

## 不同心率前后门控CT冠状动脉成像图像质量与辐射剂量的相关性分析

赵德春,余可斌,刘嘉,杨璐希,朱琪,潘志华

成都医学院第二附属医院(核工业四一六医院)放射科,四川 成都 610051

**【摘要】目的:**分析不同心率前后门控CT冠状动脉(简称冠脉)成像图像质量与辐射剂量的相关性。**方法:**收集行256层螺旋CT冠脉成像检查患者135例,其中行前门控扫描(即前瞻性心电图门控)66例(前门控组),根据患者心率为 $\leq 80$ 次/min(前门控低心率亚组,39例)与 $> 80$ 次/min组(前门控高心率亚组,27例);行后门控扫描(即回顾性心电图门控)69例(后门控组),其中心率 $\leq 80$ 次/min者45例(后门控低心率亚组), $> 80$ 次/min者24例(后门控高心率亚组);比较4组基线资料、图像质量[平均CT值、图像噪声、信噪比(SNR)、主观图像质量评分]及辐射剂量[CT容积剂量指数(CTDIvol)、剂量长度乘积(DLP)、有效剂量(ED)]差异,分别分析前门控组与后门控组中图像质量与心率、辐射剂量的相关性。**结果:**前门控低心率亚组与后门控低心率亚组的心率均低于前门控高心率亚组与后门控高心率亚组( $P < 0.05$ ),4组平均CT值、图像噪声、SNR及主观图像质量评分比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。前门控低心率亚组CTDIvol、DLP、ED均显著低于前门控高心率亚组及后门控低心率亚组、后门控高心率亚组( $P < 0.05$ ),前门控高心率亚组则均低于后门控低心率亚组及后门控高心率亚组( $P < 0.05$ )。Pearson相关系数分析显示,前门控组与后门控组中,受检者平均CT值、图像噪声、SNR、主观图像质量评分与心率、CTDIvol、DLP、ED均无显著相关性( $P > 0.05$ )。**结论:**256层螺旋CT冠脉成像主观与客观图像质量与辐射剂量无关,前门控扫描较后门控扫描可降低辐射剂量,且保证图像质量,对于符合条件的高心率患者同样适用,且能降低辐射剂量水平,适合在临床推广应用。

**【关键词】**冠状动脉成像;螺旋CT;前瞻性心电图门控;回顾性心电图门控;图像质量;辐射剂量

**【中图分类号】**R811.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2024)02-0185-06

## Correlations between image quality and radiation dose in prospective and retrospective ECG-gated CT coronary angiography in patients with different heart rates

ZHAO Dechun, YU Kebin, LIU Jia, YANG Luxi, ZHU Qi, PAN Zhihua

Department of Radiology, The Second Affiliated Hospital of Chengdu Medical College (China National Nuclear Corporation 416 Hospital), Chengdu 610051, China

**Abstract: Objective** To explore the correlations between image quality of prospective and retrospective electrocardiogram (ECG)-gated CT coronary angiogram and radiation dose in patients with different heart rates. **Methods** A total of 135 patients undergoing 256-slice spiral CT coronary angiography were enrolled in the study. Among them, 66 cases received prospective ECG-gated scanning (prospective ECG-gated group) and further divided into two subgroups with heart rate  $\leq 80$  beats/min (prospective ECG-gated+low heart rate subgroup,  $n=39$ ) and  $> 80$  beats/min (prospective ECG-gated+high heart rate subgroup,  $n=27$ ). The other 69 cases underwent retrospective ECG-gated scanning (retrospective ECG-gated group), including 45 cases with heart rate  $\leq 80$  beats/min (retrospective ECG-gated+low heart rate subgroup) and 24 with heart rate  $> 80$  beats/min (retrospective ECG-gated+high heart rate subgroup). The baseline data, image quality [mean CT value, image noise, signal-to-noise ratio (SNR), subjective image quality score] and radiation dos [CT volume dose index (CTDIvol), dose length product (DLP), effective dose (ED)] were compared among 4 subgroups. The correlations of image quality with heart rate and radiation dose in prospective and retrospective ECG-gated groups were analyzed. **Results** The heart rates in prospective and retrospective ECG-gated+low heart rate subgroups were lower than those in prospective and

**【收稿日期】**2023-06-15

**【基金项目】**四川省卫生和计划生育委员会科研课题(18PJ494)

**【作者简介】**赵德春,主管技师,研究方向:CT/MR扫描技术,E-mail: zhaodc86@163.com

**【通信作者】**潘志华,主任医师,研究方向:影像诊断及肿瘤介入治疗,E-mail: pzh196666@163.com

retrospective ECG-gated+high heart rate subgroups ( $P<0.05$ ). When comparing the mean CT value, image noise, SNR and subjective image quality score among 4 subgroups, no statistically significant differences were observed ( $P>0.05$ ). The CTDIvol, DLP and ED in prospective ECG-gated+low heart rate subgroup were significantly lower than those in the other 3 subgroups ( $P<0.05$ ), and the indicators in prospective ECG-gated+high heart rate subgroup were lower than those in retrospective ECG-gated group (including low and high heart rate subgroups) ( $P<0.05$ ). Pearson correlation coefficient analysis revealed that the mean CT value, image noise, SNR, subjective image quality score had no significant correlation with heart rate, CTDIvol, DLP and ED in prospective and retrospective ECG-gated groups ( $P>0.05$ ). **Conclusion** The subjective and objective image quality of 256-slice spiral CT coronary angiography is not correlated with radiation dose. Prospective ECG-gated scanning can reduce the radiation dose and ensure the image quality as compared with retrospective ECG-gated scanning. This holds true for eligible patients with high heart rate, and the former can effectively reduce radiation exposure. Therefore, prospective ECG-gated scanning is worthy to be promoted in clinic.

**Keywords:** coronary angiography; spiral CT; prospective electrocardiogram-gated; retrospective electrocardiogram-gated; image quality; radiation dose

## 前言

CT冠状动脉(简称冠脉)成像是筛查冠心病的主要手段,具有无创、简便等优点,64层、128层螺旋CT是临床最常用的冠脉成像工具,并以回顾性心电门控(后门控)为主要扫描方式,虽然空间分辨率良好,但辐射剂量较大<sup>[1]</sup>。使用前门控(即前瞻性心电门控)扫描可有效缩短扫描时间、降低辐射剂量,但对受检者心率要求较高,心率过快可造成心动周期缩短,CT识别受限,扫描得到的图像不能达到诊断要求<sup>[2]</sup>。256层螺旋CT作为高端CT仪器,具有良好的时间分辨率(135 ms)及较宽的探测器(80 mm),同时还具备一定的心电编辑功能,可提升高心率时的扫描图像成功率<sup>[3]</sup>。然而,临床仍倾向于选择后门控扫描。最新的一项调查显示,全国30家二级医院与45家三级医院的系统性抽样调查中,前门控扫描模式应用比例仅为38.5%,并呼吁我国影像技术及操作技能需要提高<sup>[4]</sup>。本研究分析256层螺旋CT冠脉成像中前门控扫描与后门控扫描的图像质量与心率、辐射剂量的相关性,旨在为256层螺旋CT前门控扫描的推广及普及提供指导意见。

## 1 对象与方法

### 1.1 入组对象

收集2022年1月~2022年12月在成都医学院第二附属医院行256层螺旋CT冠脉成像检查的135例患者。纳入标准:疑似冠心病;心率 $\leq 90$ 次/min;血流动力学稳定;意识清醒。排除标准:既往冠脉搭桥等心脏介入或手术史;静脉通路不畅,碘对比剂过敏;合并房颤等心律失常或心律不齐;肾功能或肺功能障碍;体质量指数 $>30$  kg/m<sup>2</sup>;屏气时间不足10 s。

### 1.2 方法

**1.2.1 扫描方法** 使用荷兰Philips Brilliance 256层螺旋CT扫描仪,扫描前做好呼吸训练准备,碘对比剂使用碘佛醇注射液(H20143027, 350 mg/mL, 江苏恒瑞医药有限公司),注射剂量1.0 mL/kg,注射速率5 mL/s,注射完毕后使用30 mL生理盐水冲管。135例患者中行前门控66例(前门控组),使用128 $\times$ 0.625 mm探测器,管电压120 kV,管电流200 mAs,层厚0.9 mm,层间距0.45 mm,视野165 mm $\times$ 165 mm,重建矩阵512 $\times$ 512,转速0.27 s/转;行后门控69例(后门控组),使用128 $\times$ 0.625 mm探测器,管电压120 kV,管电流800 mAs,层厚0.9 mm,层间距0.45 mm,视野165 mm $\times$ 165 mm,重建矩阵512 $\times$ 512,转速0.27 s/转;采用人工智能触发扫描,触发阈值为110 HU,延迟时间6 s,扫描范围为气管隆突下1 cm至心脏膈面下方。

**1.2.2 重建方法** 将原始数据传输至配套的工作站(Extended Brilliance Work Space),前门控组中,心率 $\leq 80$ 次/min者(前门控低心率亚组,39例)以75% R-R间期为重建期相, $>80$ 次/min者(前门控高心率亚组,27例)以45% R-R间期为重建中心。后门控组采用多相位重建方案,首先重建45%及75%期相,再以10%间隔在5%~95%期相内重建,并以心率分组,心率 $\leq 80$ 次/min者45例(后门控低心率亚组), $>80$ 次/min者24例(后门控高心率亚组)。

### 1.3 观察指标

**1.3.1 图像质量** 其中客观图像质量包括平均CT值、图像噪声、信噪比(Signal-to-Noise Ratio, SNR),将面积为 $(50\pm 1)$  mm<sup>2</sup>的感兴趣区置于升主动脉根部,测量其CT值,测量时需避开血管壁钙化与斑块灶,得到平均CT值与标准差,其标准差即为图像噪声,SNR=CT值/标准差。主观评估则使用主观图像质量评分,由2

名工作年限5年以上的放射科医生阅片,意见不一时协商得到一致结果;对右冠脉、左前降支及左回旋支的血管与周围结构对比度、血管边缘清晰度、运动伪影等主观评估,按照5分法评估图像质量<sup>[5]</sup>,其中4分为图像对比优质、血管边缘清晰、无运动伪影,3分为

可接受的图像对比、伴轻度运动伪影但不影响图像评价,2分为图像对比差、运动伪影较多,图像评价困难,1分为血管显示不清、无法评价,0分为错误图像。由图1和图2可见,前门控图像对比度稍差,后门控图像更清晰,但两组图片均满足诊断需求。

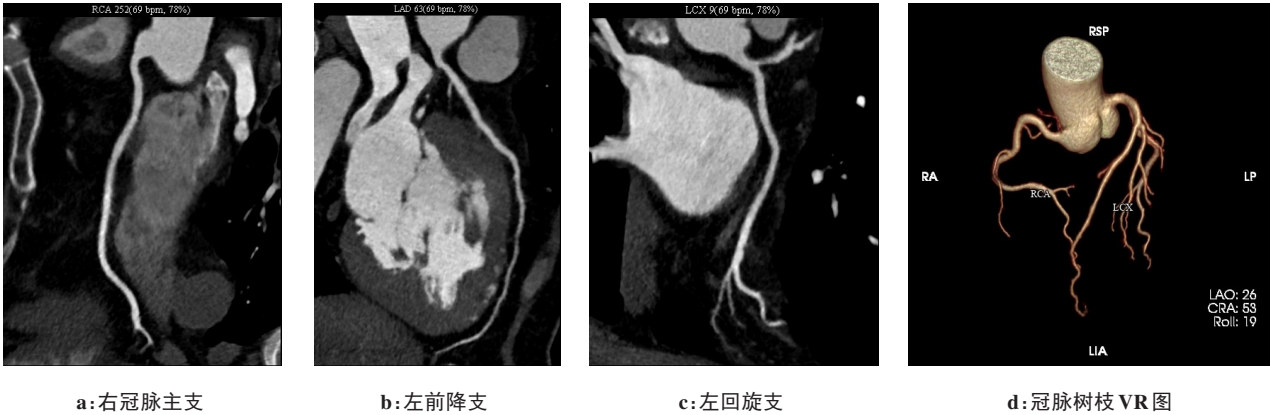


图1 前门控CT冠脉成像  
Figure 1 Prospective ECG-gated CT coronary angiography

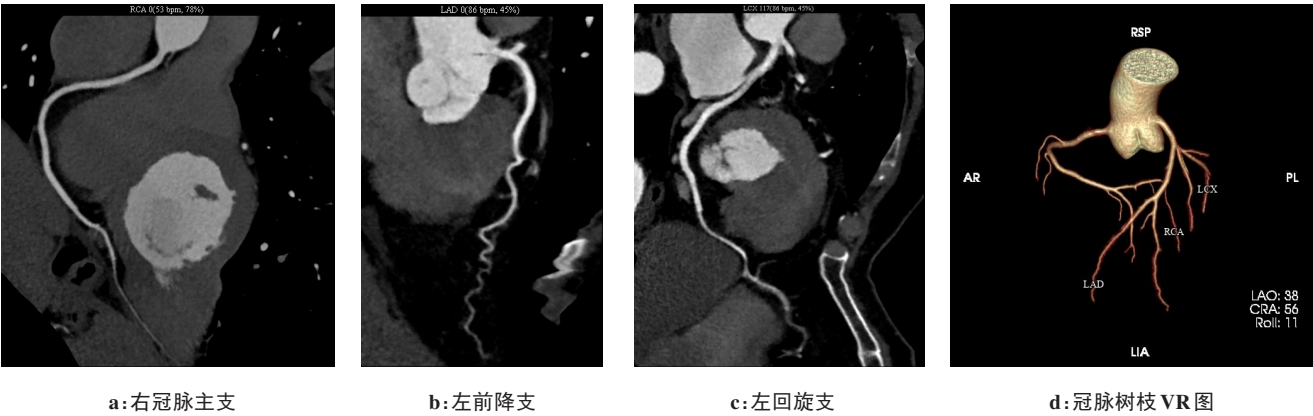


图2 后门控CT冠脉成像  
Figure 2 Retrospective ECG-gated CT coronary angiography

**1.3.2 辐射剂量** 包括CT容积剂量指数(CT volume dose index, CTDIvol)、剂量长度乘积(Dose Length Product, DLP)及有效剂量(Effective Dose, ED),其中CTDIvol在操作界面读取,DLP=CTDIvol×扫描长度,ED=DLP×κ系数,κ系数取胸部系数0.014<sup>[6]</sup>。

**1.4 统计学方法**

采用SPSS24.0统计软件分析,计量资料以均数±标准差表示,多组间比较采用单因素方差分析,两两比较采用LSD-*t*检验;计数资料以例(%)表示,行 $\chi^2$ 检验;相关性采用Pearson相关系数分析。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 各组基线资料比较**

4组患者性别、年龄及体质量指数比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ ),前门控低心率亚组与后门控低心率亚组的心率均低于前门控高心率亚组与后门控高心率亚组( $P<0.05$ ),见表1。

**2.2 各组图像质量比较**

4组平均CT值、图像噪声、SNR及主观图像质量评分比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ ,表2)。

**2.3 各组辐射剂量比较**

前门控低心率亚组CTDIvol、DLP、ED均显著低

表 1 4 组患者基线资料比较  
Table 1 Comparison of baseline data among 4 subgroups

组别	<i>n</i>	男/女	年龄/岁	体质量指数/kg·m <sup>-2</sup>	心率/次·min <sup>-1</sup>
前门控低心率亚组	39	22/17	55.87±9.22	23.72±2.02	67.44±3.97
前门控高心率亚组	27	16/11	56.26±9.61	23.44±1.98	85.81±2.89 <sup>a</sup>
后门控低心率亚组	45	29/16	57.37±9.38	23.09±2.14	67.91±3.56 <sup>b</sup>
后门控高心率亚组	24	15/9	57.08±10.17	23.28±1.99	85.21±3.08 <sup>ac</sup>
<i>F</i> / $\chi^2$ 值		0.622	0.204	0.686	277.210
<i>P</i> 值		0.891	0.893	0.562	<0.001

<sup>a</sup>表示与前门控低心率亚组比较, $P<0.05$ ;<sup>b</sup>表示与前门控高心率亚组比较, $P<0.05$ ;<sup>c</sup>表示与后门控低心率亚组比较, $P<0.05$

表 2 4 组患者图像质量比较( $\bar{x}\pm s$ )  
Table 2 Comparison of image quality among 4 subgroups (*Mean*±*SD*)

组别	<i>n</i>	平均 CT 值/HU	图像噪声/HU	SNR	主观图像质量评分/分
前门控低心率亚组	39	519.46±48.49	23.27±4.94	23.15±4.35	3.69±0.69
前门控高心率亚组	27	503.32±44.19	22.67±5.22	23.18±4.42	3.48±0.69
后门控低心率亚组	45	513.09±45.33	22.56±4.43	23.44±3.90	3.82±0.74
后门控高心率亚组	24	497.12±42.29	22.48±5.31	23.06±4.25	3.54±0.71
<i>F</i> 值		1.402	0.197	0.058	1.587
<i>P</i> 值		0.246	0.890	0.981	0.196

于前门控高心率亚组及后门控低心率亚组、后门控高心率亚组( $P<0.05$ ),前门控高心率亚组则均低于后门控低心率亚组及后门控高心率亚组( $P<0.05$ ),见表 3。

表 3 4 组患者 CTDIvol、DLP 及 ED 比较( $\bar{x}\pm s$ )  
Table 3 Comparison of CTDIvol, DLP and ED among 4 subgroups (*Mean*±*SD*)

组别	<i>n</i>	CTDIvol/mGy	DLP/mGy·cm	ED/mSv
前门控低心率亚组	39	15.44±2.89	221.49±26.56	3.10±0.37
前门控高心率亚组	27	20.46±3.06 <sup>a</sup>	286.46±27.31 <sup>a</sup>	4.01±0.38 <sup>a</sup>
后门控低心率亚组	45	49.58±7.19 <sup>ab</sup>	796.31±35.44 <sup>ab</sup>	11.15±0.50 <sup>ab</sup>
后门控高心率亚组	24	50.22±6.55 <sup>ab</sup>	805.24±34.08 <sup>ab</sup>	11.27±0.48 <sup>ab</sup>
<i>F</i> 值		377.020	3323.129	3304.055
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	<0.001

<sup>a</sup>表示与前门控低心率亚组比较, $P<0.05$ ;<sup>b</sup>表示与前门控高心率亚组比较, $P<0.05$

2.4 前门控组与后门控组中图像质量与心率、辐射剂量的相关性

将前门控组的平均 CT 值、图像噪声等图像质量指标及心率、CTDIvol 等辐射剂量指标的各项数据导入 SPSS,行双变量相关性分析(Pearson 系数),后门

控组操作同上述;读取其中图像质量与心率、辐射剂量的相关性结果,显示前门控组与后门控组中,受检者平均 CT 值、图像噪声、SNR、主观图像质量评分与心率、CTDIvol、DLP、ED 均无显著相关性( $P>0.05$ ),见表 4 和表 5。



表4 前门控组图像质量与心率、辐射剂量的相关性分析(*r*)

Table 4 Correlations of image quality with heart rate and radiation dose in prospective ECG-gated CT coronary angiography

图像质量	心率	CTDIvol	DLP	ED
平均CT值	0.118	0.064	0.096	0.055
图像噪声	0.124	-0.086	-0.080	-0.072
SNR	-0.176	0.112	0.109	0.127
主观图像质量评分	-0.156	0.109	0.117	0.121

表5 后门控组图像质量与心率、辐射剂量的相关性分析(*r*)

Table 5 Correlations of image quality with heart rate and radiation dose in retrospective ECG-gated CT coronary angiography

图像质量	心率	CTDIvol	DLP	ED
平均CT值	0.098	0.071	0.098	0.064
图像噪声	0.108	-0.053	-0.072	-0.069
SNR	-0.093	0.104	0.097	0.112
主观图像质量评分	-0.135	0.102	0.104	0.112

3 讨论

后门控扫描螺距小, 不仅重叠范围大, 且曝光整个心动周期, 辐射剂量大<sup>[7]</sup>。前门控则采集部分R-R间期数据, 且为横断面扫描, 不仅能缩短扫描曝光的时间, 也能避免重叠扫描造成的辐射剂量过大, 在减少辐射剂量方面效果显著<sup>[8]</sup>。2017年《心脏冠状动脉CT血管成像技术规范应用中国指南》<sup>[9]</sup>中推荐, 使用64排及以上的CT行冠脉成像时, 心率应分别控制在70次/min及其以下、90次/min及其以下, 对于图像采集模式及参数, 指南明确前门控扫描低辐射剂量的优势, 并重点推荐(强制性实施措施)心率≤65次/min的患者使用前门控扫描, 对于时间分辨率<150 ms的CT设备心率限制可增加至80次/min。256层螺旋CT扫描速度快, 时间分辨率为135 ms, 冠脉成像可获得较高的图像质量<sup>[10]</sup>, 且满足2017年指南的前门控扫描重点推荐条件, 即心率≤80次/min的患者应使用256层螺旋CT前门控扫描。256层螺旋CT在更高心率时是否也能得到符合要求的图像, 相关报道少见。

本研究以心率80次/min为界限, 分别评估前门控扫描与后门控扫描对冠脉成像的影响, 结果显示不同心率不同扫描方式间的客观与主观图像质量并无明显差异。分析其原因可能为: 256层螺旋CT旋转时间短(0.27 s), 探测器超宽(80 mm), 有效提高Z轴覆盖范围, 避免冠脉成像时受心率影响的局限<sup>[11]</sup>;

且135 ms的时间分辨率及80 mm的探测器可实现高心率状态下的收缩末期成像, 获得质量良好的成像图像<sup>[12]</sup>。另有研究指出在心率较低且节律稳定状态下(75次/min及以下), 右冠脉及左回旋支的等容舒张期, 即R-R间期的60%~80%相位, 冠脉运动较弱, 成像清晰, 而在心率>75次/min时为R-R间期的40%~50%相位相对平稳<sup>[13-14]</sup>。本研究前门控扫描时, 对心率≤80次/min者以75% R-R间期为重建期相, >80次/min者以45% R-R间期为重建中心, 以满足冠脉重建需求, 也可能是本文前门控扫描能获得良好图像质量的原因。

既往研究认为较高的辐射剂量往往能获得较好的图像质量<sup>[15-16]</sup>。然而, 256层螺旋CT可迅速扫描, 完成整个心脏扫描只需移床1~2次, 缩短患者屏气时间, 不仅能达到良好的减少呼吸伪影效果, 也能有效避免屏气时间较长引起的心率大幅度变化, 实现保证图像质量的同时减少辐射剂量<sup>[17-18]</sup>。前门控扫描较后门控扫描曝光时间缩短, 管电流降低, 可进一步减少辐射剂量<sup>[19]</sup>。本研究中前门控不同心率的两个亚组CTDIvol、DLP、ED均较后门控两个亚组下降, 提示前门控扫描可有效降低辐射剂量, 与文献报道一致<sup>[20]</sup>。但前门控低心率亚组的CTDIvol、DLP、ED也低于前门控高心率亚组, 提示前门控扫描时低心率者的辐射剂量更低。考虑其原因为: 低心率时心脏运动较小, 采集75%期相扫描即可获得满足要求的图像, 使辐射剂量进一步降低<sup>[21-22]</sup>。不仅如此, 前门控组与后门控组中, 受检者客观与主观图像质量与心率、辐射剂量均无显著相关性, 提示256层螺旋CT冠脉成像时, 图像质量并不随辐射剂量的升高而改善, 可能与该仪器优越的时间分辨率及超宽的探测器使冠脉成像能获得良好的图像质量有关<sup>[23]</sup>。

综上所述, 256层螺旋CT冠脉成像前门控扫描辐射剂量小, 图像质量高, 在心率>80次/min时也能得到满意的成像质量, 但临床应用不多, 需加强该扫描方式的推广应用。

【参考文献】

[1] 王凤仙, 刘利霞, 张记清, 等. 个体化对比剂注射方案在冠状动脉CT血管成像中的应用[J]. 实用放射学杂志, 2022, 38(2): 311-315. Wang FX, Liu LX, Zhang JQ, et al. Application of individualized contrast agent injection scheme in coronary CT angiography [J]. Journal of Practical Radiology, 2022, 38(2): 311-315.

[2] 贾蕾, 高律萍, 曹成琰, 等. 不同管电压下前瞻性心电图门控双源CT诊断冠心病的比较分析[J]. 影像科学与光化学, 2022, 40(4): 883-887. Jia L, Gao LP, Cao CY, et al. Comparative analysis of prospective ECG gated dual-source CT in the diagnosis of coronary heart disease at different tube voltages [J]. Imaging Science and Photochemistry, 2022, 40(4): 883-887.

[3] 谢林洪, 李龙, 陆力坚. 256层螺旋CT冠脉成像对冠状动脉病变诊

- 断及心肌桥检出的意义[J]. 影像科学与光化学, 2021, 39(6): 871-874.
- Xie LH, Li L, Lu LJ. Significance of 256 slice spiral CT angiography in diagnosis of coronary artery disease and detection of myocardial bridge[J]. Imaging Science and Photochemistry, 2021, 39(6): 871-874.
- [4] 任心爽, 安云强, 吕滨, 等. 中国冠状动脉CT血管成像扫描技术及辐射剂量的现状调查[J]. 中华放射学杂志, 2022, 56(4): 405-410.
- Ren XS, An YQ, Lü B, et al. Current status survey of coronary CT angiography scan protocol and radiation dose in China[J]. Chinese Journal of Radiology, 2022, 56(4): 405-410.
- [5] 暴云锋, 蔡萌, 赵明娟, 等. 冠状动脉CT血管成像人工与人工智能后处理工作效率和图像质量的对比[J]. 实用放射学杂志, 2020, 36(8): 1322-1325.
- Bao YF, Cai M, Zhao MJ, et al. A comparative reserch on the efficiency and image quality between manual and artificial intelligence post-processing of coronary CT angiography[J]. Journal of Practical Radiology, 2020, 36(8): 1322-1325.
- [6] 刘珮君, 王怡宁, 于敏, 等. 人工智能优化算法对提高大体型患者低剂量扫描冠状动脉图像质量的价值[J]. 放射学实践, 2019, 34(7): 760-766.
- Liu PJ, Wang YN, Yu M, et al. Impact of artificial intelligence-based optimization algorithm on image quality of low dose coronary CT angiography in big size patients[J]. Radiologic Practice, 2019, 34(7): 760-766.
- [7] Massalha S, Almufleh A, Walpot J, et al. Reference values for mid-diastolic right ventricular volume in population referred for cardiac computed tomography: an additional diagnostic value to cardiac computed tomography[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2020, 14(3): 226-232.
- [8] Walpot J, Inácio JR, Massalha S, et al. Determining early remodeling patterns in diabetes and hypertension using cardiac computed tomography: the feasibility of assessing early LV geometric changes[J]. Am J Hypertens, 2020, 33(6): 496-504.
- [9] 中华医学会放射学分会心胸学组, 《中华放射学杂志》心脏冠状动脉多排CT临床应用指南写作专家组. 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.
- Chinese Medical Association Radiology Society Cardiac-Chest Group, Cardiac and Coronary CT Angiography Guideline Writing Group of Chinese Journal of Radiology. Chinese guidelines for the application of standardized cardiac or coronary CT angiography techniques[J]. Chinese Journal of Radiology, 2017, 51(10): 732-743.
- [10] Liang CR, Ong CC, Chai P, et al. Comparison of radiation dose, contrast enhancement and image quality of prospective ECG-gated CT coronary angiography: single versus dual source CT[J]. Radiography (Lond), 2021, 27(3): 831-839.
- [11] von Felten E, Messerli M, Giannopoulos AA, et al. Potential of radiation dose reduction by optimizing Z-axis coverage in coronary computed tomography angiography on a latest-generation 256-slice scanner[J]. J Comput Assist Tomogr, 2020, 44(2): 289-294.
- [12] Law WY, Huang GL, Yang CC. Effect of body mass index in coronary CT angiography performed on a 256-slice multi-detector CT scanner[J]. Diagnostics (Basel), 2022, 12(2): 319.
- [13] Zdanovich E, Mansour S, Stevens LM, et al. Coronary bioresorbable stents: non-invasive quantitative evaluation of intra- and juxta-stent plaque composition-a computed tomography longitudinal study[J]. PLoS One, 2022, 17(10): e0268456.
- [14] Çullu N, Yeniçeri İÖ, Özdemir MY, et al. Evaluation of the morphological and clinical features of left anterior descending myocardial bridging with multi-detector computed tomography[J]. Kardiochir Torakochirurgia Pol, 2021, 18(2): 87-91.
- [15] 吕培杰, 刘杰, 赵慧萍, 等. 腹部CT低管电压成像与能谱成像辐射剂量和图像质量的匹配对比研究[J]. 中华放射学杂志, 2019, 53(1): 57-62.
- Lü PJ, Liu J, Zhao HP, et al. Matched comparison of low kVp imaging and CT spectral imaging in image quality and radiation dose at abdominal CT[J]. Chinese Journal of Radiology, 2019, 53(1): 57-62.
- [16] 许宏荣, 刘波, 蔡金华, 等. 体位对3~4岁儿童胸部数字X线摄影辐射剂量与图像质量的影响[J]. 中国介入影像与治疗学, 2021, 18(6): 350-353.
- Xu HR, Liu B, Cai JH, et al. Impact of positions on radiation dose and imaging quality of chest digital radiography of 3-4 years old children[J]. Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy, 2021, 18(6): 350-353.
- [17] 王春辉, 马文娟, 孟巴音, 等. 256排CT ASIR-V权重比的变化对冠状动脉CTA图像质量及辐射剂量的研究[J]. 医学影像学杂志, 2022, 32(6): 1049-1053.
- Wang CH, Ma WJ, Meng BY, et al. The study of 256-slice CT ASIR-V weight ratio change on coronary CTA image quality and radiation dose[J]. Journal of Medical Imaging, 2022, 32(6): 1049-1053.
- [18] Cherukuri L, Birudaraju D, Kinninger A, et al. Use of advanced CT technology to evaluate left atrial indices in patients with a high heart rate or with heart rate variability: the converge registry[J]. J Nucl Med Technol, 2021, 49(1): 65-69.
- [19] Fusaro M, Caruso D, Tessarin G, et al. Comparison of triple-rule-out prospectively ECG-triggered systolic and diastolic acquisition protocol in patients with acute chest pain[J]. J Thorac Imaging, 2022, 37(6): W72-W77.
- [20] Daal MRR, Strijkers GJ, Hautemann DJ, et al. Longitudinal CMR assessment of cardiac global longitudinal strain and hemodynamic forces in a mouse model of heart failure[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2022, 38(11): 2385-2394.
- [21] 门玥琪, 张璋, 吴梦娜, 等. 基于Patlak Plots法两次大螺旋前瞻性心电门控扫描模式冠状动脉CT血管成像评估心肌血流灌注的可行性[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(6): 638-643.
- Men YQ, Zhang Z, Wu MS, et al. Myocardial perfusion evaluation by using double FLASH coronary artery CT angiography based on Patlak Plots[J]. Chinese Journal of Radiology, 2021, 55(6): 638-643.
- [22] Bakermans AJ, Boekholdt SM, de Vries DK, et al. Quantification of myocardial creatine and triglyceride content in the human heart: precision and accuracy of *in vivo* proton magnetic resonance spectroscopy[J]. J Magn Reson Imaging, 2021, 54(2): 411-420.
- [23] 孔黎阳, 孙勇. 256层CT评估Stanford B型主动脉夹层升主动脉弹性与冠状动脉狭窄的相关性[J]. 放射学实践, 2021, 36(10): 1212-1217.
- Kong LY, Sun Y. Evaluating the correlation between ascending aortic elasticity of Stanford B type aortic dissection and coronary stenosis by 256 slice spiral CT[J]. Radiologic Practice, 2021, 36(10): 1212-1217.

(编辑:黄开颜)