

· 临床研究 ·

心功能不全(Ⅲ级)患者采用团注追踪技术行冠状动脉血管造影的可行性

于雅美¹, 李钊², 贾淑兰³, 段玉婷^{2*}

(山东省聊城市人民医院:¹放射科,²CT室,³东昌府院区影像中心,山东 聊城 252000)

【摘要】 目的 探讨心功能不全(Ⅲ级)患者行冠状动脉血管造影的可行性。**方法** 选取聊城市人民医院2017年1月至2019年12月收治的心功能不全(Ⅲ级)患者40例,根据扫描技术不同将患者随机分为A组与B组,每组各20例。A组应用小剂量预测峰值(test bolus)技术小剂量测试(20 ml对比剂),监测峰值时间(T_1);B组应用团注追踪(bolus tracking)技术,监测四腔心层面降主动脉,延迟1.1 s触发,记录触发时间(T_2)。所有患者按0.85 ml/kg体质量注射对比剂,固定注射时间12 s,扫描过程中无屏气指令提示。比较2组触发时间、对比剂用量、左冠状动脉主干水平升主动脉CT值及SD值、信噪比(SNR)、主观评分(5分制:5分最佳,1分最差)与辐射剂量。应用SPSS 19.0统计软件进行数据分析。依据数据类型,采用 t 检验、 χ^2 检验或Mann-whitney U 检验进行比较。**结果** 2组 T_1 与 T_2 比较,差异无统计学意义($P>0.05$);对比剂用量比较,B组少于A组[(60.32±10.35)和(80.21±8.28) ml],差异有统计学意义($P<0.01$);冠状动脉扫描辐射剂量比较,差异无统计学意义($P>0.05$);监测扫描辐射剂量比较,A组高于B组[(0.42±0.02)和(0.23±0.04) mSv],差异有统计学意义($P<0.01$);客观图像质量(CT值、噪声水平与SNR)比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);主观评分(右冠状动脉、左前降支与左回旋支)比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 自由呼吸状态下,利用最短转化时间快速触发能够瞬间抓住冠状动脉峰值期,降低对比剂用量,减少扫描步骤,并具有较高的稳定性,可应用于临床。

【关键词】 心功能不全;X线计算机;血管造影术;体层摄影术

【中图分类号】 R445;R541

【文献标志码】 A

【DOI】 10.11915/j.issn.1671-5403.2021.05.076

Feasibility of coronary computed tomography angiography with bolus tracking technology in patients with heart failure (grade Ⅲ)

YU Ya-Mei¹, LI Zhao², JIA Shu-Lan³, DUAN Yu-Ting^{2*}

(¹Department of Radiology, ²CT Room, ³Imaging Center of Dongchang Prefecture, Liaocheng People's Hospital, Liaocheng 252000, Shandong Province, China)

【Abstract】 Objective To investigate the feasibility of coronary computed tomography angiography (CCTA) in the patients with heart failure (grade Ⅲ). **Methods** A total of 40 patients with clinical diagnosis of heart failure (grade Ⅲ) who were admitted into Liaocheng People's Hospital from January 2017 to December 2019 were prospectively randomly divided into two groups. Patients in group A ($n=20$) received low-dose test bolus technology (20 mL contrast medium) and were monitored for the peak time (T_1). Patients in group B were monitored with bolus tracking technology for the descending aorta at 4-chamber imaging planes with a trigger delay of 1.1 s (T_2). Contrast agent was injected at body weight $\times$ 0.85 ml/kg within 12 s for all patients. No signal was given for holding breath during the scan. The two groups were compared for trigger time, volume of contrast medium, CT values of the left ascending aorta, SD, signal-to-noise ratio(SNR), assessment of image quality (5-point Likert scale with 5 for the best and 1 for the worst) and effective radiation dose(ED). SPSS statistics 19.0 was used for data analysis. Depending on the data type, t -test, χ^2 test or Mann-whitney U test was used for comparison between groups. **Results** T_1 and T_2 were not significantly different between the two groups. The volume of contrast medium used in group B was less than that in group A [(60.32±10.35) vs (80.21±8.28) ml], the difference being statistically significant ($P<0.01$). There was no significant difference in the radiation dose of coronary artery scan between the two groups($P>0.05$). The radiation dose of monitoring scan of group A were significantly higher than group B [(0.42±0.02) vs 0.23±0.04) mSv, $P<0.01$]. For objective image quality, CT values of ascending aorta, image noise, SNR were not different between the two groups (all $P>0.05$). Subjective image quality of two groups also showed no significant difference in three main coronaries (right coronary artery, left anterior descending branch and left circumflex artery; all $P>0.05$). **Conclusion** The application of free-breathing CCTA combined with bolus tracking technology significantly reduces total usage of contrast medium, reduces the scanning step, and has high stability for patients with heart failure.

收稿日期: 2020-08-07; 接受日期: 2020-12-03

通信作者: 段玉婷, E-mail: duanyt123@126.com

【Key words】 heart failure; X-ray computed; angiography; tomography

Corresponding author: DUAN Yu-Ting, E-mail: duanyt123@126.com

心功能不全是严重影响成人生命健康的全球性心血管疾病,随着人口平均年龄的增长,其发病率逐年增加。过去心功能不全患者应用小剂量预测峰值(test bolus)技术行冠状动脉血管造影(coronary computer tomography angiography, CCTA)被认为是有效方法,该技术的优点是能够监测达峰时间,提高检查成功率,缺点是增加了对比剂总量及监测辐射剂量,且检查步骤繁琐。以往团注追踪(bolus tracking)技术无法实现的原因主要是受心功能状态、血压、心率等诸多不确定因素影响,其中心功能状态被认为是影响扫描延迟时间最重要的因素。由于对比剂到达靶血管的峰值时间各不相同,因此要想完成扫描就必须维持较长的平台期,势必注射较多的对比剂,存在潜在危险^[1]。本研究所用设备能一次覆盖全心脏,使被扫描者不用屏气就可以在一个心跳周期内完成扫描^[2]。快速触发 bolus tracking 的优点在于动态观察各心腔对比剂变化情况,当主动脉达到阈值后快速(1.1 s 转化时间)触发。本研究基于自由呼吸状态快速触发技术,通过有无小剂量测试的比较,探讨能否免除小剂量测试,减少患者的造影剂用量及辐射剂量。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选择聊城市人民医院 2017 年 1 月至 2019 年 12 月收治的 40 例冠心病伴心功能不全(Ⅲ级)患者为研究对象,其中男 21 例,女 19 例;平均年龄(68.52 ± 11.25)岁;体质量指数 $17.51 \sim 31.22 \text{ kg/m}^2$, 平均(24.81 ± 3.22) kg/m^2 ;扫描心率 $45 \sim 124 \text{ 次/min}$, 平均(71.25 ± 16.88) 次/min 。40 例患者按随机数表法随机分为 A 组(应用 test bolus 技术)与 B 组(应用 bolus tracking 技术),每组各 20 例。

纳入标准:(1)临床诊断为冠心病;(2)心功能不全(Ⅲ级),临床心功能按照美国 1994 年修订的心功能评分标准分级,即纽约心脏病协会(New York Heart Association, NYHA)分级标准。(3)发病 3 d 内行 CCTA 检查;(4)同意参与本研究并签署知情同意书。排除标准:(1)肝、肾功能不全;(2)不能耐受冠状动脉 CT 血管成像检查;(3)碘对比剂高危及过敏;(4)冠状动脉搭桥术后。

比较 2 组触发时间、对比剂用量、左冠状动脉主干水平升主动脉 CT 值及 SD 值(standard deviation,

SD)、信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)、主观评分(5 分制,5 分最佳,1 分最差)与辐射剂量,其中 SD 值代表图像噪声。

1.2 扫描技术与参数

所有患者应用 256 层 Revolution CT(GE Healthcare)行单心跳冠状动脉造影。A 组应用 test bolus 技术扫描进行小剂量测试(20 ml 对比剂),对监测层面每间隔 1 s 进行小剂量动态监测,当主动脉 CT 值由最高变淡时停止监测扫描,记录峰值时间(T_1),之后依照小剂量测试时间进行常规屏气扫描(延迟 5.9 s 触发)。B 组应用 bolus tracking 技术,感兴趣区(region of interest, ROI)置于四腔心层面的降主动脉,阈值设为 250 HU,记录触发时间(T_2),检查全过程无屏气口令,采用智能触发技术,达到阈值后延迟 1.1 s 触发扫描(最短转换时间)。患者在一个心动周期内完成冠状动脉采集。根据心脏大小不同,Z 轴覆盖范围选择 140 mm 或 160 mm。扫描范围由气管分叉至心底下方 1.0 cm。管电压为智能电压(100 或 120 kV),管电流由智能毫安(smart mA)智能选择决定,范围 200 ~ 720 mA,预设噪声指数(noise index, NI)为 25。机架旋转速度为 0.28 s/rot。根据患者心率不同,自动门控技术智能选择合适曝光时相(心率 < 60 次/min,选择 75% R-R 间期;心率 61 ~ 70 次/min,选择 70% ~ 80% R-R 间期;心率 71 ~ 85 次/min 时,选择 70% ~ 80% 和 40% ~ 55% R-R 间期;心率 86 ~ 100 次/min 时,选择 40% ~ 55% R-R 间期;心率 > 101 次/min 时,选择 40% ~ 60% R-R 间期)^[2,3]。层厚及层间距均为 0.625 mm。迭代重建 ASiR-V 选择 50%。重建矩阵为 512×512 ,重建类型选择为标准(standard)。

1.3 图像后处理

扫描结束后,应用自动选择最佳期相(Smart-phase)技术自动挑选最佳时相,并开启冠状动脉追踪冻结技术提高图像质量。然后将数据传至 AW4.7 后处理工作站行容积再现(volume rendering, VR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)及曲面重建(curved planar reformation, CPR)综合分析判断血管有无狭窄及斑块形成。

1.4 图像质量评价

(1)客观评价:记录左冠状动脉主干水平升主动脉 CT 值及 SD 值作为图像噪声指标,计算出 SNR($\text{SNR} = \text{右冠脉起始处升主动脉 CT 值} / \text{SD 值}$)。(2)主观

评价:根据美国心脏协会血管分段的方法将冠状动脉分为 15 段^[4,5],该分段包括右冠状动脉(节段 S1~4)、左主干(节段 S5)、左前降支(节段 S6~10)和左回旋支(节段 S11~15)。图像由 2 位经验丰富的医师在不知患者分组的情况下独立完成血管图像质量评价,评价不一致时共同阅片,协商达成一致。阅片者对图像质量进行独立评分,采用 5 分制^[6]。5 分:图像噪声小,管腔连续,管壁清晰,无伪影(最佳);4 分:轻度图像噪声,管腔连续,管壁较光滑,轻微伪影(较好);3 分:图像噪声增大,管壁略模糊或出现伪影(中等);2 分:图像噪声大,管壁模糊、不光滑,较多伪影(差);1 分:图像噪声非常大,管壁模糊不清,血管不连续,严重伪影(极差)。5 分、4 分、3 分为可诊断图像,2 分、1 分为不可诊断图像。评价直径 1.5 mm 以上的冠状动脉段。

1.5 辐射剂量评估

检查后记录剂量长度乘积(dose length product, DLP),计算有效辐射剂量(effective dose, ED),ED=0.014×DLP。

1.6 对比剂用量

2 组患者注射对比剂时间固定为 12 s。A 组应用 test bolus 技术小剂量测试,先注射 20 ml 对比剂进行测试,后根据患者体质量按 0.85 ml/kg 注射对比剂;B 组不进行小剂量测试,根据体质量按 0.85 ml/kg 注射对比剂。A、B 两组患者对比剂注射结束后立即以相同速率加注 30 ml 生理盐水。

1.7 统计学处理

采用 SPSS 19.0 统计分析软件处理数据。符合

正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用独立样本 *t* 检验。计数资料比较采用 χ^2 检验。主观评价指标的比较采用 Mann-whitney *U* 检验。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2 组患者一般资料比较

2 组患者性别、年龄、体质量、身高、体质量指数(body mass index, BMI)及心率比较,差异无统计学意义(表 1)。

2.2 2 组冠状动脉图像评价结果比较

2.2.1 客观评价 2 组图像升主动脉 CT 值及 SD 值、SNR 值比较,差异均无统计学意义(表 2)。

2.2.2 主观评分 40 例受检者冠状动脉共分 483 个节段,其中 A 组 238 段,B 组 245 段。在最佳成像时相的重建图像上,2 组右冠状动脉主观评分、左前降支主观评分、左回旋支主观评分比较,差异均无统计学意义(*P*>0.05;表 2)。2 组图像质量评分 5、4、3、2、1 分的冠状动脉节段数,A 组分别为 102(42.86%)、105(44.12%)、28(11.76%)、3(1.26%)、0(0.00%);B 组分别为 100(40.82%)、110(44.90%)、31(12.65%)、4(1.63%)、0(0.00%),2 组比较,差异无统计学意义(*P*>0.05)。图像质量评分 A 组为(3.78±0.51)分,B 组为(3.81±0.48)分,差异无统计学意义(*P*>0.05)。CTA 冠状动脉重建图像见图 1。图 1A~C:A 组患者,男性,75 岁,扫描心率:64 次/min,78% R-R 间期重建。图 1D~F:B 组患者,男性,80 岁,扫描心率为 89 次/min,45% R-R 间期重建。

表 1 2 组患者一般资料比较

Table 1 Comparison of baseline data between two groups (n=20)

Group	Gender (male/female, n)	Age (years, $\bar{x} \pm s$)	Body mass (kg, $\bar{x} \pm s$)	Stature (cm, $\bar{x} \pm s$)	BMI (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	HR (beats/min, $\bar{x} \pm s$)
A	9/11	67.12±11.32	67.22±9.13	163.23±7.92	25.32±3.15	70.56±18.12
B	12/8	69.25±11.04	65.35±8.26	161.72±6.09	24.33±3.41	72.15±15.34
χ^2/t	0.645	0.549	1.549	0.709	0.954	1.264
<i>P</i> value	0.246	0.749	0.652	0.549	0.375	0.297

BMI: body mass index; HR: heart rate.

表 2 2 组主、客观图像质量评分比较

Table 2 Comparison of subjective and objective image quality score between two groups (n=20, $\bar{x} \pm s$)

Group	Objective image quality			Subjective image quality		
	Aorta CT-signal (HU)	Image noise	Signal-to-noise ratio	RCA	LAD	LCx
A	350.21±35.38	34.51±2.53	10.01±1.10	3.81±0.52	3.83±0.62	3.73±0.72
B	340.53±33.61	34.32±2.16	10.23±1.01	3.93±0.55	3.81±0.52	3.69±0.62
<i>t</i>	-0.937	0.614	-2.186	3.869	2.927	0.162
<i>P</i> value	0.355	0.540	0.090	0.144	0.231	0.922

CT: computed tomography; RCA: right coronary artery; LAD: left anterior descending artery; LCx: left circumflex artery.

2.3 2组辐射剂量比较

2组冠状动脉扫描辐射剂量比较,差异无统计学意义($P=0.848$),但A组 test bolus 测试扫描的辐射剂量大于B组 bolus tracking 监测扫描的辐射剂量,差异有统计学意义($P<0.01$;表3)。

2.4 2组对比剂用量及触发时间比较

A组平均对比剂用量明显高于B组,差异有统计学意义($P<0.01$),2组扫描触发时间比较,差异无统计学意义($P=0.192$;表3)。

3 讨论

心功能不全患者的心肌收缩力下降使心排出量不能满足机体代谢的需要^[5]。心输出量是影响对比增强时间最重要的患者因素,心输出量减少时,基于碘对比剂的稀释效应及廓清作用减弱,血管强化峰

值增高,达峰时间延迟^[6]。心功能正常患者一般不行小剂量测试,心功能不全患者由于心排出量、心率及血压等存在诸多差异,在行冠状动脉CT造影剂前无法计算冠状动脉峰值,为减少检查失败率,以往常规采用 test bolus 小剂量测试的方法。Test bolus 扫描方式可明显提高扫描成功率,但也增加了对比剂注射的总量。本研究中,有1例患者对比剂用量仅使用了33 ml,与小剂量测试的用量非常接近,若该患者去掉小剂量测试,将会减少36%对比剂的摄入。另外心功能不全患者较心功能正常患者达峰时间延长,导致监测扫描次数增加,增加了患者的辐射剂量,本研究中延迟时间最长可达45 s。

随着CT扫描设备时间分辨率的不断提高,本研究应用的设备时间分辨率可达到0.28 s,Z轴可覆盖16 cm的宽体探测器,可在一个心动周期内完成心脏

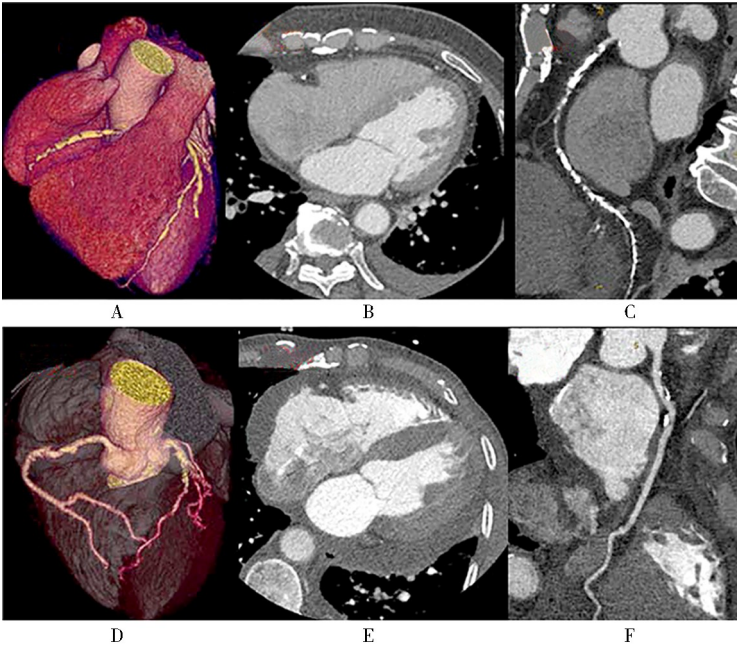


图1 CTA 冠状动脉重建(VR、MPR与CPR图像)

Figure 1 Reconstruction of coronary artery(VR,MPR and CPR image)

A-C; group A(test bolus), coronary CTA images of a 75-year-old man (HR=64 beats/min) at 78% R-R interval;

D-F: group B (bolus tracking), coronary CTA images of an 80-year-old man (HR=89 beats/min) at 45% R-R interval.

CTA: computed tomography angiography; VR: volume rendering; MPR: multi-planer reformation; CPR: curved planar reformation.

表3 2组辐射剂量、对比剂用量与触发时间比较

Table 3 Comparison of radiation dose, contrast medium and trigger time between two groups (n=20, $\bar{x}\pm s$)

Group	CTA radiation dose	Test radiation dose	Trigger time(s)	Contrast medium(ml)
	ED(mSv)	ED(mSv)		
A	2.35±1.19	0.42±0.02	30.64±4.81	80.21±8.28
B	2.25±1.21	0.23±0.04	31.10±4.69	60.32±10.35
t	0.193	15.706	4.208	6.971
P value	0.848	0.000	0.192	0.000

ED: effective dose.

扫描。与此同时越来越多的学者探索在自由呼吸模式下行冠状动脉成像的可行性,如 Kang 等^[7]应用 320 排 CT 在低心率(<75 次/min)自由呼吸状态下行 CCTA 与标准屏气组进行对比,图像质量无显著差异。Liu 等^[8]利用 Revolution CT 尝试无心率控制在自由呼吸下行 CCTA,与常规屏气组比较,试验中最高心率达 101 次/min,证实高心率可以在自由呼吸状态下行 CCTA。本研究中 B 组所有患者均在自由呼吸扫描模式下进行,其中有 8 例心率 ≥ 80 次/min,3 例心率>90 次/min,1 例心率>100 次/min,最高心率为 124 次/min,结合冠状动脉追踪冻结技术有效缩短了重建的时间窗^[9],从而降低了呼吸运动产生的影响,即便在屏气不佳的情况下,也可得到高质量图像。本研究心率>80 次/min 患者各节段主观评分均 ≥ 3 分,均满足诊断要求。对于本研究应用的设备,高心率受检者可以在自由呼吸状态下行 CCTA 检查。

研究中 B 组采用自由呼吸快速触发技术,即只有关闭屏气指令,并将监测层面置于四腔心层面时(相当于心脏扫描范围的中间层面),才能保证机器最短转化时间为 1.1 s,其优点在于能够动态监测降主动脉、右心房、右心室、左心房及左心室 CT 值,当降主动脉 CT 值达到合适的强化程度瞬间触发、采集扫描数据,即“所见即所得”,总能得到想要的冠状动脉强化值。自由呼吸快速触发的优点在于无需顾及患者心功能状态、心率、血压等诸多因素,不用测试峰值时间,免去小剂量测试,从而降低对比剂总量和辐射剂量,简化扫描流程。

本研究的不足之处有 3 点:(1)小剂量测试患者注射 20 ml 对比剂后,再做冠状动脉扫描时心率会有波动或轻度增快,研究中并没有进行详细统计。(2)样本量较少,对于心律异常的患者未作讨论。(3)本研究成功具有设备依赖性,因此该技术的推广具有一定局限性。

综上所述,小剂量测试扫描技术和基于自由呼吸扫描模式下采用高阈值、快速触发技术均能很好地选择触发时机,若采用新技术检查,可免除小剂量测试,不仅减少对比剂用量,还可减少 test bolus 小剂量测试所受辐射剂量,可应用于临床。

【参考文献】

[1] 李莉明,刘杰,高剑波. 冠状动脉 CT 成像的个体化低对比剂剂量优化研究[J]. 临床放射学杂志,2016,35(12):1899-1903.

DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2016.12.034.

Li LM, Liu J, Gao JB. Coronary CT angiography with optimizing contrast medium based of body mass in CT[J]. J Clin Radiol, 2016, 35(12): 1899-1903. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2016.12.034.

[2] 杨利莉,汪芳,沈云,等. 慢性阻塞性肺部疾病患者自由呼吸下冠状动脉 CT 成像的可行性研究[J]. 中国医学计算机成像杂志,2019,25(3):316-320. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5741.2019.03.022.

Yang LL, Wang F, Shen Y, *et al.* Feasibility of free-breathing CCTA in COPD patients using wide-coverage volumetric CT[J]. Chin Comput Med Imaging, 2019, 25(3): 316-320. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5741.2019.03.022.

[3] Di Cesare E, Gennarelli A, Di Sibio A, *et al.* Image quality and radiation dose of single heart beat 640-slice coronary CT angiography: a comparison between patients with chronic atrial fibrillation and subjects in normal sinus rhythm by propensity analysis[J]. Eur J Radiol, 2015, 84(4): 631-636. DOI: 10.1016/j.ejrad.2014.11.035.

[4] Leipsic J, Labounty TM, Heilbron B, *et al.* Adaptive statistical iterative reconstruction: assessment of image noise and image quality in coronary CT angiography[J]. AJR Am J Roentgenol, 2010, 195(3): 649-654. DOI: 10.2214/AJR.10.4285.

[5] 顾东风,黄广勇,何江,等. 中国心力衰竭流行病学调查及其患病率[J]. 中华心血管病杂志,2003,31(1):3-6. DOI: 10.3760/j.issn:0253-3758.2003.01.002.

Gu DF, Huang GY, He J, *et al.* Investigation of prevalence and distributing feature of chronic heart failure in Chinese adult population[J]. Chin J Cardiol, 2003, 31(1):3-6. DOI:10.3760/j.issn:0253-3758.2003.01.002.

[6] Schoellnast H, Deutschmann HA, Fritz GA, *et al.* MDCT angiography of the pulmonary arteries: influence of iodine flow concentration on vessel attenuation and visualization[J]. Am J Roentgenol, 2005, 184(6): 1935-1939. DOI: 10.2214/ajr.184.6.01841935.

[7] Kang EJ, Lee J, Lee KN, *et al.* An initial randomised study assessing free-breathing CCTA using 320-detector CT[J]. Eur Radiol, 2013, 23(5):1199-1209. DOI: 10.1007/s00330-012-2703-z.

[8] Liu Z, Sun Y, Zhang Z, *et al.* Feasibility of free-breathing CCTA using 256-MDCT[J]. Medicine (Baltimore), 2016, 95(27): e4096. DOI: 10.1097/MD.0000000000004096.

[9] 梁俊福,王辉,徐磊,等. 256 层 CT 单个心动周期冠状动脉成像在高心率患者中应用的可行性研究[J]. 中华放射学杂志,2017,51(2):108-113. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2017.02.006.

Liang JF, Wang H, Xu L, *et al.* Feasibility study of coronary CT angiography in single cardiac cycle in patients with high heart rate using 256-row detector CT[J]. Chin J Radiol,2017,51(2):108-113. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2017.02.006.

(编辑:郑真真)