 等. 绝对时相收缩期采集降低心房颤动患者冠状动脉CT成像辐射剂量的研究[J]. 心肺血管病杂志, 2014, 33(1): 84-88.
- [13] Mo LD, Peng ZY, Wang SW, et al. Initial study of absolute phasic systolic acquisition in coronary CTA examination in patients with arrhythmia[J]. J Clin Radiol, 2019, 38(9): 1769-1772.
- [14] Weustink AC, Mollet NR, Pugliese F, et al. Optimal electrocardiographic pulsing windows and heart rate: effect on image quality and radiation exposure at dual-source coronary CT angiography[J]. Radiology, 2008, 248: 792-798.
- [15] Husmann L, Leschka S, Desbiolles L, et al. Coronary artery motion and cardiac phase: dependency on heart rate: implications for CT image reconstruction[J]. Radiology, 2007, 245: 567-576.

(收稿日期: 2023-04-15)

(校对编辑: 谢诗婷)