

论 著

# 自适应前瞻心电门控窄时相曝光在心功能不全伴心律不齐冠脉CTA中可行性研究\*

刘 整 王宇航\* 马小静  
郭生鹏 库雷志 王 杰

武汉科技大学附属武汉亚洲心脏病医院  
放射科/武汉市心血管影像临床医学研究  
中心(湖北 武汉430000)

**【摘要】目的** 研究探讨冠状动脉CT血管成像在心功能不全伴心律失常患者中如何获得最佳图像质量及低辐射剂量为研究目的。**方法** 收集我科2021至2022年心功能在II~IV级伴心律不齐、年龄范围在30~80岁、BMI范围在18.2~28.3、心率45~156次/min的69例患者。实验组45例,采用自适应前瞻性心电门控窄时相曝光扫描。对照组24例,采用常规回顾性心电门控扫描,对两组数据进行主观评价,图像质量可解读性由两位有经验医师应用冠状动脉18分段法对每支冠状动脉和节段血管进行评分;评分采用5分制,图像评分 $\geq 2$ 分为可解读分析,同时测量血管CT值、信噪比(SNR),采取独立样本t检验比较两组患者的剂量长度乘积(DLP)和图像评分,采用 $\chi^2$ 检验两组间的差异。**结果** 两组的图像CT值、信噪比(SNR)、有效辐射剂量(ED) $P=0.002 < 0.05$ 、主观评价冠脉图像评分存在差异,  $\chi^2=66.415$ ,  $P=0.002 < 0.05$ 均有统计学意义( $P < 0.05$ ); 年龄、BMI及平均心率两组间差异,  $P=0.165 > 0.05$ 无统计学意义( $P > 0.05$ ); 实验组较对照组主观评价分段评分均值提高约0.74分、有效辐射剂量(ED)约降低了70.03%。**结论** 左心功能不全伴心律失常患者采用自适应前瞻心电门控窄时相曝光技术,能提高图像质量还能降低辐射剂量,具有重要临床应用价值。

**【关键词】** 心功能不全; 心律不齐;  
前瞻性心电门控; 回顾性心电门控;  
冠状动脉CTA; 辐射剂量

**【中图分类号】** R541.7+3

**【文献标识码】** A

**【基金项目】** 湖北省武汉市科技局项目  
(2019020701011422);  
武汉市心血管影像临床医学研究中心  
开放基金(CMRC202311)

**DOI:**10.3969/j.issn.1672-5131.2025.11.025

# Adaptive Prospective ECG Gated Narrow Phase Feasibility Study in Cardiac Insufficiency with Arrhythmia Coronary CTA\*

LIU Zheng, WANG Yu-hang\*, MA Xiao-jing, GUO Sheng-peng, KU Lei-zhi, WANG Jie.

Department of Radiology, Wuhan Asia Heart Hospital, Wuhan University of Science and Technology / Wuhan Clinical Medical Research Center for Cardiovascular Imaging, Wuhan 430000, Hubei Province, China

## ABSTRACT

**Objective** To study how to obtain the best image quality of coronary CT vascular imaging and low radiation measurement in patients with cardiac insufficiency and arrhythmia. **Methods** 69 patients with cardiac function in 2021 to 2022, age range 30-80 years, BMI range 18.2 to 28.3, and heart rate 45-156 beats / min in 2022. Experimental group of 45 patients, using an adaptive prospective ECG-gated narrow time-phase exposure scan. In the control group of 24 patients, the data were evaluated subjectively. The interpretation of image quality was scored by two experienced physicians using coronary artery 18 segment method; using 5-point system for image score, measuring CT value and signal to noise ratio (SNR). Independent sample t-test was used to compare dose length product (DLP) and image score, and the difference between the two groups was tested by  $\chi^2$ . **Results** The CT value, signal-to-noise ratio (SNR), effective radiation dose (ED)  $P=0.002 < 0.05$ ,  $\chi^2=66.415$ ,  $P=0.002 < 0.05$  ( $P < 0.05$ ); age, BMI and mean heart rate,  $P=0.165 > 0.05 > 0.05$  ( $P > 0.05$ ); the mean score increased by 0.74 points compared with the control group, and the effective radiation dose (ED) decreased by 70.03%. **Conclusion** Improving image quality and reducing radiometry can be of important clinical application value.

**Keywords:** Cardiac Insufficiency; Arrhythmia; Prospective ECG gating; Retrospective ECG Gating; Coronary CTA; Radiation Dose

左心功能不全伴心律失常患者由于心脏运动节律发生异常变化,冠状动脉CTA扫描受到严重挑战<sup>[1]</sup>,常规会使用回顾性心电门控扫描,当心电图出现差异较大的心电数据时会自动降低螺距(Pitch),导致辐射剂量增加;左心功能不全伴心律失常的患者心脏收缩功能减退、运动幅度减低,相对正常心功能运动幅度的心脏更容易些。然而心律不齐患者采用回顾性心电门控时,心率连续采集,使得图像错层、模糊、不连续,即使经过心电图编辑、绝对值重建能获得满足诊断的图像但是工作效率降低且辐射剂量高<sup>[2]</sup>;而前瞻性心电门控窄曝光技术是预判扫描前的3个心动周期的心率数据来确定扫描时所选择的同步心率<sup>[3]</sup>,会自动跳过差异较大的心动周期数据,采集相对接近的心率数据,然后拼接成完整的冠脉,图像连续性好,且辐射剂量低<sup>[4-5]</sup>;研究两种扫描模式是否能得到优质的图像且辐射剂量低为目的,探讨其可行性和临床价值。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 收集分析我院2021年至2022年行冠脉CTA的患者69例。其中为实验组45(66%)例进行自适应前瞻性心电门控窄时相曝光扫描(adaptation to prospective ECG gating),对照组24(34%)例进行回顾性心电门控扫描(retrospective ECG gating control)。检查前均签署CT增强检查知情同意书,本文经武汉亚洲心脏病医院伦理委员会审核通过。

纳入标准:超声心动图心功能EF值 $\leq 50\%$ ,心胸比 $\geq 0.52$ 、心率范围在45-156次/min,排除标准:具有严重碘过敏史、严重甲亢病史、严重肾功能不全、冠状动脉搭桥或起搏器植入术后患者。

**1.2 检查方法** 冠状动脉CTA检查采用二代双源CT机德国SIEMENS SOMATOM Definition,均采用CARE Dose 4D自动调节管电流,有效管电流范围230~350mAs,管电压:100~120KV,准直器宽度64mm $\times$ 0.625mm。扫描范围自气管隆突下1cm处至膈面下1.5cm。冠状动脉成像扫描采用主动脉根部感兴趣区域CT值激发模式(Bolus Tracking),感兴趣区CT值达到120Hu时,延迟4s启动冠状动脉扫描。对比剂选用欧乃派克碘海醇(上海通用有限公司)320mg/mL,注射速度4.4~4.7mL/s,注射总量40~60mL。受检者扫描时须屏气,扫描时间约8~12s,扫描方案为回顾性心电门控和自适应前瞻性心电门控进窄时相曝光行冠脉CTA采集,实验组45例患者均存在心律不齐,扫描调节曝光区(ECG-gating window)为40%~50%,确保依据相对静止点收缩末期采集进行图像重建,其中回顾性心电门控扫描完毕以后需进行心电图编辑,再进行最佳时像或时间绝对值重建;前瞻性心电门控窄时相曝光扫描完毕以后进行最佳时相或最佳绝对值重建图;重建后的数据为原始数据横轴位影像,传输至影像后处理工作站(EBW),采用容积再现(VR)、最大密度投影(MIP)、曲面重组(CPR)进行后处理和读片诊断。

**1.3 图像分析评估** 根据美国心脏协会AHA分类方法将冠状动脉分为18段,评价所有直

**【第一作者】** 刘 整,男,主管技师,主要研究方向:医学影像技术。E-mail: 403896799@qq.com

**【通讯作者】** 王宇航,男,主管技师,主要研究方向:医学影像技术。E-mail: 1486617927@qq.com

径≥1.5mm的冠状动脉节段。客观评价由两位高年资放射科医师独立以双盲法对冠脉图像质量总共对1206个节段进行评价。评价标准：5分为无伪影，图像质量优；4分为轻度伪影，仅主干的1/5段轻微模糊；3分为中等伪影，某一支冠状动脉主干的1/2以上模糊；2分为严重伪影，某一支冠状动脉主干均模糊不清或不连续；1分为冠状动脉主干不能识别，不能用于诊断<sup>[6-7]</sup>。

**1.4 辐射剂量评估** 本次研究辐射剂量仅包括CTCA的辐射剂量不包括定位像、触发扫描(bolus tracking)的辐射剂量,通过CT机自动计算出容积CT剂量指数(CTDI vol)和剂量长度乘积(DLP)评估CT剂量长度乘积指数DLP值,用DLP×k算出有效剂量ED(mSv),其中的k(mSv·mGy<sup>-1</sup>·cm<sup>-1</sup>)与受检者身体的不同部位有关,不同部位的转换系数k值参见欧盟委员会(CEC)关于CT的质量标准指南,在冠状动脉扫描时k值为0.014mSv·mGy<sup>-1</sup>·cm<sup>-1</sup><sup>[8]</sup>。

**1.5 统计学处理** 采用SPSS 26.0软件,计量资料用(均数±标准差)表示,定性资料用频数或百分比表示,通过正态性检验,服从正态分布的两组数据用独立样本t检验,多组间变量比较采用单因素方差分析。不服从正态分布的两组数据用Mann-Whitney检验,多组间变量比较采用非参数Kruskal-Wallis检验方法。计数资料采用Pearson卡方检验或者Fisher确切概率法。P<0.05为差异有

统计学意义。

**2 结果**

**2.1 基本资料** 实验组 45 例, 共计810个血管节段, 均能满足临床诊断要求, 可评价率为98.5%; 对照组 24 例患者共计396血管节段, 其中有两例患者采集为室性早搏难以重建为错层图像, 剩余患者的图像质量均满足, 可评价率为87.6%。所有患者年龄、身体质量指数(Body Mass Index, BMI)、平均心率对两组数据做正态性分析, 数据不服从正态分布, 因此用Mann-Whitney检验分析。如表1所示, 由统计分析结果可知, 两组在年龄、BMI、平均心率之间无显著差异P>0.05。

**2.2 两组患者血管指标客观评价比较** 如表2、表3所示, 图像客观评价比较, 对两组数据做正态性分析, CT值(HU)、信噪比(SNR)、CTD、DLP、有效辐射剂量ED数据均优于对照组, 数据服从正态分布(normal distribution) $z=(x-\mu)/\sigma$ 。均存在显著差异P<0.05。

**2.3 组图像总节段数主观评价** 图像主观评价比较, 实验组可评价节段率为98.5%、平均分为4.13, 对照组可评价率为87.6%、平均分为3.397, 详见表4。两组平均分比较之间差异均有明显统计学意义  $\chi^2=66.415, P=0.002<0.05$ 。

表1 2组患者一般资料比较

一般资料	实验组	对照组	z/t值	P值
年龄(岁)	61.000 (50.500,68.000)	66.000 (52.000,73.750)	-1.557	0.119
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	22.356±2.604	23.458±2.245	-1.755	0.084
平均心率(次/min)	85.25±22.1	82.7±27.5	-1.325	0.165

注: BMI为体质质量指数。

表2 两组患者血管指标客观评价比较

血管指标	对照组	实验组	z值	P值
RCA				
CT值(HU)	256.12±35.65	352.12±56.5	-3.65	<0.021
SNR	23.45±4.52	29.24±3.25	-4.65	<0.015
LAD				
CT值(HU)	246.52±25.3	332.35±34.6	-3.32	<0.023
SNR	24.54±3.54	30.25±4.25	-4.25	<0.025
LCX				
CT值(HU)	242.25±22.4	340.25±33.2	-3.82	<0.018
SNR	23.24±4.21	31.25±3.85	-4.45	<0.012
AO				
CT值(HU)	256.25±18.65	321.25±12.58	-3.12	<0.022
SNR	22.45±3.52	29.32±2.56	-3.98	<0.032
LMA				
CT值(HU)	241.52±21.23	325.85±13.65	-3.52	<0.05
SNR	24.3±1.52	31.2±2.2	-4.15	<0.005

表3 2组患者辐射剂量比较

参数	实验组	对照组	z值	P值
CTDIvol(mGy)	21.25±1.2	49.52±1.6	-5.129	0.013
DLP(mGy.cm)	158.52±74.154	530.32±53.56	-5.820	0.005
ED(mSv)	2.2±1.036	7.42±0.75	-6.804	0.002

注: ED为有效辐射剂量DLP×k (胸部转换系数K=0.014mSv·mGy<sup>-1</sup>·cm<sup>-1</sup>)

表4 2组图像总节段数主观评价

分组	总节段数	可评价节段率	5分	4分	3分	2分	1分	均值
实验组	810	798(98.5%)	328	330	95	45	12	4.13
对照组	396	347(87.6%)	98	102	105	42	49	3.39

注: 实验组为前瞻性心电图门控, 对照组为回顾性心电图门控, 两组均有心律不齐, 平均心率≈62-145次/min, 最高分5分, 最低分1分(无法评价)。



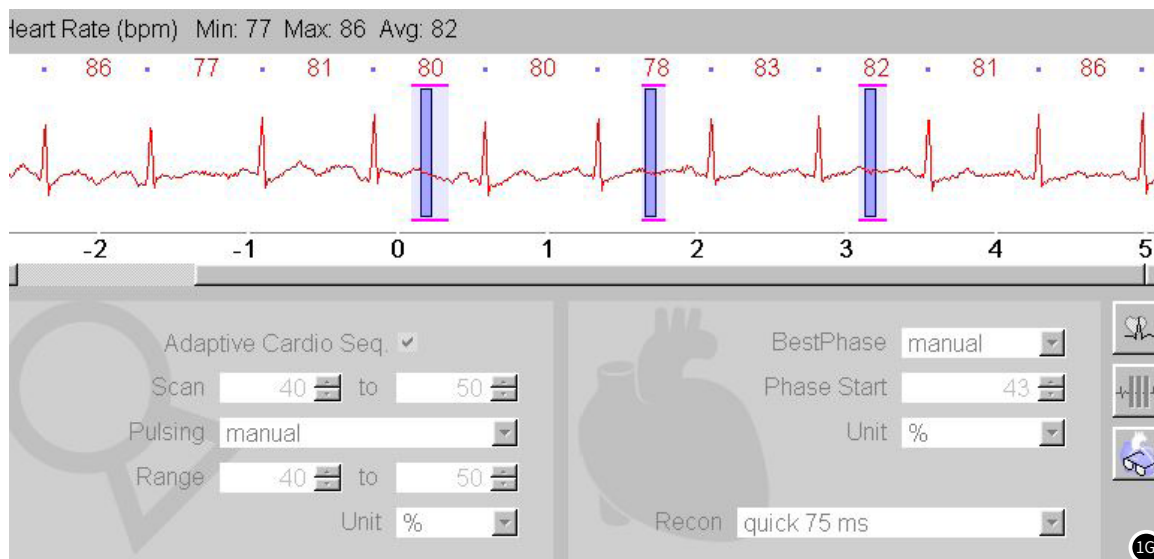


图1 患者女, 年龄55岁, 高血压、房颤、心功能III级、BMI指数 $19\text{kg}/\text{m}^2$ , 1A~1C为CPR冠脉后处理图, 血管连续性好, 无运动伪影和交叉错层。1D~1F图示为冠脉VR后处理图。有效辐射剂量(ED)为 $1.12\text{mSv}$ , 1G图为自适应前瞻性心电门控时相曝光控采集。

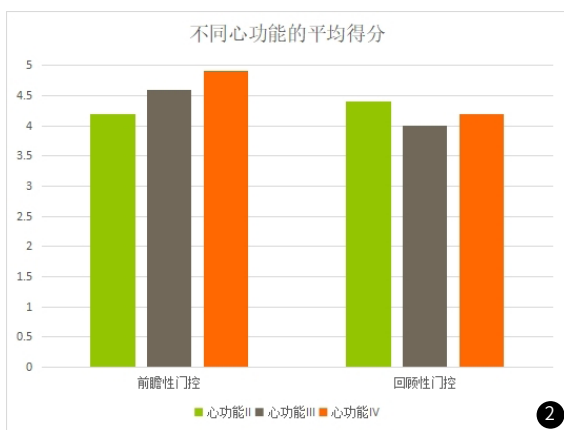


图2 心功能越低, 采用自适应前瞻性心电门控扫描越有优势。

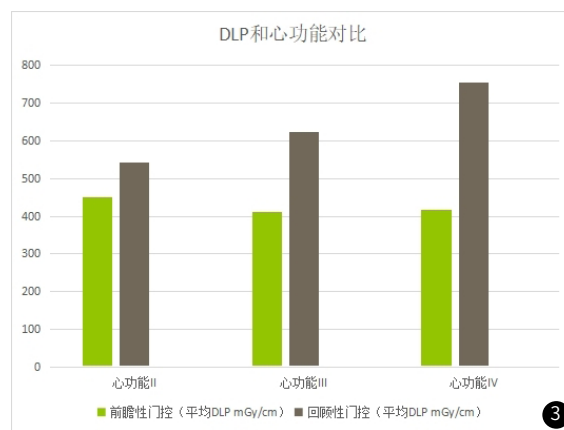


图3 心功能相同下自适应前瞻性心电门控的DLP(mGy/cm)总要比回顾性心电门控低。

### 3 讨论

随着我国人口老龄化程度, 心衰、心律不齐普遍存在, 冠状动脉成像作为一项无创性检查将会越来越普及, 但同时也会给患者带来辐射剂量的潜在伤害, 因此冠状动脉扫描中的辐射剂量控制和图像质量管理是迫切需要解决的问题<sup>[9]</sup>。

依据图2, 可以分析出左室心功能(EF值)越低, 采用自适应前瞻性心电门控扫描越有优势, 几乎可以忽略患者在任何心律情况下完成CTCA检查且获得优质图像。其主要原因是因为心功能较差的患者心脏的运动是缺乏力量的, 收缩、舒张功能减退使心脏的运动振幅降低<sup>[10-11]</sup>。图3可以分析出在同等心电门控自动调整曝光区间范围内自适应前瞻性心电门控的DLP(mGy/cm)总要比回顾性心电门控低, 患者心功能越差同时伴心律不齐回顾性心电门控的辐射剂量越高<sup>[12-13]</sup>。

图像质量方面: 两组图像血管质量结果显示可分析出CT值、信噪比整体实验组高于对照组, CT值均 $>250\text{HU}$ 满足冠状动脉诊断要求, 原因是在相同碘造影剂总量下, 扫描时间缩短可以提高血管内CT值, 心功能差的患者比正常心功能患者的收缩期要短, 更容易采集图像数据, 自适应前瞻心电门控为步进式扫描, 可忽略采集时的多种心律不齐即使采集相对差异较大的R波数据也能利用绝对值法进行图像重建, 而回顾性心电门控是全心动周期采

集数据会需进行心电图编辑再利用绝对值重建图像容易出现错层、不连续导致图像质量下降<sup>[14-15]</sup>。

辐射剂量方面: 两组数据显示自适应前瞻性心电门控的DLP(mGy/cm)总要比回顾性心电门控的DLP(mGy/cm)总低, 扫描采集心电图范围跨度越大采用回顾性心电门控辐射剂量越高, 原因是当患者出现差异性较大的R-R间隙时, 回顾性心电门控会自动降低Pitch值使扫描时间增加, 导致辐射剂量上升; 而自适应前瞻性门控扫描模式为步进式扫描, 在检查床静止时曝光, 所以没有Pitch值, 每次扫描采集的心动周期为4个, 辐射剂量相对较低且平稳<sup>[16]</sup>。

本次研究局限: 由于采集时相范围控制严格, 仅只有10%的时相曝光, 导致无法测算评估心功能。

综上所述, 心功能不全伴心律失常患者行冠状动脉CTA扫描选择自适应前瞻心电门控窄时相曝光时, 心功能越低越有显著优势, 相比回顾性心电门控不仅提高了图像质量和工作效率, 更降低了辐射剂量, 值得推广应用。

(参考文献下转第89页)

