

论 著

Force CT大螺距Turbo Flash与回顾性心电门控扫描模式在冠状动脉成像图像质量及辐射剂量比较的研究*

滕雅琴* 姚 亮 于集红
高俊杰 郭红梅
巴音郭楞蒙古自治州人民医院
(新疆 库尔勒 841000)

【摘要】目的 比较第三代双源Force CT大螺距Turbo Flash与回顾性心电门控冠状动脉成像(CTCA)图像质量及辐射剂量。方法 收集2023年1-3月接受CTCA检查患者136例,采用大螺距Turbo Flash P组、回顾性心电门控R组,按照心率 ≤ 65 次/min分P1、R1组,心率 > 65 次/min分P2、R2组,对冠状动脉图像质量进行主观评分,比较剂量长度乘积(DLP)、辐射剂量(ED)。结果 P组95.36%、R组95.72%的节段能够满足图像质量要求($P>0.05$),P组及R组的年龄、BIM、心率、心率变化值、DLP、ED差异均无统计学意义($P>0.05$),P组DLP为44.100(34.8,52.32)mGy·cm,ED为0.617(0.5,0.7)mSv,R组DLP为425.500(365.0,489.1)mGy·cm,ED为5.957(5.0,6.8)mSv,差异均有统计学意义($P<0.05$)。图像质量评分右冠状动脉、总体评分P1与P2、P2与R2差异均有统计学意义($P<0.05$),余冠脉分段差异无统计学意义($P>0.05$),结论 Force CT大螺距Turbo Flash扫描模式图像质量佳、成功率高,有效辐射剂量低,可作为低心率患者的优选检查方法,高心率患者所得冠状动脉图像能够满足诊断要求。

【关键词】冠状血管造影术;图像质量;
辐射剂量;第三代双源CT;大螺距
【中图分类号】R445.3
【文献标识码】A
【基金项目】新疆巴音郭楞蒙古自治州科学技术研究计划(202212)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.07.030

Comparison of Image Quality and Radiation Dose between CT High-Pitch Turbo Flash and Retrospective Electrocardiogram Scanning Mode in Coronary Artery Imaging*

TENG Ya-qin*, YAO Liang, YU Ji-hong, GAO Jun-jie, GUO Hong-mei.

Xinjiang Bayinguoleng Mongolian Autonomous Prefecture People's Hospital, Koral 841000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

ABSTRACT

Objective To compare the image quality and effective radiation dose of the third-generation dual-source Force CT coronary angiography(CTCA) with Turbo Flash and retrospective ECG-gated mode. **Methods** A total of 136 patients receiving CTCA examination from January to March 2023 were randomly assigned to large pitch Turbo Flash P group and retrospective electrocardiogram scan R group, the patients were divided into P1 group and R1 group according to heart rate ≤ 65 beats /min, heart rate > 65 times /min were divided into P2 group and R2 group. The image quality of coronary artery was subjectively scored, and the dose length product (DLP) and effective radiation dose (ED) were compared. **Results** 95.36% in group P and 95.72% in group R met the image quality requirements. There was no significant difference between the two groups ($P>0.05$). There were no significant differences in age, BIM, heart rate, heart rate variation, DLP and ED between P group and R group ($P<0.05$).The DLP and ED were 4.100(34.8,52.32) mGy·cm and 0.617(0.5,0.7)mSv in group P and 425.500(365.0,489.1)mGy·cm and 5.957(5.0,6.8)mSv in group R, respectively. The differences were statistically significant ($P<0.05$). There were significant differences in image quality score of right coronary artery, overall score of P1 and P2, P2 and R2 ($P<0.05$). There was no significant difference in the remaining coronary artery segments($P>0.05$). **Conclusion** Force CT high-pitch Turbo Flash scanning mode has high success rate, good image quality, and low effective radiation dose, which can be used as the first choice for patients with low heart rate. Coronary artery images obtained from patients with high heart rate can meet the diagnostic requirements.

Keywords: Coronary Angiography; Image Quality; Radiation Dosage; Third-generation Dual-source Force CT; High-Pitch Mode

目前CT冠状动脉成像(CTCA)已经成为冠状动脉疾病(coronary artery disease, CAD) 早筛的常用检查方式^[1-2],常用的冠状动脉CTA检查方式包括回顾性心电门控触发螺旋扫描、前瞻性心电触发螺旋扫描及心电门控触发扫描,其中回顾性扫描方式辐射剂量较前瞻性扫描辐射剂量高,因此实现高图像质量的同时尽可能的降低辐射剂量一直是放射科医生力争实现的目标,随着扫描技术的革新第三代双源Force CT大螺距Turbo Flash扫描序列可在自然呼吸、不需要用药控制心率、超短时间内完成CTCA检查,在保证图像质量、减少扫描时间的同时降低了辐射剂量。本研究旨在应用西门子第三代双源Force CT大螺距Turbo Flash模式与回顾性心电门控扫描模式进行比较,将扫描所得图像冠脉图像质量、有效辐射剂量及相关因素进行对比研究,进一步推动CTCA临床应用的标准化、规范化。

1 资料与方法

1.1 一般资料 前瞻性收集136例2023年1月至3月期间临床拟诊冠心病,临床表现为心悸、胸闷、胸骨后或心前区疼痛,可向左上臂、颈部、肩背部放射;心律平稳;排除标准:既往确诊冠心病且行冠状支架术后、旁路移植术后;对碘对比剂过敏;心律失常。其中男76例,女60例;年龄32-79岁,平均年龄(50.89 $\pm$ 8.93)岁。采用随机数表原则分为P组、R组,采用大螺距Turbo Flash P组(前瞻组)、回顾性心电门控R组(回顾组),按照扫描时心率 ≤ 65 次/min分为P1、R1组,心率 > 65 次/min分为P2、R2组,其中,P组男38例,女30例;平均年龄(51.84 $\pm$ 9.11)岁,R组男38例,女30例,平均年龄(49.94 $\pm$ 8.71)岁。两组年龄、性别比较差异无统计学意义。扫描前患者均对本研究知情同意且签署知情同意书。

1.2 扫描技术 患者均采用德国西门子第三代双源SOMATOM Force CT 进行扫描。P组(前瞻组)扫描方案:采用大螺距Turbo Flash序列扫描并开启智能模式,根据患者体形管电压会自动调节技术(CARE kv)、管电流(ref)自动曝光控制,当扫描监测心率 > 65 次/min时,采集窗选择在最佳收缩期(30%-40%),参考电压、电流分别为110kV、340mAs,当扫描监测心率 ≤ 65 次/min时,采集窗选择在最佳舒张期(60%-70%),参考电压、电流分别为100kV、340mAs,扫描前受检者均不做呼吸训练。R组扫描方案:采用自动调整管电流、管电压技术,参考电压、电流分别为110kv、288mAs,回顾性心电门控扫描前对受检者进行屏气训练。扫描参数:准直为

【第一作者】滕雅琴,女,主治医师,主要研究方向:心血管影像诊断。E-mail: 617228572@qq.com

【通讯作者】滕雅琴

2.0mm×192.0mm×0.6mm, 螺距为3.2。扫描范围包括整个心脏, 上自气管隆突下至心底层面。使用西门子高级模拟迭代重建(advanced model iterative reconstruction, ADMIRE)技术, 其中ADMIRE固定为3。重建图像层厚为0.75mm, 间隔为

0.5mm。采用西门子医学图像处理软件syngo. via处理包括曲面重建(curved planar reformation, CPR)、容积再现(volume rendering, VR)和血管树等图像数据(见图1、2)。

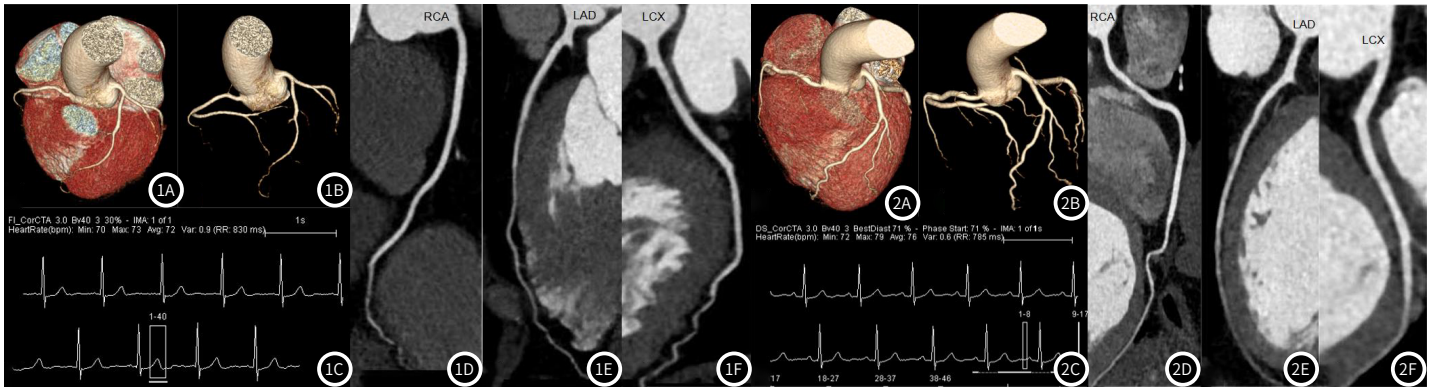


图1A-图1F 疑似冠心病患者的CTCA图像, 患者男性, 42岁, 1A: 容积再现图像; 1B: 血管树图像; 1C: 心电图门控图像示平均心率为72次/min, 采用Turbo Flash模式扫描, 采集窗选择在最佳收缩期范围(30%~40%), 1D: 右冠状动脉曲面重建图像; 1E: 左冠状动脉前降支曲面重建图像; 1F: 左回旋支曲面重建图像; DEF三支血管图像质量评分均为1分。

图2A-图2F 疑似冠心病CTCA图像, 患者男性, 45岁, 图中, 2A: 容积再现图像; 2B: 血管树图像; 2C: 心电图门控图像示平均心率为76次/min, 采用回顾性心电图门控扫描; 2D: 右冠状动脉曲面重建图像; 2E: 左冠状动脉前降支曲面重建图像; 2F: 左回旋支曲面重建图像; DEF三支血管图像质量评分均为1分。

1.3 对比剂注射及触发技术 均采用双筒高压注射器(mallinckrodt baker), 经右侧或左侧肘静脉埋置18G静脉留置针, 均以4.5mL/s速率先注射45mL非离子型碘对比剂碘海醇(350 mg/mL)后注射40ml 0.9%氯化钠溶液。在气管隆嵴下1cm的升主动脉处设为触发监测感兴趣区域(ROI), 均于注射对比剂10s后开始监测, 当ROI浓度达到或超过阈值100Hu后延迟5-6s启动扫描。

1.4 图像质量分析 根据美国心脏协会(AHA)最新18节段标准对本次冠状动脉进行分段, 不纳入本次统计血管段: <1.5mm纤细血管分支、缺如、闭塞血管段^[3]。医师采用Likert4级评分法评价图像质量^[4], 1分: 优良, 血管段没有噪声相关的运动或模糊伪影, 管壁光滑, 管腔连续、无错层, 血管显影佳; 2分: 良好, 血管段存在噪声相关的运动或模糊伪影, 管腔连续、可以有轻微错层, 可以满足诊断要求; 3分: 较差, 较少节段血管段存在比较明显噪声相关的运动或模糊伪影, 管腔连续性及血管显影尚可、有明显错层, 尚可诊断; 4分: 差, 血管段有多节段运动或模糊伪影, 管腔存在不连续、完全错层层面, 不能诊断。评分分值越高说明图像质量较差, 分值低图像质量较为优秀, 其中1-2分图像质量佳, 完全满足诊断要求, 3分图像质量尚可, 基本满足诊断的图像, 4分不能满足诊断要求。医师以横断位原始图像为主采用双盲法, 独立诊断时医师可以结合重建技术对冠状动脉的图像质量进行评价。两位医师诊断意见不同时由更高级别的放射科主任医师做出最终的诊断。

1.5 辐射剂量分析 冠状动脉CTCA的扫描剂量即为辐射剂量, 扫描结束后CT系统自动显示剂量长度乘积(dose length produce, DLP), 有效辐射剂量公式(effective dose, ED) $ED=K(0.014mSv \cdot mGy^{-1} \cdot cm^4)^{-1} \times DLP^{[5]}$ 。

1.6 统计学方法 本研究数据差异比较采用SPSS 26.0统计分析软件进行分析, 其中计数资料用频数表示并采用交叉表卡方检验; 计量资料正态分布数据以均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 两组差异比较采用独立样本t检验; 计量资料非正态分布数据以四分位数[p50(p25,p75)]表示, 两组差异比较采用非参数Mann-Whitney U检验, 多组差异使用Kruskal-Wallis检验统计量进行分析, 结果均以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。双盲法冠状动脉图像质量评分的一致性采用Kappa检验分析评价, $Kappa>0.700$ 为一致性良好, $0.400 \leq Kappa \leq 0.700$ 为一致性一般, $Kappa<0.400$ 为一致性差。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 图像质量评分 P组共1100个冠状动脉节段中的1049(95.36%)

个节段能够满足图像质量要求, R组1099个冠状动脉节段中的1052(95.72%)个节段能够满足图像质量要求, 差异无统计学意义($P>0.05$), P1与P2、P2与R2右冠脉、总体质量评分差异均有统计学意义($P<0.05$), 左主干、左前降支、左回旋支的质量评分二者差异无统计学意义($P>0.05$), P1与R1、R1与R2图像质量评分差异均无统计学意义($P>0.05$), 除左回旋支P1组分值低于R1组外, 余P组分支均大于R组分值, P组与R组图像质量评分最高的是右冠状动脉、其次为左回旋支(见表1)。两位评价医师双盲法评价四组冠状动脉图像质量评分的一致性良好($Kappa=0.819-0.840$, $P<0.05$)。

表1 冠脉血管节段图像质量评分

	组别(I)	组别(J)	平均值(I)	平均值(J)	差值(I-J)	P
右冠状动脉	P1	P2	1.1	1.368	-0.268	0.014*
	P1	R1	1.1	1.097	0.003	0.977
	P2	R2	1.368	1.108	0.26	0.012*
	R1	R2	1.097	1.108	-0.011	0.916
	P1	P2	1.033	1.079	-0.046	0.405
左主干	P1	R1	1.033	1.032	0.001	0.985
	P2	R2	1.079	1.054	0.025	0.63
	R1	R2	1.032	1.054	-0.022	0.689
左前降支	P1	P2	1.033	1.105	-0.072	0.216
	P1	R1	1.033	1.032	0.001	0.986
	P2	R2	1.105	1.054	0.051	0.351
左回旋支	R1	R2	1.032	1.054	-0.022	0.706
	P1	P2	1.067	1.211	-0.144	0.105
	P1	R1	1.067	1.097	-0.03	0.745
	P2	R2	1.211	1.135	0.075	0.368
	R1	R2	1.097	1.135	-0.038	0.663
总体评分	P1	P2	1.2	1.368	-0.218	0.017*
	P1	R1	1.2	1.129	0.071	0.563
	P2	R2	1.368	1.162	0.206	0.044
	R1	R2	1.129	1.162	-0.033	0.776

注: Kruskal-Wallis检验统计量进行分析* $P<0.05$, ** $P<0.01$,

除左回旋支P1组分值低于R1组外, 余P组分支均大于R组分值。

2.2 P组及R组的年龄、BIM、心率、心率变化值、DLP、ED差异 均无统计学意义($P>0.05$)见表2。

2.3 P组与R组DLP、ED差异 均有统计学意义($P<0.05$), 剂量长度乘积前瞻组明显低于回顾组, 有效辐射剂量前瞻组也明显低于回顾组(见表3)。

表2 两组患者的临床资料

	年龄	身高	体重	BIM	扫描时心率	心率变化值
前瞻组P(n=68)	50.000(46.0,58.8)	1.700(1.6,1.7)	70.500(60.0,75.0)	24.100(23.2,25.4)	69.000(62.0,72.0)	3.000(2.0,3.0)
回顾组R(n=68)	50.000(44.0,57.8)	1.720(1.6,1.7)	71.500(60.0,74.8)	24.220(23.2,25.0)	69.000(61.3,72.0)	3.000(2.0,3.0)
z	-1.214	-0.319	-0.011	-0.218	-0.247	-0.193
P	0.225	0.75	0.991	0.828	0.805	0.847

注：*P<0.05，**P<0.01，经S-W检验结果显示，数据不服从正态分布，故采用两样本Mann-Whitney U检验。

表3 两组患者的剂量参数比较

分组	DLP	ED
前瞻性组(n=68)	44.100(34.8,52.3)	0.617(0.5,0.7)
回顾性组(n=68)	425.500(356.0,489.1)	5.957(5.0,6.8)
z	-10.063	-10.063
p	0.000**	0.000**

注：*P<0.05，**P<0.01，使用MannWhitney检验统计量进行分析。

3 讨 论

3.1 图像质量评价 本研究结果显示，心率≤65次/min的P1、R1组图像质量评分为优良，说明第3代双源Force CT大螺距Turbo Flash CTCA对于低心率患者可以保证较好的图像质量，随着心率的增高，图像质量评分增高，P2组各节段的图像质量评分均高于P1，提示心率增高图像质量会有所降低，这与部分国内学者认为心率的高低与冠状动脉图像质量呈负相关相一致^[6-7]。P2组图像质量评分高于R2组且差异有统计学意义，但P2组图像质量评分可以满足临床诊断，说明高心率时前瞻性心电门控检查图像质量会有所下降，但与回顾性心电门控图像质量相近，均可以满足诊断要求，与部分学者研究一致^[8]。本次研究P组冠状动脉节段图像质量较好的是左主干、左前降支、左回旋支，最差的节段是右冠状动脉，与杨家虎等研究者结果一致^[9]，分析原因可能左主干、左前降支在前室间沟内走行，变化幅度较小、速度慢；右冠状动脉、左回旋支分别走行于左、右房室沟内，二者运动速度相对较快、位置变化较大，当心房及心室运动不同步收缩时会导致运动幅度较大，以致血管成像模糊、错层。R组不同心率冠脉各节段图像质量评分无明显差异，说明心率对冠状动脉图像质量评分无显著影响，可能是因为回顾性心电门控可综合最佳收缩期及最佳舒张期两组图像数据进行重建，能够在较大的心率范围内获得满意的图像^[10]。此次研究中错层伪影6例(P组4例、R组2例，心率均>65次/min)，均位于右冠状动脉段，其中2例患者准备时心率稳定，注射造影剂后可能是患者情绪紧张心率突然升高，导致扫描采集时间选择有误而产生错层伪影，4例患者心率变异较大，心率变化值7-11，图像质量稍差，右冠状动脉中远段产生模糊伪影、错层伪影，提示心率波动较大降低图像质量^[11]，此次研究患者最高心率达97次/min，患者扫描时心率相对稳定，心率变化值3，右冠状动脉产生模糊伪影，远段有轻微错层，图像总体质量评分可以满足诊断要求，进一步说明，前瞻性心电门控可实现对高心率患者的冠状动脉成像。部分冠状动脉节段无法评估的主要的原因是管壁多发钙化斑块、管腔重度狭窄导致以远血管充盈欠佳等，而呼吸运动和错层伪影发生概率低，这与部分学者认为冠状动脉节段无法评估的主要原因并不是心率影响观点一致^[12]。

3.2 有效辐射剂量 随着CTCA的广泛应用，电离辐射问题愈来愈受关注。2017年的心脏CTCA技术规范应用中国指南指出64排及以上配置的CT设备行CTCA检查的ED应该控制在2-5mSv及以下，高端CT设备甚至可以控制在1-2 mSv^[13]，本研究P组和R组的ED分别为0.617(0.5,0.7)mSv、5.957(5.0,6.8)mSv，P组有效射线剂量较R组降低89.64%，此次研究P组有效射线剂量低于徐佳欢等报道^[14]第3代双源Force CT大螺距Turbo Flash CCTA的有效辐射剂量ED为(1.17±0.29)mSv，可能因为选取的常数K=0.014mSv·mGy⁻¹·cm⁴⁻¹低于其选取的常数K=0.26mSv·mGy⁻¹·cm⁴⁻¹。另外Gordic等^[15]及Meyer等^[16]报道，第3代双源CT行CCTA的有效辐射剂量分别为(0.4±0.1)

mSv、(0.44±0.1)mSv，本研究结果与之相比辐射剂量稍高，可能因为本地区患者的身形较胖所致身体质量指数相对偏高，此次研究结果P组BMI为24.10kg/m²，R组BMI为24.22kg/m²，两组数值接近正常成人上限值(BMI(Body Mass Index)范围为18.5-24.9kg/m²)，说明BIM值可能会影响辐射剂量，这与国内部分学者认为体重与DLP存在正相关的线性关系^[17-18]相一致。

综上所述，Force CT大螺距TurboFlash扫描模式成功率高、图像质量佳，能够在自然呼吸的情况下检查，较回顾性心电门控有效辐射剂量明显降低(ED<1msv)，对于低心率、心律平稳者可以作为优选检查方法，对于高心率、心律平稳者所得冠状动脉图像能够满足诊断要求。本研究局限性：(1)本研究缺少冠状动脉造影数据对照研究，没有评估 Turbo Flash 扫描模式的准确率；(2)对于心律不齐患者未做研究，心率变化幅度适应范围有待进一步研究；(3)被检者的性别、年龄差异对DLP是否会产生一定影响有待进一步研究与分析。

参考文献

[1]Trattner S,Halliburton S,Thompson CM,et al.Cardiac-specific conversion factors to estimat radiation effective dose from dose-length product in computed tomography[J].JACC Cardiovasc Imaging,2018,11(1):64-74.

[2]Liu K,Hsieh C,Zhuang N,et al.Current utilization of cardiac computed tomography in mainland China:a national survey[J].J Cardiovasc Comput Tomogr,2016,10(1):76-81.

[3]Trattner S,Halliburton S,Thompson CM,et al.Cardiac-specific conversion factors to estimat radiation effective dose from dose-length product in computed tomography[J].JACC Cardiovasc Imaging,2018,11(1):64-74.

[4]HuR G,HONG S W,KIM S Y,et al.Uniform image quality achieved by tube current modulation using SD of attenuation in coronary CT angiography[J].AJR Am J Roentgenol,2007,189(1):188-196.

[5]Achenbach S,Marwan M,Ropers D,et al.Coronary computed tomography angiography with a consistent dose below 1 mSv using prospectively electrocardiogram-triggered high-pitch spiral acquisition[J].Eur Heart J,2010,31(3):340-346.

[6]谢元亮,郑晓华,金朝林,等.心率对64排螺旋CT冠状动脉成像质量的影响及对策[J].放射学实践,2006,21(9):913-916.

[7]刘斌,赵红,吴兴旺,等.心率对64层螺旋CT冠状动脉成像图像质量的影响[J].放射学实践,2007,22(5):444-447

[8]张晓东,唐秉华,李芳云,等.心率对256层CT前瞻性心电门控冠状动脉成像质量的影响[J].放射学实践,2011,26(7):721-725.

[9]杨家虎,冯越,张建军.Force CT大螺距Turbo Flash扫描模式在不同心率患者中的应用效果研究[J].中国全科医学,2018,21(14):1723-1726.

[10]Ropers U,Poppers D,Pfleiderer T.Influence of heart rate on the dignostic accuracy of dual source computed tomography coronary angiography[J].J Am Coll Cardiol,2007,55(25):2393-2398.

[11]张玉强,李鑫,杨笑一,等.心率对64排螺旋CT冠状动脉成像图像质量和辐射剂量的影响及相关因素分析[J].实用医学影像杂志,2020,21(6):653-655.

[12]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[J].中华放射学杂志,2011,45(5):436-440.

[13]中华医学会放射学分会心胸组.心脏冠状动脉CT血管成像技术规范应用中国指南[J].中华放射学杂志,2017,51(10):732-743.

[14]徐佳欢,张文雯,吕宇航,等.第3代双源CT低剂量Turbo Flash 成像图像质量与诊断效能的临床研究[J].国际放射医学核医学杂志 2018,11(6):500-506 .

[15]Gordic S,Husarik DB,Desbiolles L,et al.High-pitch coronary CT radiation exposure with prospectively ECG-triggered axial scannin angiography with third generation dual-source CT:limits of heart for coronary CT angiography:the multicenter,multivendor rate[J].Int J Cardiovasc Imaging,2014,30(6):1173-1179.

[16]Meyer M,Haubenreisser HS,choepf UJ,et al.Closing in on the Kedge:coronary CT angiography at 100,80,and 70 kv-initial comparison of a second- versus a third-generation dual-source CT system[J].Radiology,2014,273(2):373-382.

[17]梁旭晴,姜阳,陈玉洪,等.个体因素对胸部CT辐射剂量的影响研究[J].中国CT和MRI杂志.2022,20(9):106-108.

[18]徐学东,史广龙,柴娜,等.Force CT一站式扫描对冠心病的诊断及冠脉粥样硬化斑块性质的鉴别价值[J].中国CT和MRI杂志.2023,21(5):55-57.

(收稿日期：2023-07-06) (校对编辑：翁佳鸿)