

## · CT 低剂量扫描 ·

# 双源 CT 大螺距前瞻心电触发血管成像 评价全主动脉及冠状动脉

张楠 李宇 吕元 赵龙 耿薇 范占明

**【摘要】** 目的 利用 128 层双源 CT 心电门控大螺距扫描 (FLASH) 血管成像技术评价全主动脉及冠状动脉, 探讨其在诊断大血管疾病的同时对冠状动脉评价的可行性。方法 本研究为前瞻性研究, 入组患者为 48 例临床诊断或可疑主动脉病变, 行全主动脉 CTA 检查的患者。在不控制心率的条件下, 使用双源大螺距前瞻心电触发 FLASH 扫描模式 (螺距 3.2), 行全主动脉及冠状动脉一次性联合成像。采用多种重组方式显示主动脉及主动脉瓣、冠状动脉图像, 比较低心率组 20 例 ( $\leq 65$  次/min) 和高心率组 28 例 ( $> 65$  次/min) 受检者全主动脉和冠状动脉图像质量。记录扫描时间、有效辐射剂量、对比剂用量。利用 *Kappa* 检验比较观察者间差异; *Mann-Whitney* 检验比较计数资料组间差异; 方差检验比较计量资料组间差异。结果 48 例受检者均成功完成检查。100% (48/48) 的全主动脉及主动脉瓣、94.0% (551/586) 的冠状动脉节段图像可用于诊断。其中低心率组冠状动脉检查成功率略高于高心率组 [94.7% (232/245)、93.5% (319/341),  $Z = -2.504, P < 0.05$ ]。2 名观察者在 95.8% (46/48) 患者的主动脉及主动脉瓣、96.6% (566/586) 的冠状动脉节段取得一致图像质量评分, 观察一致性为优 (*Kappa* = 0.81 和 0.89)。所有患者图像平均 CT 值均高于 300 HU。低心率组图像 CT 值 [(357.0 ~ 446.0) HU] 高于高心率组 [(316.4 ~ 383.7) HU], 但差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。除右冠状动脉近段, 低心率组图像 CNR (24.5 ~ 29.0) 明显高于高心率组 (20.0 ~ 23.1,  $P < 0.05$ ), 且主动脉 SNR (13.7 ~ 17.9) 明显高于高心率组 (11.5 ~ 13.9,  $P < 0.05$ )。平均扫描时间 ( $1.56 \pm 0.08$ ) s, 有效辐射剂量为 ( $4.12 \pm 1.23$ ) mSv, 对比剂用量 ( $72.8 \pm 2.1$ ) ml。结论 双源 CT 大螺距心电门控 CTA 检查能够快速 ( $< 2$  s) 完成全主动脉和冠状动脉一次性联合扫描, 对大血管疾病诊断的同时可用于冠状动脉评价, 且辐射剂量和对比剂用量较低。但高心率能导致冠状动脉图像质量下降。

**【关键词】** 主动脉; 冠状血管; 血管造影术; 体层摄影术, 螺旋计算机

**Electrocardiographically triggered CT angiography of the whole aorta and coronary arteries with high-pitch dual-source CT** ZHANG Nan\*, LI Yu, LÜ Yuan, ZHAO Long, GENG Wei, FAN Zhan-ming. \* Department of Medical Image, Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University, Beijing 100029, China

Corresponding author: FAN Zhan-ming, Email: fanzm120@tom.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the feasibility of comprehensive assessment of the whole aorta and coronary arteries (CA) simultaneously with high-pitch 128-slice dual-source CT ECG-gated FLASH protocol. **Methods** A total of 48 consecutive patients with suspected aortic diseases underwent CTA examination of the whole aorta and CA using a ECG-gated FLASH CT protocol (pitch = 3.2) without heart rate (HR) control. Aorta, aortic valves and CA were shown with different post-processing modalities. The image quality of the aorta, aortic valves and CA was evaluated and compared according to HR (low HR group  $\leq 65$  bpm, high HR group  $> 65$  bpm). The scan time, effective dose and contrast medium volume were recorded. Inter-observer differences were calculated by *Kappa* test. Differences between groups were analyzed by *Mann-Whitney* test with count data and variance test with measurement data. **Results** All examinations

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2013.04.005

基金项目: 国家自然科学基金面上资助项目 (30970822)

作者单位: 100029 首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科 (张楠、李宇、赵龙、耿薇、范占明); 首都医科大学附属北京佑安医院功能检测科 (吕元)

通信作者: 范占明, Email: fanzm120@tom.com

were completed successfully. The image quality was acceptable in the aorta, aortic valve (100%, 48/48) and CA (94.0%, 551/586). Percentage of diagnostic quality images was slightly higher in low HR group (94.7%, 232/245, 93.5%, 319/341,  $Z = -2.504$ ,  $P < 0.05$ ). Inter-reader reproducibility was 95.8% (46/48) in the aorta and aortic valve, 96.6% (566/586) in CA, yielded good agreement ( $Kappa = 0.81$  and  $0.89$ ). The mean attenuation of aorta and CA were higher than 300 HU, especially in low HR group (357.0—446.0) HU. Except proximal segment of right CA, the CNR of whole aorta and coronary arteries were significantly higher in the low HR group (24.5—29.0) than that in the high HR group (20.0—23.1,  $P < 0.05$ ). SNR of the whole aorta was higher in the low HR group (13.7—17.9) than the high HR group (11.5—13.9,  $P < 0.05$ ). The mean scan time was  $(1.56 \pm 0.08)$  s, effective dose was  $(4.12 \pm 1.23)$  mSv ( $2.77$ — $6.77$  mSv), and contrast medium volume was  $(72.8 \pm 2.1)$  ml. **Conclusions** CT angiography of whole aorta and coronary arteries could be performed simultaneously within 2 seconds with CT ECG-gated FLASH protocol. The images were of diagnostic quality for aortic and CA disease with low dose of radiation and contrast media. However, high HR could decrease the image quality of CA.

**【Key words】** Aorta; Coronary vessels; Angiography; Tomography, spiral computed

大血管疾病是临床常见的心血管疾病之一,常合并有冠状动脉病变<sup>[1-3]</sup>,而是否合并冠状动脉病变将决定治疗方案制订(包括手术时机和方式),还将影响患者预后<sup>[1,3]</sup>。因此,大血管疾病患者术前对冠状动脉评价极为重要。

CTA 是大血管疾病检查最常用的影像方法之一,能快速对病变作出准确诊断及全面的评价。临床上,主动脉 CTA 通常采用非心电门控扫描,但由于心脏搏动伪影无法满足对冠状动脉的评价。而心电门控扫描模式,由于对心率要求高(心律齐和心率 65 次/min 以下),以及高辐射剂量的原因,不能常规用于临床<sup>[3,9]</sup>。128 层双源螺旋 CT 大螺距扫描模式具有更快的扫描速度(43 cm/s)和时间分辨率(75 ms)<sup>[10]</sup>,能够极大地缩短扫描时间,降低电离辐射剂量和对比剂用量<sup>[6,9,11]</sup>。

本研究中笔者目的是利用 128 层双源 CT 心电门控大螺距(FLASH)扫描模式进行全主动脉血管成像,在诊断大血管疾病同时评价冠状动脉。比较不同心率下主动脉和冠状动脉图像质量,评价对比剂用量以及辐射剂量,确定其在诊断大血管疾病的同时评价冠状动脉的可行性和可靠性。

## 资料与方法

### 一、患者选择

2012 年 6 月至 7 月,48 例经 CT 或超声检查诊断或可疑大血管疾病患者,其中男 38 例(79.2%),女 10 例(20.8%),年龄 18~82 岁,平均(55±16)岁。平均心率(69±11)次/min(47~101 次/min),平均心率变异率(heart rate variability, HRV)为 1.61 次/min,体质指数(BMI)为(23.0±2.5)kg/m<sup>2</sup>。所有患者均在我院行全主动脉 CTA 检查。受检患者均无 CT 检查禁忌证,无心房颤动等

严重心律不齐,碘过敏试验阴性,且知情同意。

### 二、检查方法

CTA 扫描采用德国西门子 Somatom Definition Flash 双源螺旋 CT 机,心电门控 FLASH 模式扫描方案。扫描范围自胸廓入口至耻骨联合。X 线管旋转时间 0.28 s,准直 128×0.6 mm,层厚 0.6 mm,螺距 3.2,管电压 120 kV,有效管电流 400 mAs。对比剂采用两相注射法,通过双筒高压注射器经肘正中静脉推注高浓度非离子型碘对比剂(碘比醇, 350 mg I/ml),流率 4.0~4.5 ml/s,对比剂总量根据扫描时间及注药流率决定[总量=流率×(扫描时间+15 s)];随后以相同流率追加 30 ml 生理盐水。应用对比剂跟踪技术启动扫描,ROI 置于降主动脉近段,ROI 内 CT 值到达 100 HU 时延迟 10 s 自动触发扫描。患者屏气,由前瞻性心电门控触发并在 60% R-R 间期时相开始扫描及采集数据,Z 轴扫描范围为(614.9±34.5)mm,扫描时间(1.56±0.082)s。

### 三、数据重建

1. 冠状动脉重建:自气管隆突层面至心脏膈面,采用 B26f Medium Smooth ASA 算法重建,层厚 0.6 mm,FOV 220 mm×220 mm。

2. 全主动脉重建:自胸廓入口至耻骨联合,采用 B30 Medium Smooth 算法重建,层厚 1.1 mm,FOV 320 mm×320 mm。

### 四、图像后处理及分析

将受检者按照检查时心率分为 2 组,低心率组(≤65 次/min)和高心率组(>65 次/min)。分别计算并比较 2 组受检者 CTA 图像客观参数及主观参数。

由 2 名有 5 年以上 CTA 和心血管影像诊断经验的医师独立分析图像,评价冠状动脉和主动脉图

像质量及病变程度。数据传输至西门子后处理工作站(Syngo Multi Modality Work Place, CT 2011A),应用 Circulation 软件及 3D 软件对冠状动脉和主动脉图像进行分析。

1. 客观评价:应用统一窗宽、窗位进行图像评价。分别于升主动脉、胸降主动脉、主动脉窦、左主干、左前降支近段、回旋支近段、右冠状动脉近段、腹主动脉的肾动脉水平 8 个部位,尽量避开钙化及斑块区域,测定平均 CT 值及噪声值(SD),并分别计算、比较信噪比(signal to noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)。SNR = 管腔平均 CT 值/管腔 CT 值的 SD; CNR = (管腔平均 CT 值 - 脂肪平均 CT 值)/脂肪 CT 值的 SD。脂肪的平均 CT 值及其 SD 值测量选择纵隔内主动脉旁脂肪组织。

2. 主观评价:主动脉及冠状动脉图像质量评分以 4 分制进行<sup>[12]</sup>:1 分为管壁及管腔显示清晰,未见明显伪影;2 分为管壁及管腔显示欠清晰,可见少量伪影,对管腔观察有轻度影响;3 分为管壁及管腔显示欠清晰,可见较重的伪影,对管腔观察有一定程度的影响,尚可用于诊断;4 分为出现错层、中断,严重伪影,无法观察管腔内的状况,不能诊断。其中图像质量为 3 分以下可用于诊断。

按照美国心脏病协会(American Heart Association, AHA)的标准<sup>[13]</sup>,将冠状动脉分为 15 个节段,其中管腔直径 < 1.5 mm 的冠状动脉及其分支不作进一步评价。冠状动脉病变定义为冠状动脉管腔狭窄程度 > 50% 或 Stanford A 型主动脉夹层累及冠状动脉开口。

### 五、辐射剂量

本研究统计的辐射剂量不包括定位像和触发扫描的剂量。通过 CT 自动计算得到容积 CT 剂量指数(CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product, DLP),由 DLP 乘以特定的转换系数 k 来估计出有效剂量(effective dose, ED)。转换系数 k 值参考欧盟委员会质量标准指南,  $k = 0.017 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  用于计算<sup>[11]</sup>。

### 六、统计学分析

使用 SPSS 19.0 软件进行数据的统计学处理。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,计数资料以百分比表示。2 名医师评价图像质量的一致性用 Kappa 检验, Kappa 值 > 0.81 表示一致性很好。计数资料组间差异用 Mann-Whitney 检验比较,计量资料组间差异用方差检验比较,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

48 例患者均成功完成检查,所有患者检查过程中均未出现任何不良反应或危重状况。低心率组( $\leq 65$  次/min)20 例,平均心率( $59 \pm 6$ )次/min,平均 HRV 1.75 次/min,平均 BMI( $22.0 \pm 1.3$ ) $\text{kg}/\text{m}^2$ ,对比剂平均流速( $4.1 \pm 0.1$ )ml/s,平均流量( $74.1 \pm 2.3$ )ml。高心率组( $> 65$  次/min)28 例,平均心率( $76 \pm 7$ )次/min,平均 HRV 1.51 次/min,平均 BMI( $23.7 \pm 3.2$ ) $\text{kg}/\text{m}^2$ ,对比剂平均流速( $4.3 \pm 0.4$ )ml/s,平均流量( $71.7 \pm 1.9$ )ml。

### 一、客观评价

所有患者 CTA 图像平均 CT 值均高于 300 HU,其中全主动脉平均 CT 值均高于 370 HU。低心率组图像 CT 值均高于高心率组,且主动脉图像 SD 值均低于高心率组,但差异无统计学意义。

除右冠状动脉近段,低心率组图像 CNR 值明显高于高心率组,且主动脉 SNR 值明显高于高心率组( $P$  值均 < 0.05,表 1)。

### 二、主观评价

1. 全主动脉及主动脉瓣膜图像质量:48 例受检者主动脉及主动脉瓣膜图像质量均可达到 1~2 级,可用于临床诊断。观察者间结果一致率为 95.8% ( $Kappa = 0.81$ )。其中高心率组个别受检者由于心率过快( $> 100$  次/min),升主动脉可见轻度运动伪影。

2. 冠状动脉图像质量:显示的 637 个血管节段中,586 个节段图像可进行评估,其中图像质量在 1~3 级的节段为 94.0% (551/586)。观察者间的一致性很好(96.6%,  $Kappa = 0.89$ )。低心率组冠状动脉检查成功率略高于高心率组(94.7%、93.5%),差异有统计学意义( $P < 0.05$ ,表 2),但高心率受检者( $HR > 90$  次/min)仍可保证较好的冠状动脉图像质量(图 1,2)。48 例 CTA 图像均未见阶梯伪影。

3. 冠状动脉受累情况:48 例受检者中罹患冠心病(管腔狭窄程度大于 50%)共 14 例(29.2%),34 个节段(7.6%),均伴随不同大血管疾病(图 3~6)。Stanford A 型主动脉夹层共 5 例,其中夹层累及冠状动脉 2 例,均为右冠状动脉(图 7~12)。

4. 全主动脉及瓣膜受累情况:48 例受检者全主动脉及主动脉瓣未见明显异常者 9 例(18.8%),夹层患者 15 例(31.2%),主动脉瘤患者 12 例(25.0%),壁间血肿及穿透性溃疡 6 例(12.5%)。

表 1 低、高心率组患者全主动脉、冠状动脉各节段 FLASH 一次性联合检查图像客观参数

组别	例数	升主动脉				胸降主动脉			
		CT(HU)	SD(HU)	SNR	CNR	CT(HU)	SD(HU)	SNR	CNR
低心率组	20	446.0 ± 106.5	25.3 ± 5.0	17.9 ± 4.0	29.0 ± 7.2	421.3 ± 94.9	31.0 ± 5.3	13.7 ± 2.8	27.8 ± 7.0
高心率组	28	383.7 ± 99.5	28.2 ± 7.9	13.9 ± 2.8	23.1 ± 4.8	379.1 ± 84.6	35.5 ± 15.4	11.5 ± 2.8	23.0 ± 4.6
F 值		4.321	2.082	17.104	11.960	2.620	1.519	7.866	7.983
P 值		0.043	0.156	0.000	0.001	0.112	0.224	0.007	0.007

组别	主动脉窦				左主干			
	CT(HU)	SD(HU)	SNR	CNR	CT(HU)	SD(HU)	SNR	CNR
低心率组	425.7 ± 101.5	29.9 ± 7.3	14.8 ± 4.1	28.0 ± 7.3	410.5 ± 103.4	40.3 ± 18.3	12.0 ± 5.7	27.1 ± 6.7
高心率组	375.4 ± 102.9	32.5 ± 10.1	11.9 ± 2.5	22.7 ± 4.6	370.6 ± 105.7	38.0 ± 16.7	10.6 ± 3.1	22.5 ± 5.2
F 值	2.815	1.004	9.749	9.592	1.697	0.212	1.169	7.200
P 值	0.100	0.322	0.003	0.003	0.199	0.647	0.285	0.010

组别	左前降支近段				回旋支近段			
	CT(HU)	SD(HU)	SNR	CNR	CT(HU)	SD(HU)	SNR	CNR
低心率组	357.0 ± 112.9	51.3 ± 17.4	7.9 ± 3.9	24.5 ± 8.2	383.9 ± 113.3	50.2 ± 20.6	8.9 ± 5.0	25.4 ± 5.3
高心率组	316.4 ± 95.7	46.0 ± 17.9	8.1 ± 4.4	20.0 ± 4.7	331.5 ± 107.8	49.5 ± 26.8	7.8 ± 3.2	20.7 ± 5.1
F 值	1.807	1.079	0.011	5.987	2.641	0.009	0.879	9.556
P 值	0.185	0.304	0.915	0.018	0.111	0.925	0.353	0.003

组别	右冠状动脉近段				腹主动脉			
	CT(HU)	SD(HU)	SNR	CNR	CT(HU)	SD(HU)	SNR	CNR
低心率组	370.5 ± 116.8	54.7 ± 19.3	7.4 ± 3.1	24.9 ± 6.7	397.3 ± 91.0	36.4 ± 6.3	11.2 ± 3.0	26.4 ± 6.6
高心率组	345.9 ± 94.7	47.0 ± 20.9	8.4 ± 3.6	21.3 ± 4.4	371.2 ± 85.4	35.1 ± 7.7	11.1 ± 3.4	22.8 ± 5.1
F 值	0.648	1.707	0.963	5.077	1.031	0.375	0.011	4.579
P 值	0.425	0.198	0.332	0.029	0.315	0.543	0.916	0.038

注:FLASH 为心电门控大螺距扫描模式;SD 为噪声值;SNR 为信号噪声比;CNR 为对比噪声比

A 型夹层累计主动脉瓣 3 例(6.3%),主动脉瓣钙化 4 例(8.3%)。冠状动脉病变均分布于主动脉夹层、主动脉瘤、壁间血肿并穿透性溃疡患者(表 3)。

表 2 低、高心率组患者全主动脉、冠状动脉 FLASH 一次性联合检查图像主观评价参数

组别	主动脉及主动脉瓣(例)				冠状动脉节段(段)			
	1分	2分	3分	4分	1分	2分	3分	4分
低心率组	20	0	0	0	199	25	8	13
高心率组	24	4	0	0	246	49	24	22
Z 值	-1.747				-2.504			
P 值	0.081				0.012			

注:FLASH 同表 1

表 3 主动脉病变类型及冠状动脉病变分布

检查结果	例数	冠状动脉病变例数
正常	9	0
Stanford A 型夹层	5	2
Stanford B 型夹层	10	4
主动脉壁间血肿	6	3
升主动脉扩张	2	0
主动脉窦瘤	4	0
胸主动脉瘤	5	2
腹主动脉瘤	3	3
髂动脉瘤	1	0
主动脉缩窄	1	0
瓣膜病	2	0

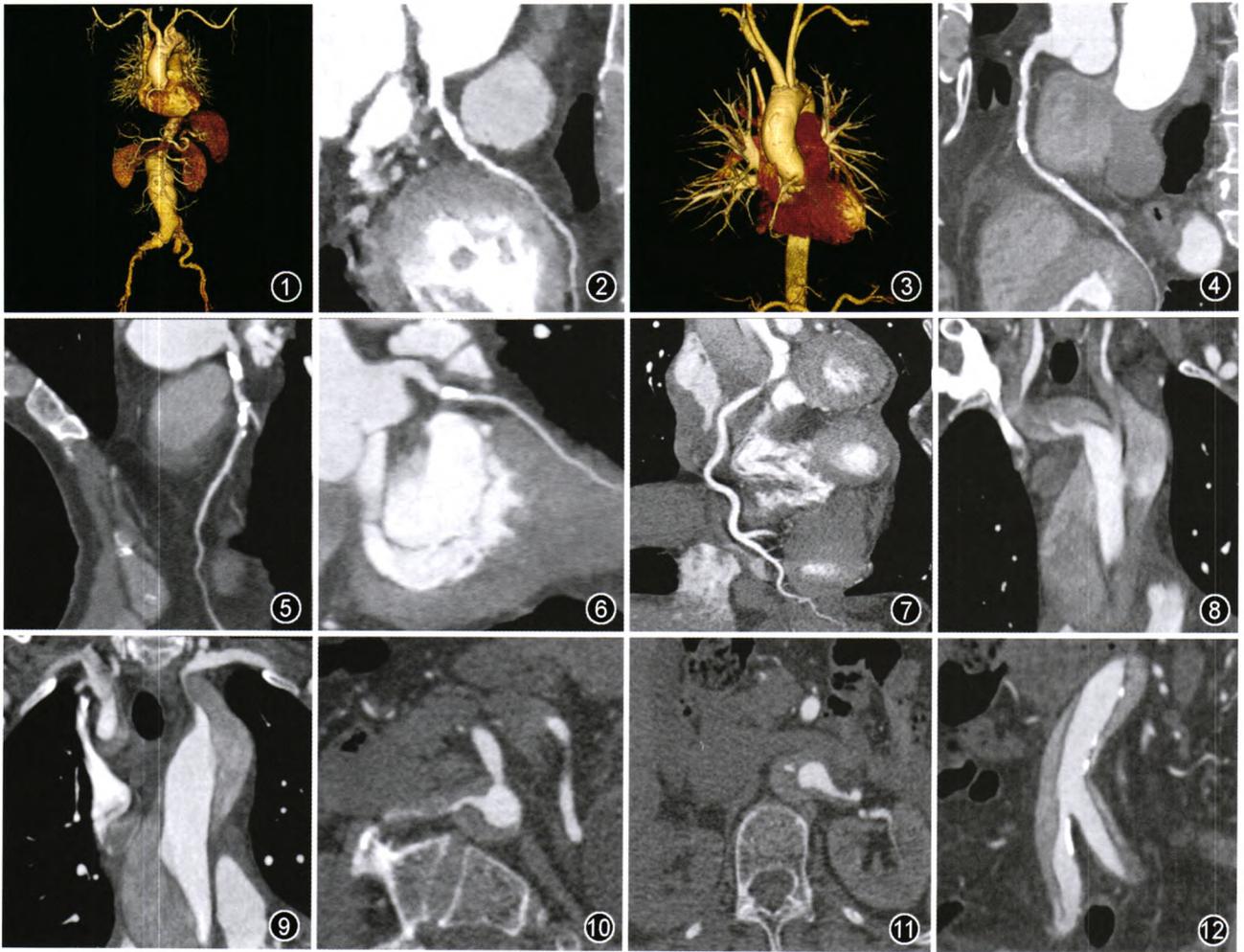
### 三、辐射剂量及对比剂用量

48 例全主动脉及冠状动脉 CTA 联合扫描 CTDIvol 为(4.44 ± 1.26) mGy(3.12 ~ 6.88 mGy)。DLP 为(294.53 ± 87.91) mGy · cm(197.5 ~ 483.4 mGy · cm)。ED 为(4.12 ± 1.23) mSv(2.77 ~ 6.77 mSv)。对比剂平均流率为(4.3 ± 0.2) ml/s, 平均流量(72.8 ± 2.1) ml。

### 讨论

大血管疾病常合并冠状动脉病变,研究发现,动脉硬化引起的胸腹主动脉及颈动脉内膜增厚与冠心病发病率呈正相关<sup>[2]</sup>。腹主动脉瘤及主动脉夹层患者,罹患不同程度冠心病比率分别为 21% ~ 58%<sup>[1]</sup> 和 22% ~ 35%<sup>[14-16]</sup>。尸检研究发现,Stanford A 型夹层患者约 7% 合并冠状动脉开口受累<sup>[15]</sup>。心血管事件的发生对于各类手术预后十分重要,尤其血管手术围术期发生心肌梗死或死亡比率较其他部位手术更高<sup>[17]</sup>。本研究中冠状动脉病变发生率与文献报道基本相符<sup>[1,14-16]</sup>。

冠状动脉 CTA 检查因心电门控扫描模式不同分为前瞻性和回顾性两种,均可同时对主动脉及冠状动脉进行评价。早期利用 64 层螺旋 CT 进行前瞻性及早回顾性心电门控扫描,为了保证图像质量,要



**图 1,2** 男,82 岁,因发现腹部搏动性肿块 3 个月余入院。行 CTA 检查时平均心率 90 次/min,律齐。图 1 为 CTA 图像,示腹主动脉迂曲,自肾动脉以远管腔呈瘤样扩张,同时累及双侧髂总动脉。图 2 示前降支各节段均可满足临床诊断,管壁不规则并钙化,管腔未见明显狭窄  
**图 3~6** 男,65 岁,心率 55 次/min。因发作性胸痛 6 年余,加重 1 个月入院。图 3 为 CTA 图像,示主动脉壁可见多发龛影形成。冠状动脉管壁不规则增厚并钙化,图 4~6 示右冠状动脉近段、左主干、回旋支近段管腔狭窄均超过 50% **图 7~12** 女,62 岁,心率 82 次/min。因急性胸痛 11 h 入院,CTA 示升主动脉至腹主动脉管腔内可见内膜片影及双腔结构。图 7 示右冠状动脉开口受压,管腔重度狭窄。图 8,9 示右侧无名动脉、双侧锁骨下动脉、双侧颈内动脉受累,可见内膜片摆动引起的轻度运动伪影。图 10,11 示双侧肾动脉起自真腔,开口受压;图 12 示双侧髂总动脉受累

求患者须心率低、律齐,并且成像时间长、辐射剂量高、对比剂用量高<sup>[6,9]</sup>。双源螺旋 CT 心电门控扫描,仍对心率有较高的要求,但扫描时间较 64 层螺旋 CT 明显减低,辐射剂量和对比剂用量也随之减少<sup>[8]</sup>。近年来,利用 320 排螺旋 CT 行前瞻式心电门控扫描,对高心率(>70 次/min)患者行胸主动脉及冠状动脉联合扫描取得了较满意的成果。但放射剂量和对比剂用量仍维持在较高水平[(21.14 ± 6.15) mSv, (88.70 ± 8.45) ml]<sup>[7]</sup>,不能用于临床常规检查。本研究利用双源 CT 心电门控大螺距扫描技术全面评价全主动脉及冠状动脉,较传统心电门控式扫描可以极大地缩短扫描时间,减小辐射剂量,以及对比剂的用量<sup>[6,9]</sup>。

FLASH 采集模式的特点是在保证图像无缝重

建的同时,获得尽可能大的螺距。获取完整的横断面图像,扫描时要求探测器旋转 180°(不包括探测器的扇面角度),双源螺旋 CT 由于具有 2 个 X 线管及对应的探测器,每个探测器仅需旋转 90°,因此时间分辨率可以降低至 1/4 旋转时间,螺距的理论值也可以达到 3.4<sup>[18]</sup>。采集心脏范围内的轴面图像,Z 轴上的扫描长度为 9.6~11.6 cm,大螺距扫描所需要的时间仅为 250~300 ms<sup>[19]</sup>。与传统的前瞻性心电门控扫描相比,该技术进一步消除了运动伪影产生的可能性。

由于采集心脏范围时所需扫描时间极短,有效地减少了呼吸运动对于图像质量的影响,心率对于图像质量的影响显得尤为突出。研究显示,心率及 HRV 对同时显示全主动脉及冠状动脉的图像质量

影响明显:随平均心率及平均 HRV 升高,冠状动脉图像的可诊断率逐渐降低(100%、98.9%、97.4%、92.7%)<sup>[11]</sup>。本研究中纳入高心率组患者心率平均水平仍较低,且相对平稳,无心房颤动等严重心律失常者。因此虽然高心率组图像质量尚可接受,但对于心率超过 100 次/分,或伴有严重心律失常,在不控制心率的情况下是否能保证冠状动脉图像质量尚待进一步研究。

本研究未考虑患者 BMI 分布可能对图像质量造成的影响;对冠状动脉的诊断性评价缺少与冠状动脉造影的对比,诊断的准确性还有待进一步研究。

### 参 考 文 献

- [1] Sun T, Cheng YT, Zhang HJ, et al. Severe coronary artery disease in Chinese patients with abdominal aortic aneurysm: prevalence and impact on operative mortality. *Chin Med J (Engl)*, 2012, 125: 1030-1034.
- [2] Meenakshisundaram R, Devidutta S, Michaels AD, et al. Significance of the intima-media thickness of carotid and thoracic aorta in coronary artery disease in the South Indian population. *Heart Views*, 2011, 12: 150-156.
- [3] 耿冀,俞婧,范占明,等. 双源 CT 血管造影综合评估 Stanford A 型主动脉夹层. *中国医学影像技术*, 2011, 27: 164-168.
- [4] Li Y, Fan Z, Xu L, et al. Prospective ECG-gated 320-row CT angiography of the whole aorta and coronary arteries. *Eur Radiol*, 2012, In press.
- [5] Blanke P, Baumann T, Bulla S, et al. Prospective ECG-triggered CT angiography of the thoracic aorta in patients with atrial fibrillation or accelerated heart rates: feasibility and image quality. *AJR Am J Roentgenol*, 2010, 194: W111-W114.
- [6] Shuman WP, Branch KR, May JM, et al. Whole-chest 64-MDCT of emergency department patients with nonspecific chest pain: Radiation dose and coronary artery image quality with prospective ECG triggering versus retrospective ECG gating. *AJR Am J Roentgenol*, 2009, 192: 1662-1667.
- [7] 李宇,范占明,俞婧,等. 前瞻性心电门控 320 排容积 CT 对全主动脉和冠状动脉的一站式成像. *中国医学影像技术*, 2010, 26: 1869-1872.
- [8] Blanke P, Bulla S, Baumann T, et al. Thoracic aorta: prospective electrocardiographically triggered CT angiography with dual-source CT: feasibility, image quality, and dose reduction. *Radiology*, 2010, 255: 207-217.
- [9] Fujioka C, Horiguchi J, Kiguchi M, et al. Survey of aorta and coronary arteries with prospective ECG-triggered 100-kV 64-MDCT angiography. *AJR Am J Roentgenol*, 2009, 193: 227-233.
- [10] Johnson T, Fink CS, Schönberg O. *Dual energy CT in clinic practice*. London: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011: 11-20.
- [11] Goetti R, Baumüller S, Feuchtnner G, et al. High-pitch dual-source CT angiography of the thoracic and abdominal aorta: is simultaneous coronary artery assessment possible? . *AJR Am J Roentgenol*, 2010, 194: 938-944.
- [12] Brodoefel H, Reimann A, Burgstahler C, et al. Noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography in an unselected patient collective: effect of heart rate, heart rate variability and coronary calcifications on image quality and diagnostic accuracy. *Eur J Radiol*, 2008, 66: 134-141.
- [13] Austen WG, Edwards JE, Frye RL, et al. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease: report of the Ad Hoc Committee for Grading of Coronary Artery Disease, Council on Cardiovascular Surgery, American Heart Association Circulation, 1975, 51 Suppl 4: 5-40.
- [14] Larson EW, Edwards WD. Risk factors for aortic dissection: a necropsy study of 161 cases. *Am J Cardiol*, 1984, 53: 849-855.
- [15] Creswell LL, Jouchoukos NT, Cox JL, et al. Coronary artery disease in patients with type A aortic dissection. *Ann Thorac Surg*, 1995, 59: 585-590.
- [16] Hirst AE Jr, Jones VJ Jr, Kime SW Jr. Aortic dissection aneurysm of the aorta: a review of 505 cases. *Medicine (Baltimore)*, 1958, 37: 217-279.
- [17] Eagle KA, Rihal CS, Mickel MC, et al. Cardiac risk of noncardiac surgery: influence of coronary disease and type of surgery in 3368 operations. CASS Investigators and University of Michigan Heart Care Program. *Coronary Artery Surgery Study*. *Circulation*, 1997, 96: 1882-1887.
- [18] Flohr TG, McCollough CH, Bruder H, et al. First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Eur Radiol*, 2006, 16: 256-268.
- [19] Stolzmann P, Leschka S, Scheffel H, et al. Dual-source CT in step-and-shoot mode: noninvasive coronary angiography with low radiation dose. *Radiology*, 2008, 249: 71-80.

(收稿日期:2012-07-24)

(本文编辑:任晓黎)