

第三代双源 CT 冠状动脉、头颈动脉一站式 CT 血管成像:低剂量技术的应用价值

向春林, 骆磊, 胡珊, 邹乾, 舒红格, 胡军武, 夏黎明

【摘要】 目的:探讨第三代双源 CT 低辐射剂量低对比剂用量在冠状动脉、头颈动脉一站式 CT 血管成像中的应用价值。**方法:**将临床怀疑冠状动脉和/或头颈动脉疾病的连续 60 例患者纳入研究,并随机分为低剂量组(A组)30 例和常规剂量组(B组)30 例。两组均采用第三代双源 CT 前瞻性大螺距模式行冠状动脉、头颈动脉一站式 CTA 检查,A 组采用 70 kV 管电压、30 mL 对比剂的低剂量模式,B 组采用 100 kV 管电压、40 mL 对比剂的常规剂量模式。将 A、B 两组图像采用 MPR、CPR、MIP 和 VR 技术进行图像后处理。由两位放射科医师对两组的冠状动脉和头颈动脉的图像质量进行主观评分,以节段为单位测量冠状动脉、头颈动脉的 CT 值、图像噪声值,计算信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR),并进行组间比较。比较两组中辐射剂量指标值(CTDIvol、DLP、ED)的差异。**结果:**A、B 两组之间冠状动脉和头颈动脉的主观质量评分的差异无统计学意义(冠状动脉: $Z = -0.257, P = 0.797$;头颈动脉: $Z = -0.961, P = 0.337$);两组间 SNR 和 CNR 的差异无统计学意义(升主动脉 SNR: $t = -1.203, P = 0.234$;升主动脉 CNR: $t = -1.845, P = 0.070$;左冠状动脉主干 SNR: $t = -0.132, P = 0.895$;左冠状动脉主干 CNR: $t = -0.324, P = 0.747$;右冠状动脉 SNR: $t = -1.058, P = 0.294$;右冠状动脉 CNR: $t = -1.251, P = 0.216$;颈总动脉 SNR: $t = -0.796, P = 0.429$;颈总动脉 CNR: $t = -0.561, P = 0.577$;椎动脉 V1 段 SNR: $t = 0.407, P = 0.685$;椎动脉 V1 段 CNR: $t = 0.521, P = 0.604$;颈内动脉 SNR: $t = -0.616, P = 0.540$;颈内动脉 CNR: $t = -0.516, P = 0.608$;基底动脉 SNR: $t = -0.442, P = 0.660$;基底动脉 CNR: $t = -0.325, P = 0.746$;大脑中动脉 M1 段 SNR: $t = 0.790, P = 0.443$;大脑中动脉 M1 段 CNR: $t = -0.938, P = 0.325$);A 组辐射剂量低于 B 组(CTDIvol: $t = -20.40, P = 0.000$;DLP: $t = -20.19, P = 0.000$;ED: $t = -19.49, P = 0.000$)。**结论:**第三代双源 CT 低剂量在冠状动脉、头颈动脉一站式 CT 血管成像能提供高质量的图像质量,并能大幅减小辐射剂量和碘对比剂用量。

【关键词】 双源 CT; 血管成像; 低剂量; 冠状动脉; 头颈动脉; 图像质量

【中图分类号】 R814.42; R543.3; R543.4 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2020)12-1610-08

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.12.022

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



One-stop CT angiography of coronary artery, head and neck artery using the third generation dual-source CT: application value of low-dose technique XIANG Chun-lin, LUO Lei, HU Shan, et al. Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

【Abstract】 Objective: The aim of the study was to investigate the application value of one-stop CT angiography in coronary artery, head and neck artery using the third generation dual-source CT with low radiation dose and low contrast agent dose. **Methods:** A total of 60 consecutive patients with suspected coronary artery and/or head and neck artery diseases were enrolled in the study and randomly divided into 30 low-dose group (group A) and 30 conventional-dose group (group B), both group A and group B underwent one-stop CT angiography imaging of coronary artery, head and neck artery using the prospective ECG-triggered high-pitch scanning mode at a third generation dual-source CT. Group A adopted the low-dose mode of 70kV tube voltage and 30mL contrast agent, and group B adopted the conventional-dose mode of 100kV tube voltage and 40mL contrast agent. Images of group A

作者单位: 430030 武汉, 华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科

作者简介: 向春林(1987-), 男, 湖北宜昌人, 硕士研究生, 主管技师, 主要从事临床放射技术工作。

通信作者: 夏黎明, E-mail: xialiming2017@outlook.com

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(81873889); 湖北省自然科学基金面上项目(2019CFB676)

and group B were reconstructed by MPR, CPR, MIP and VR technique respectively. Two radiologists subjectively rated the image quality of coronary artery, head and neck artery in two groups. CT attenuation values and image noise values of coronary artery, head and neck artery were measured in segments, and signal-noise ratio (SNR) and contrast-noise ratio (CNR) were calculated to obtain objective image quality. The differences of subjective score and objective image quality between the two groups were compared. The differences of radiation dose (CTDIvol, DLP, ED) between the two groups were compared. **Results:** There was no significant difference in subjective score of coronary artery, head and neck artery between group A and group B (coronary artery: $Z = -0.257, P = 0.797$; head and neck artery: $Z = -0.961, P = 0.337$). There was no significant difference in SNR and CNR between group A and group B (ascending aorta SNR: $t = -1.203, P = 0.234$; ascending aorta CNR: $t = -1.845, P = 0.070$; left main coronary artery SNR: $t = -0.132, P = 0.895$; left main coronary artery CNR: $t = -0.324, P = 0.747$; right coronary artery SNR: $t = -1.058, P = 0.294$; right coronary artery CNR: $t = -1.251, P = 0.216$; common carotid artery SNR: $t = -0.796, P = 0.429$; common carotid artery CNR: $t = -0.561, P = 0.577$; the V1 segment of the vertebral artery SNR: $t = 0.407, P = 0.685$; the V1 segment of the vertebral artery CNR: $t = 0.521, P = 0.604$; internal carotid artery SNR: $t = -0.616, P = 0.540$; internal carotid artery CNR: $t = -0.516, P = 0.608$; basilar artery SNR: $t = -0.442, P = 0.660$; basilar artery CNR: $t = -0.325, P = 0.746$; the M1 segment of the middle cerebral artery SNR: $t = 0.790, P = 0.443$; the M1 segment of the middle cerebral artery CNR: $t = -0.938, P = 0.325$). The radiation dose of group A was significantly lower than that of group B (CTDIvol: $t = -20.40, P = 0.000$; DLP: $t = -20.19, P = 0.000$; ED: $t = -19.49, P = 0.000$). **Conclusion:** Low-dose one-stop CT angiography of coronary artery, head and neck artery using third generation dual-source CT can provide high-quality image quality, and can greatly reduce the radiation dose and the amount of iodine contrast agent.

【Key words】 Dual-source CT; Angiography; Low-dose; Coronary artery; Head and neck artery; Image quality

动脉粥样硬化是一种全身性疾病,其发病机制相同,患者常表现为多个血管受累,在冠状动脉、头颈动脉粥样硬化通常同时存在。动脉粥样斑块容易导致血管狭窄或者发生突发性血栓事件,导致心肌梗死或脑栓塞^[1]。有研究^[2]表明不稳定的颈动脉斑块可用于预测冠状动脉疾病患者冠状动脉斑块的复杂程度和相应并发症的发展;据统计在超过三分之一的中风患者中存在无症状的冠状动脉疾病^[3]。因此,同时评价冠状动脉、头颈动脉血管是具有重要意义的。随着 MSCT 技术的发展,CTA 具有较高的时间和空间分辨率,已广泛应用于血管性疾病的诊断,尤其在冠状动脉和头颈动脉病变的诊断方面具有非常高的敏感性和特异性^[4-5]。然而,CTA 检查的电离辐射和对比剂肾功能损伤问题是不容忽视的,如何降低辐射剂量和对比剂用量一直是近年来研究的热点^[6-7]。第三代双源 CT (dual-source CT, DSCT) 具有更快的扫描速度 (0.25 s/r) 和更高的时间分辨率 (66 ms),为低剂量一站式成像提供了更广阔的应用空间。本研究旨在探讨第三代双源 CT 前瞻性心电门控大螺距扫描模式下,应用 70 kV 管电压和 30 mL 对比剂进行冠状动脉和头颈动脉一站式成像的图像质量和辐射剂量。

材料与方法

1. 临床资料

将本院 2019 年 9 月—2019 年 12 月因临床怀疑冠状动脉疾病和/或头颈血管疾病而拟行 CTA 检查的 85 例连续患者纳入观察,纳入标准:①心率 ≤ 75 次/分;②心率变异率 (variation of heart rate, HRV) ≤ 8 次/分;③身体质量指数 (body mass index, BMI) $\leq 26 \text{ kg/m}^2$ 。排除标准:①碘对比剂过敏;②肾功能不全;③有冠状动脉或头颈动脉手术史。根据这些标准 15 例患者被剔除,最终将 60 例患者纳入本研究。其中,男 25 例,女 35 例;年龄 35~73 岁,平均 (54.75 $\pm$ 8.75) 岁。将 60 例患者随机分均为 A、B 两组。

本研究为前瞻性研究,获得了本院伦理审查委员会的批准,所有患者在 CT 检查前知情并签署知情同意书。

2. 检查方法

检查前通知患者空腹,测量心率、身高和体重。所有 CTA 检查使用 Siemens Somatom Force 第三代双源 CT 机。检查中患者取仰卧位、头先进,用弹力绷带固定头部。在采集完定位像后,使用高压注射器经右

肘正中静脉注射对比剂碘海醇(350 mg I/mL),注射速率 5.0 mL/s,对比剂注射方案:A 组为 30 mL 对比剂+40 mL 生理盐水;B 组为 40 mL 对比剂+40 mL 生理盐水。采用对比剂团注追踪(bolus-tracking)触发扫描,将 ROI 放置在升主动脉,阈值为 100 HU,延迟 4 s 启动扫描,扫描范围自膈肌下 1 cm 至颅顶,扫描方向为足头方向。A 组采用 70 kV 固定管电压,B 组采用 100 kV 固定管电压,均采用自动管电流调制(CARE Dose 4D),图像质量参考成像条件为 100 kVp、288 mAs,其它扫描参数:前瞻性心电门控,65% R-R 间期,螺距 3.2,0.25 s/r,探测器准直宽度 192×0.6 mm,重建层厚 0.75 mm,重建间隔 0.50 mm,重建算法为高级模拟迭代重建(advanced modelled iterative reconstruction,ADMIRE),迭代强度 3,血管重建卷积核 Bv40。

3. 图像评价

所有图像传输至 Siemens Syngo.via 工作站,使用多平面重组(MPR)、最大密度投影(MIP)、曲面重组(CPR)和容积再现(VR)技术进行图像后处理。由两位放射科医师(分别有 3 年和 8 年影像诊断经验)分别独立进行评估,两位医师对所有被试的临床信息和扫描协议不知情。

图像质量主观评分:根据国际心血管 CT 协会(Society of Cardiovascular Computed Tomography, SCCT)2014 年发布的心血管病血管成像指南中推荐的冠状动脉分段标准^[8],将冠状动脉分为 18 段,分别进行评分,直径<1.5 mm 的冠状动脉节段不计入评分。对颈总动脉、颈内动脉、椎动脉、大脑前动脉、大脑中动脉、大脑后动脉和基底动脉共 7 支头颈动脉节段进行评分。采用 Likert 量表方法,将所有动脉的图像质量评分分为 4 级:4 分,图像质量优,无伪影;3 分,图像质量良好,存在轻度伪影,不影响诊断;2 分,图像上有中度伪影,图像质量一般,但仍可评价;1 分,图像质量差,无法诊断^[9-11]。评分为 2~4 分归为可评价血管,1 分为不可评价血管。

图像质量客观评价方法:分别在升主动脉根部、左冠状动脉主干、右冠状动脉近端、颈总动脉起始部、椎动脉 V1 段、颈内动脉起始部、基底动脉中段、大脑中动脉 M1 段共 8 支血管内放置 ROI,测量各目标血管的 CT 值及其标准差(standard deviation,SD),定义目标血管的 SD 值为噪声(noise,N)。所有 ROI 的放置约占血管截面积的 3/4,避开血管壁的钙化、斑块、狭窄和明显运动伪影区域。左冠脉主干和右冠脉近端的 CT 值在曲面重组图像上进行测量,并在升主动脉根部邻近的心包脂肪内勾画 ROI,测量其 CT 值^[12];颈总动脉、颈内动脉、椎动脉和大脑中动脉的 CT 值,均

取双侧测量值的平均值,并在同层面目标血管邻近的组织内(颈总动脉选择竖脊肌,颈内动脉和椎动脉 V1 段选择胸锁乳突肌,基底动脉选择脑干,大脑中动脉 M1 段选择 M1 段邻近的脑组织)勾画 ROI,测量其 CT 值,勾画 ROI 时应避开血管、骨骼和钙化。按照公式(1)和(2)分别计算各支动脉的信噪比(signal noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast noise ratio, CNR):

$$SNR = \frac{\text{目标血管 CT 值}}{N}$$

(1)

$$CNR = \frac{\text{目标血管 CT 值} - \text{邻近组织 CT 值}}{N}$$

(2)

4. 辐射剂量

每次扫描结束后记录机器自动生成的容积 CT 剂量指数(volume CT dose index,CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product,DLP),并按公式(3)计算有效辐射剂量(effective dose,ED):

$$ED = DLP \times k$$

(3)

本研究中胸部和头颈部扫描的 k 值分别取 0.014 mSv/(mGy·cm)^[13]和 0.0031mSv/(mGy·cm)^[14]。

5. 统计分析

使用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。定量资料以均数±标准差表示,分类变量以频数或百分数表示。两组图像质量主观评分的比较采用 Wilcoxon 秩和检验。对两位医师评分的一致性分析采用 Kappa 检验(Kappa≥0.75 为一致性好,Kappa<0.4 为一致性欠佳)。对两组图像的客观质量评价指标(CT 值、图像噪声、SNR 和 CNR)及辐射剂量(CTDIvol、DLP、ED)的比较采用两独立样本 t 检验(经检验所有指标的测量数据符合正态分布)。以 P<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. 基本临床资料和扫描参数

所有检查顺利完成,无并发症发生。两组患者基本临床资料和扫描参数的比较见表 1。两组之间年龄、身高、体重、BMI、心率、扫描前 HRV 和扫描范围的差异均无统计学意义(P>0.05)。

表 1 患者基本临床资料及扫描信息

指标	A 组	B 组	t/Z 值	P 值
年龄(岁)	58.56±7.85	56.33±9.57	0.988	0.327
身高(cm)	160.33±8.29	161.86±5.81	-0.829	0.411
体重(kg)	59.41±6.09	60.60±7.12	-0.691	0.492
BMI	23.15±2.21	23.14±2.55	0.029	0.977
HRV(次/分)	4.20±1.90	4.40±1.24	-1.100*	0.271*
扫描范围(mm)	476.37±31.44	474.53±30.04	0.232	0.817

注:* 数据呈非正态分布,采用秩和检验,统计量为 Z 值,其它指标的统计量为 t 值。

2. 两组图像主观评分的比较

在冠状动脉节段分析的基础上,对其图像质量进行主观评价。A 组有 384 个冠状动脉节段纳入评价,图像质量为优、良好、一般和差的节段分别占 87% (334/384)、10.9% (42/384)、1.3% (5/384) 和 0.8% (3/384)。B 组有 388 个冠状动脉节段纳入评价,图像质量为优、良好、一般和差的节段分别占 87.6% (340/388)、10.1% (39/388)、2 % (8/388) 和 0.3% (1/388)。两组图像的平均评分分别为 3.84 和 3.85,两组间图像质量评分的差异无统计学意义 ($Z = -0.257, P = 0.797$)。两位医师对冠状动脉图像质量评分的一致性良好(A 组: Kappa = 0.807, $P < 0.001$; B 组: Kappa = 0.781, $P < 0.001$)。

对 7 支头颈动脉进行图像质量主观评价, A 组有 208 个头颈动脉节段纳入评价,图像质量为优、良好和一般的节段分别占 92.3% (192/208)、7.2% (15/208) 和 0.5% (1/208)。B 组有 207 个头颈动脉节段纳入评价,图像质量为优、良好、和一般的节段分别占 94.7% (196/207)、4.3% (9/207) 和 1.0% (2/207)。两组中均没有图像质量差(1 分)的血管节段,平均评分分别为 3.92 和 3.94,两组之间图像质量主观评分的差异无统计学意义 ($Z = -0.961, P = 0.337$)。两位医师对头颈动脉图像质量评分的一致性良好(A 组: Kappa = 0.804, $P < 0.001$; B 组: Kappa = 0.817, $P < 0.001$)。

3. 两组图像质量的客观评价

对两组中 8 支血管的图像质量客观评价指标进行比较,详见表 2。

表 2 两组图像质量客观评价指标

指标	A 组	B 组	t 值	P 值
升主动脉				
CT 值(HU)	539.80±89.17	446.17±89.63	4.056	0.000
噪声(HU)	26.00±3.18	20.47±2.60	7.362	0.000
SNR	20.87±2.74	22.17±5.26	-1.203	0.234
CNR	24.93±2.57	26.96±5.43	-1.845	0.070
左冠状动脉主干				
CT 值(HU)	486.60±73.67	418.93±82.52	3.350	0.001
噪声(HU)	21.43±5.99	17.73±4.06	2.798	0.007
SNR	24.05±6.25	24.25±5.39	-0.132	0.895
CNR	29.34±7.76	29.93±6.07	-0.324	0.747
右冠状动脉				
CT 值(HU)	473.53±92.68	402.46±73.68	3.287	0.002
噪声(HU)	20.76±4.61	16.76±4.42	3.428	0.001
SNR	23.66±4.64	24.94±4.73	-1.058	0.294
CNR	28.98±6.89	31.09±6.13	-1.251	0.216
颈总动脉				
CT 值(HU)	547.50±109.12	473.00±107.45	2.664	0.010
噪声(HU)	20.77±4.38	16.50±4.02	3.927	0.000
SNR	27.82±9.82	29.61±7.43	-0.796	0.429
CNR	24.43±9.26	25.63±7.30	-0.561	0.577
椎动脉 V1 段				
CT 值(HU)	644.63±132.61	545.20±109.82	3.163	0.002
噪声(HU)	16.33±4.51	13.93±4.40	2.083	0.042
SNR	41.36±10.05	40.17±12.47	0.407	0.685
CNR	36.27±8.63	34.97±10.55	0.521	0.604
颈内动脉				
CT 值(HU)	625.30±124.93	532.77±110.14	3.043	0.004
噪声(HU)	19.60±5.02	16.50±5.42	2.295	0.025
SNR	33.52±9.32	35.17±11.34	-0.616	0.540
CNR	29.66±8.65	30.93±10.36	-0.516	0.608
基底动脉				
CT 值(HU)	575.73±111.02	477.17±67.45	4.156	0.000
噪声(HU)	20.73±5.35	16.67±4.39	3.214	0.002
SNR	30.01±11.35	31.21±9.68	-0.442	0.660
CNR	27.11±10.54	27.92±8.89	-0.325	0.746
大脑中动脉 M1 段				
CT 值(HU)	577.30±112.38	490.30±77.49	3.491	0.001
噪声(HU)	20.47±5.85	16.57±6.55	2.429	0.018
SNR	31.06±9.21	32.91±8.89	-0.790	0.433
CNR	27.51±8.34	29.42±7.45	-0.938	0.325

A 组中所有血管节段的 CT 值大于 B 组,差异均

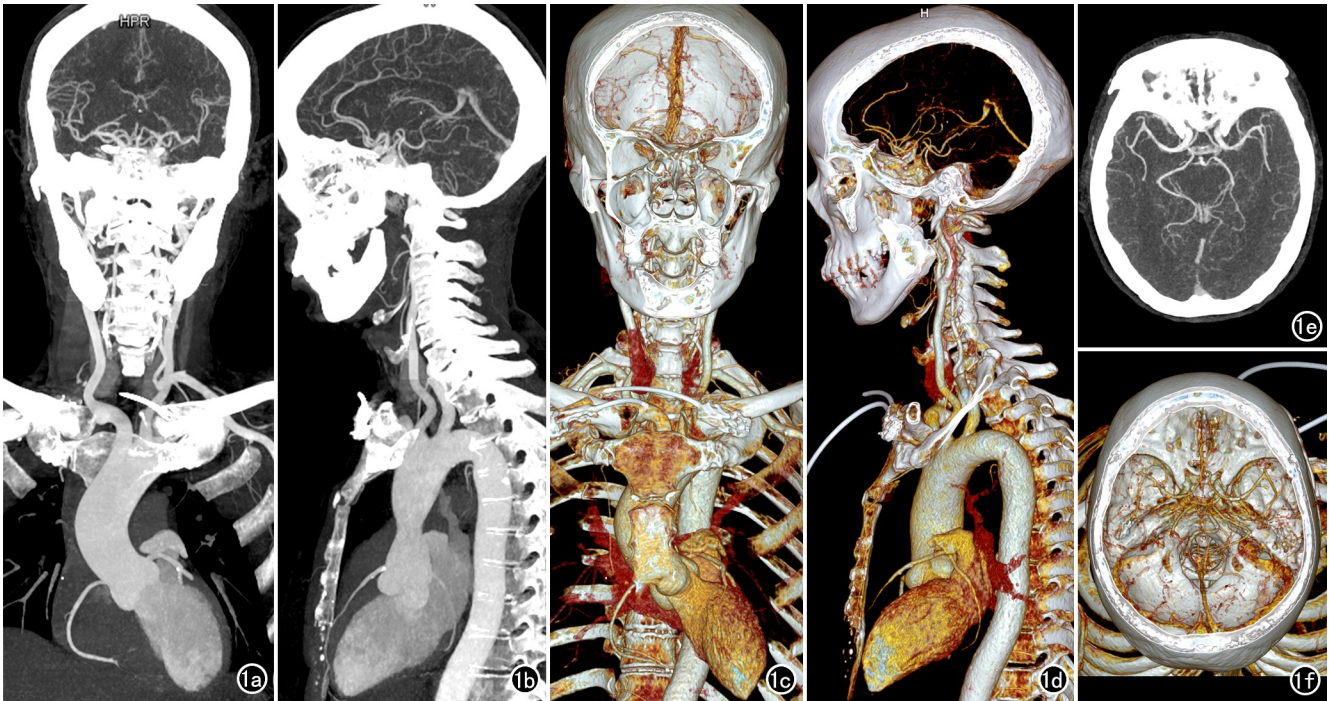


图 1 A 组患者,女,55 岁,冠状动脉、头颈动脉成像质量均较好。a)冠状面 MIP 图;b)矢状面 MIP 图;c)冠状面 VR 图;d)矢状面 VR 图;e)脑部血管横轴面 MIP 图;f)脑部血管 VR 图。

有统计学意义($P<0.05$)。A 组中所有血管节段的图像噪声大于 B 组,差异均有统计学意义($P<0.05$)。两组间所有血管节段的 SNR 和 CNR 的差异均无统计学意义($P>0.05$)。

4. 两组辐射剂量的比较

A 组的 3 项辐射剂量指标值(CTDIvol、DLP、ED)均显著低于 B 组,差异有统计学意义($P<0.05$)。A 组的 ED 较 B 组下降了 59.2%,详见表 3。A 组对比剂(30mL)用量较 B 组(40mL)减少了 25%。

表 3 两组辐射剂量的比较

指标	A 组	B 组	t	P 值
CTDIvol(mGy)	1.16±0.07	2.90±0.45	-20.40	0.000
DLP(mGy·cm)	60.60±4.62	148.88±23.49	-20.19	0.000
ED(mSv)	0.51±0.04	1.25±0.20	-19.49	0.000

讨 论

本研究的目的是合理的将冠状动脉、头颈动脉一站式成像时辐射剂量和对比剂用量降至极低水平。在本研究中,对于冠状动脉和头颈动脉一站式成像,我们评估了图像质量、辐射剂量和对比剂用量。通过第三代双源 CT 大螺距扫描模式,采用 70 kV 管电压,ED 降至(0.51±0.04) mSv,对比剂用量降至 30 mL,一站

式扫描冠脉动脉、头颈动脉成像质量均较好(图 1);与 100 kV 管电压相比,ED 降低了 59.2%,对比剂减少了 25%,并且有着同等可评价的图像质量(图 2~5)。

在目前常规 CT 检查中,CTA 对于冠脉动脉和头颈动脉的扫描需要分两次进行,这样容易增加辐射剂量和对比剂用量,检查相对费时。随着 CT 技术的快速发展,也曾有学者对于冠状动脉、头颈动脉一站式成像进行过探讨。张晓东等^[15]尝试采用 256 层 CT 前瞻性心电门控对冠状动脉、头颈动脉进行一站式成像,扫描的辐射剂量为(7.0±0.8) mSv,对比剂用量为 90 mL,获得了良好的图像质量。Wang 等^[16]采用第二代双源 CT 大螺距扫描进行冠状动脉、头颈动脉一站式成像,并与单独完成的冠状动脉成像的图像质量进行对比,结果显示两种扫描方法获得的图像质量具有可比性,DLP 为(256.3±24.5) mGy·cm,对比剂用量为 65 mL。Sun 等^[14]采用第二代双源 CT 大螺距扫描对冠状动脉、头颈动脉进行一站式成像,验证了一站式成像对于诊断血管狭窄具有较高的准确性,辐射剂量降低至(1.42±0.44) mSv,对比剂用量为 60 mL。这些研究均证实了冠状动脉和头颈动脉一站式扫描的可行性,所用的设备基本为第二代双源 CT 机,张晓东

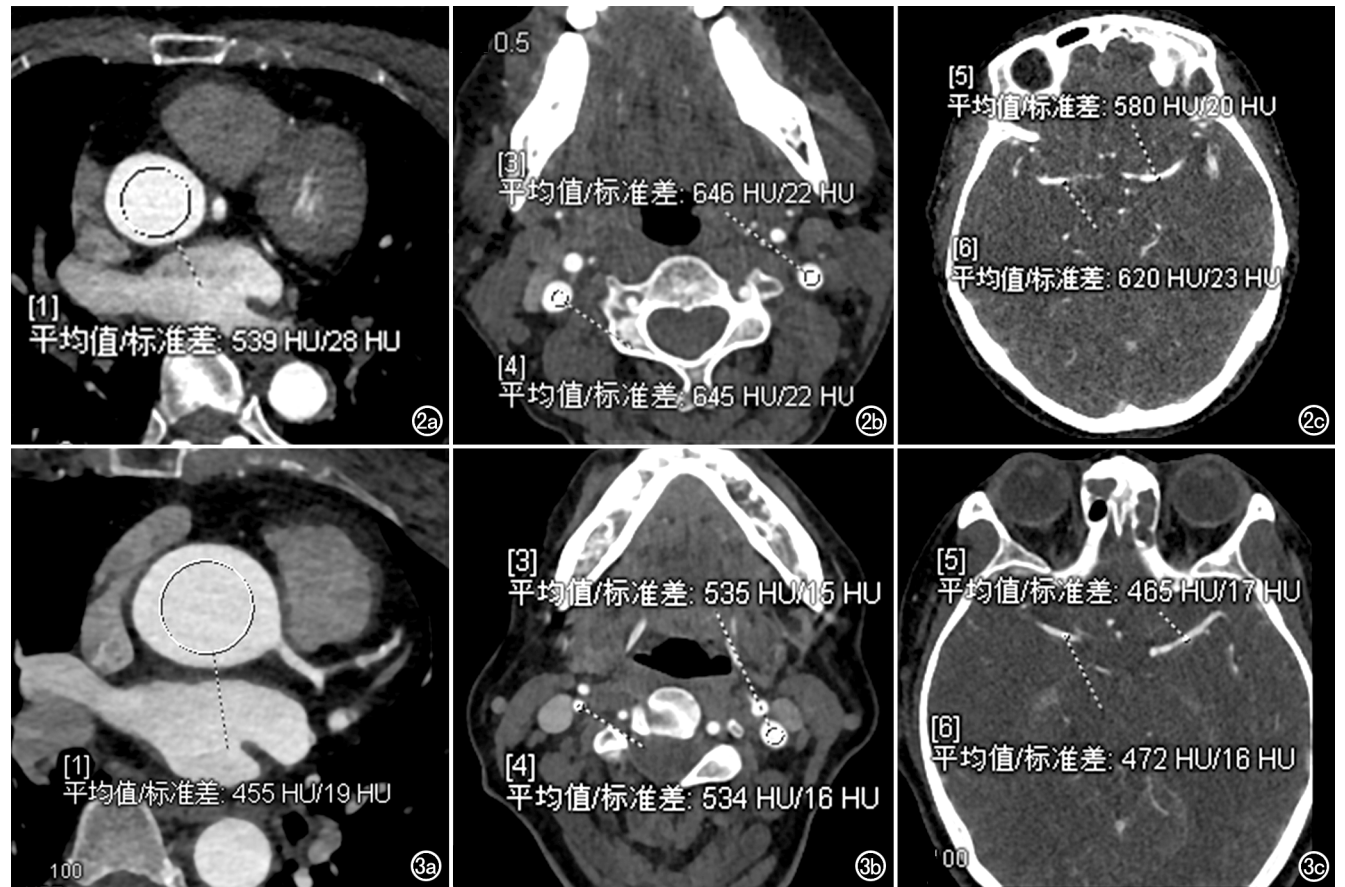


图 2 A 组(70kV)患者不同层面 CTA 图像,所测 CT 值较大,图像噪声较大。a)升主动脉根部;b)颈内动脉起始部;c)大脑中动脉 M1 段。 图 3 B 组(100kV)患者不同层面 CTA 图像,所测 CT 值相对较低,图像噪声相对较小。a)升主动脉根部;b)颈内动脉起始部;c)大脑中动脉 M1 段。

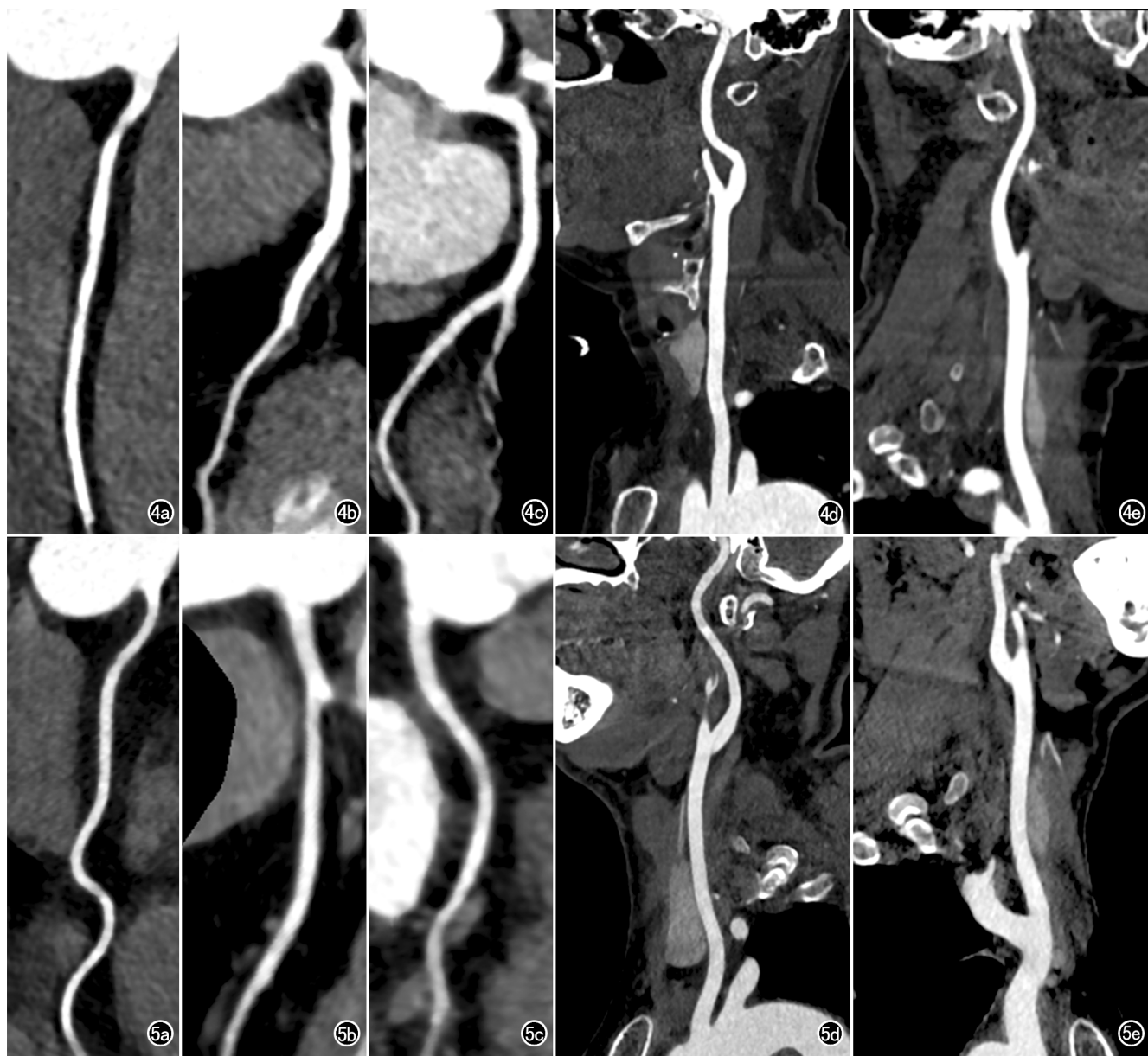


图 4 A 组患者的冠状动脉和颈总动脉 CPR 重组图像,显示图像质量好,与 B 组图像质量具有可比性,CPR 图像上血管轮廓清晰,管壁光滑,无运动伪影,图像质量主观评分为 4 分。a)右冠状动脉;b)左前降支;c)左回旋支;d)左侧颈总动脉;e)右侧颈总动脉。 图 5 B 组患者的冠状动脉和颈总动脉 CPR 重组图像,显示质量图像好,与 A 组的图像质量具有可比性。a)右冠状动脉;b)左前降支;c)左回旋支;d)左侧颈总动脉;e)右侧颈总动脉。

等^[15]和 Wang^[16]等采用的是 120 kV 的管电压,辐射剂量非常高,Sun 等^[14]采用 100 kV 管电压后辐射剂量大幅下降,但是对比剂用量仍较高,对心率的要求(需要<65 次/分)也更苛刻。目前国内外文献中涉及运用第三代双源 CT 机对冠状动脉、头颈动脉进行一站式成像的研究很少,本课题组对第三代双源 CT 机进行冠状动脉和头颈动脉的低辐射剂量低对比剂用量一站式成像的可行性和成像质量进行了分析。

在各种降低辐射剂量的方法中,降低管电压是最有效的方法。这是由于辐射剂量与管电压的平方成正比,因此 70 kV 管电压较常规管电压(120 kV)扫描可

显著降低辐射剂量。此外,随着管电压的降低,X 线束的有效光能更接近碘的衰减 k 缘^[17],70 kV 管电压扫描可以显著增强图像的对比度,从而可相应的降低对比剂的用量,也因此可降低对比剂诱发肾病的风险^[18]。然而,70 kV 管电压扫描也存在一定的局限性,包括图像噪声的增加和图像质量的降低。在以往的 CTA 检查中,图像质量在 70 kV 管电压条件下受到很大限制,这是因为以前的 CT 系统的管电流输出受限(500 mA),为了使图像质量满足诊断要求,需要更高的管电流或采用迭代重建技术来补偿因管电压降低而造成的图像质量下降^[19]。第三代双源 CT 为了

克服图像噪声的增加,采用了先进的 ADMIRE 迭代重建算法,120 kW 双球管的最大峰值管电可高达 1300 mA^[17]。新的迭代重建算法(ADMIRE)与传统重建算法(filter back projection,FBP)相比,降低图像噪声的效果更显著,且能显著降低辐射剂量和对比剂用量^[20]。前瞻性心电门控大螺距扫描模式与 70 kV 管电压联合使用,实现了亚 mSv(<1.0 mSv)条件下完成冠状动脉 CTA 并获得较满意的图像质量^[9,10,21]。Zhang 等^[10]的研究显示在冠状动脉成像中采用 70 kV 管电压较 100 kV 管电压的辐射剂量降低了 75%。70 kV 管电压在头颈部 CTA 中也实现了辐射剂量的显著降低,70 kV 管电压相较于 100 kV 管电压的辐射剂量降低了 56%^[11]。

第三代双源 CT 机的机架旋转速度(0.25 s/r)和移床速度(737 mm/s)极快,时间分辨率达 66 ms,大螺距扫描模式下使得对于患者心率的要求降低,且扫描速度提高。在本研究中,完成冠状动脉、头颈动脉一站式扫描仅需(0.75±0.12) s,这也为减少对比剂注射时间提供了支持,从而可以进一步减少对比剂用量。本研究在既往 70 kV 管电压条件下单独完成的极低对比剂用量冠状动脉 CTA^[10]和极低对比剂用量头颈动脉 CTA^[11]的研究基础上,采用 30 mL 对比剂完成扫描,并利用超短扫描时间来识别对比剂峰值时间。

本研究在 70 kV 管电压和 30 mL 对比剂用量下,得到了较好的血管增强图像,与 100 kV 管电压、40 mL 对比剂的扫描方案相比,SNR 和 CNR 均无明显差异。这是由于在 70 kV 时 CT 值增大,而图像噪声由于管电流增大和先进的 ADMIRE 迭代重建算法,所增加的幅度得到了比较好的控制。在 Meinel 等^[22]的研究中采用第三代双源 CT 对冠状动脉 CTA 体模进行扫描,管电压为 70~150 kV,结果显示在 70 kV 和 80 kV 时血管的 CNR 最高。Higashigaito 等^[23]运用第三代双源 CT 在评价冠状动脉搭桥血管时,发现在低千伏时允许减少对比剂用量并能保持恒定的 CNR。本研究中所有血管的 CT 值均达到诊断要求(>325 HU)^[24-25],SNR 和 CNR 也满足了先前报道的冠状动脉和头颈动脉诊断研究的要求^[11-12,26-27]。辐射剂量和对比剂用量低于既往的研究报道^[14-16]。本研究结果表明,第三代双源 CT 可以实现冠状动脉、头颈动脉一站式成像,图像质量较好,评估者一致性较高,最重要的是,我们使用了极低的辐射剂量和极低的对比剂用量。

本研究的主要局限性是缺乏与金标准 DSA 的直接比较,来评估这种方法的诊断效能。然而,第三代双源 CT 极低剂量在分开检查的冠状动脉和头颈动脉已经被证实是可靠的^[10-11]。另一个局限性是对患者有一

定的要求(心率≤75 次/分,BMI≤26 kg/m²),因为这是一个前瞻性扫描模式下极低辐射剂量、极低对比剂用量的初步可行性研究,为了避免组内高心率和肥胖者对于血管评价和图像质量可能产生的影响。最后,本研究的样本量较小,在后续的工作中,我们还需要更大的样本量做进一步探讨。

总之,第三代双源 CT 使用 70 kV 管电压、30 mL 对比剂行冠状动脉、头颈动脉一站式成像,获得了较好的血管增强图像,对患有冠状动脉和头颈动脉疾病的患者实现一站式低剂量检查具有重要的临床意义。

参考文献:

- [1] Hansson GK,Libby P,Tabas I.Inflammation and plaque vulnerability[J].J Intern Med.2015,278(5):483-493.
- [2] Seo Y,Watanabe S,Ishizu T,et al.Echolucent carotid plaques as a feature in patients with acute coronary syndrome[J].Circ J,2006,70(12):1629-1634.
- [3] Sen S,Oppenheimer SM.Cardiac disorders and stroke[J].Curr Opin Neurol,1998,11(1):51-56.
- [4] Ochs MM,Siepen F,Fritz T,et al.Limits of the possible;diagnostic image quality in coronary angiography with third-generation dual-source CT[J].Clin Res Cardiol,2017,106(7):485-492.
- [5] Jadhav AP,Jovin TG.Vascular imaging of the head and neck[J].Semin Neurol,2012,32(4):401-410.
- [6] Shen Y,Hu X,Zou X,et al.Did low tube voltage CT combined with low contrast media burden protocols accomplish the goal of "double low" for patients? An overview of applications in vessels and abdominal parenchymal organs over the past 5 years[J].Int J Clin Pract,2016,70(Suppl 9B):S5-S15.
- [7] 王晓瑜,祁荣兴,黄胜.低剂量冠状动脉 CTA 支架成像研究[J].放射学实践,2019,34(6):698-702.
- [8] Leipsic J,Abbara S,Achenbach S,et al.SCCT guidelines for the interpretation and reporting of coronary CT angiography:a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee[J].J Cardiovasc Comput Tomogr,2014,8(5):342-358.
- [9] Gordic S,Husarik DB,Desbiolles L,et al.High-pitch coronary CT angiography with third generation dual-source CT:limits of heart rate[J].Int J Cardiovasc Imaging,2014,30(6):1173-1179.
- [10] Zhang LJ,Qi L,De Cecco CN,et al.High-pitch coronary CT angiography at 70kVp with low contrast medium volume:comparison of 80 and 100kVp high-pitch protocols [J/OL].Medicine (Baltimore),2014,93(22):e92. DOI: 10.1097/MD.0000000000000092
- [11] Chen Y,Zhang X,Xue H,et al.Head and neck angiography at 70kVp with a third-generation dual-source CT system in patients:comparison with 100kVp[J].Neuroradiol,2017,59(11):1071-1081.
- [12] Meyersohn NM,Szilveszter B,Staziaki PV,et al.Coronary CT angiography in the emergency department utilizing second and third generation dual source CT[J].J Cardiovasc Comput Tomogr,2017,11(4):249-257.
- [13] Halliburton SS,Abbara S,Chen MY,et al.SCCT guidelines on

- radiation dose and dose-optimization strategies in cardiovascular CT[J].J Cardiovasc Comput Tomogr,2011,5(4):198-224.
- [14] Sun K, Li K, Han R, et al. Evaluation of high-pitch dual-source CT angiography for evaluation of coronary and carotid-cerebrovascular arteries[J]. Eur J Radiol, 2015, 84(3):398-406.
- [15] 张晓东,唐秉航,李芳云,等.256 层螺旋 CT 低剂量心脑血管联合成像初步研究[J].中华放射学杂志,2011,45(11):1008-1012.
- [16] Wang Z, Chen Y, Wang Y, et al. Feasibility of low-dose contrast medium high pitch CT angiography for the combined evaluation of coronary, head and neck arteries[J/OL]. PLoS One, 2014, 9(3):e90268. DOI:10.1371/journal.pone.0090268
- [17] Meyer M, Haubenreisser H, Schoepf UJ, et al. Closing in on the K edge: coronary CT angiography at 100, 80, and 70kV-initial comparison of a second-versus a third-generation dual-source CT system[J]. Radiology, 2014, 273(2):373-382.
- [18] Muhl C, Kok M, Altintas S, et al. Evaluation of individually body weight adapted contrast media injection in coronary CT-angiography[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(4):830-836.
- [19] Den Harder AM, Willeminck MJ, de Ruiter QM, et al. Dose reduction with iterative reconstruction for coronary CT angiography: a systematic review and meta-analysis[J/OL]. Br J Radiol, 2016, 89(1058):e20150068. DOI:10.1259/bjr.20150068
- [20] Solomon J, Mileto A, Ramirez-Giraldo JC, et al. Diagnostic performance of an advanced modeled iterative reconstruction algorithm for low-contrast detectability with a third-generation dual-source multidetector CT scanner: potential for radiation dose reduction in a multireader study[J]. Radiology, 2015, 275(3):735-745.
- [21] Leschka S, Stolzmann P, Desbiolles L, et al. Diagnostic accuracy of high-pitch dual-source CT for the assessment of coronary stenoses: first experience[J]. Eur Radiol, 2009, 19(12):2896-2903.
- [22] Meinel FG, Canstein C, Schoepf UJ, et al. Image quality and radiation dose of low tube voltage 3rd generation dual-source coronary CT angiography in obese patients: a phantom study[J]. Eur Radiol, 2014, 24(7):1643-1650.
- [23] Higashigaito K, Husarik DB, Barthelmes J, et al. Computed tomography angiography of coronary artery bypass grafts: low contrast media volume protocols adapted to tube voltage[J]. Invest Radiol, 2016, 51(4):241-248.
- [24] Isogai T, Jinzaki M, Tanami Y, et al. Body weight-tailored contrast material injection protocol for 64-detector row computed tomography coronary angiography[J]. Jpn J Radiol, 2011, 29(1):33-38.
- [25] Muhl C, Kok M, Altintas S, et al. Evaluation of individually body weight adapted contrast media injection in coronary CT-angiography[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(4):830-836.
- [26] Johnson TR, Nikolaou K, Wintersperger BJ, et al. Optimization of contrast material administration for electrocardiogram-gated computed tomographic angiography of the chest[J]. J Comput Assist Tomogr, 2007, 31(2):265-271.
- [27] Kim JJ, Dillon WP, Glastonbury CM, et al. Sixty-four-section multidetector CT angiography of carotid arteries: a systematic analysis of image quality and artifacts[J]. AJNR, 2010, 31(1):91-99.

(收稿日期:2020-06-08 修回日期:2020-08-02)