

· 超低剂量 CTA 研究专题 ·

70 kV 超低管电压低对比剂用量冠状动脉 CTA 研究

曹剑, 易妍, 王怡宁, 林路, 王明, 孔令燕, 薛华丹, 宋兰, 王志伟, 王少华, 张龙江, 卢光明, 金征宇

【摘要】 目的:通过与常规对比剂用量方案对比,探讨在装备整合回路探测器的双源 CT 上应用 70 kV 超低管电压、低对比剂流率和低对比剂用量的方案对体重指数正常($BMI \leq 25 \text{ kg/m}^2$)的患者行冠状动脉 CTA 检查的可行性。**方法:**应用装备整合回路探测器的双源 CT 对 50 例 $BMI \leq 25 \text{ kg/m}^2$ 的患者行前瞻性心电触发序列扫描。所有患者被随机分为两组:A 组对比剂流率和用量分别为 4.0 和 32 mL (350 mg I/mL),B 组对比剂流率和剂量为 4.0 和 50 mL (350 mg I/mL)。两组管电压均采用 70 kV,对原始数据进行 SAFIRE 迭代重建。比较两组患者的年龄、BMI 和心率,比较两组图像的背景噪声、信噪比和放射剂量,测量并比较两组图像冠脉各节段的管腔内的 CT 值和图像对比噪声比。以段为单位,对两组的冠脉图像质量采用 4 分法(1~4 分,优-无法评估)进行比较。**结果:**两组患者在年龄、BMI 和心率方面无显著性差异,两组图像的背景噪声、信噪比和放射剂量方面无显著性差异($P > 0.05$),平均有效辐射剂量约为 0.9 mSv。3 支冠脉主干远段 CT 值的比较,B 组显著高于 A 组;而冠脉近、中段及主动脉根部 CT 值的比较两组无显著性差异。在冠脉各节段对比噪声比方面,B 组均显著高于 A 组($P < 0.05$)。以段为单位,两组冠脉图像质量平均评分无显著性差异(A 组 1.16 ± 0.18 ,B 组 1.18 ± 0.18 , $P = 0.75$)。两组冠脉可评价节段率均 $> 98\%$ 。**结论:**在装备整合回路探测器的双源 CT 上对正常体重指数患者应用 70 kV 超低管电压、低对比剂流率和低对比剂用量的方案进行冠状动脉 CTA 的检查可以在亚毫希伏条件下获得满足临床诊断的图像质量,较常规方案对比剂用量显著减低。

【关键词】 冠状动脉疾病; 体层摄影术,X 线计算机; CT 血管成像; 辐射剂量

【中图分类号】 R814.42; R541.4; R814.3 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2014)06-0589-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2014.06.003

Preliminary study on ultra low tube voltage (70kV) sequential scan with low-volume contrast media protocol for dual-source CT coronary angiography CAO Jian, YI Yan, WANG Yi-ning, et al. Department of Radiology, Peking Union Medical College Hospital, Beijing 100730, P. R. China

【Abstract】 Objective: To investigate the application of ultra low tube voltage (70kV) for coronary artery CT angiography (CCTA) with low-volume contrast media and low injection rate on dual-source CT (DSCT) equipment with integrated circuit (IC) detector. **Methods:** Fifty patients with body mass index (BMI) not more than 25 kg/m^2 were scanned with a prospectively ECG-triggering sequential CCTA protocol on DSCT. All patients were randomly divided into two groups; the injection rate and volume of contrast in Group A was 4.0ml/s and 32mL (350mg I/mL); those in Group B were 4.0mL/s and 50mL (350mg I/mL), respectively. Tube voltage of both groups was 70kV. The raw data were reconstructed with sinogram affirmed iterative reconstruction (SAFIRE) technique. The differences of age, BMI, heart rate, background noise, signal-to-noise ratio (SNR) and radiation dose between the two Groups were compared. Besides, the CT value and CNR of the aortic root and each segment of coronary arteries were compared. And Image quality (1~4, excellent to non-assessable) between the two Groups was compared segment-based. **Results:** There were no significant differences in age, BMI, heart rate, background noise, SNR or radiation dose between the two Groups (all $P > 0.05$), and the mean ED was about 0.90mSv. The CT value of the distal segment of each coronary arteries in Group B was higher than Group A, while there were no significant differences in the proximal and median segments between the two groups. However, the CNR of each segment of coronary arteries in Group B were higher than Group A (all $P < 0.01$). Mean segment-based image quality scores showed no significant difference between the two Groups reconstructed with SAFIRE (Group A, 1.16 ± 0.18 , Group B, 1.18 ± 0.18 ; $P = 0.75$). The percentage of assessable segments in each Group were more than 98%. **Conclusion:** For patients with normal BMI, the use of tube voltage as 70kV with SAFIRE technique in DSCT equipped IC detector is feasible. And both the contrast injection rate and volume can be much lower.

【Key words】 Coronary artery disease; Tomography, X-ray computed; Angiography; Radiation dose

作者单位: 100730 北京, 中国医学科学院北京协和医院放射科(曹剑、易妍、王怡宁、林路、王明、孔令燕、薛华丹、宋兰、王志伟、王少华、金征宇); 210002 南京, 南京军区南京总医院放射科(张龙江、卢光明)

作者简介: 曹剑(1983—), 男, 北京人, 博士, 主要从事心血管影像及分子影像学研究。

通讯作者: 王怡宁, E-mail: wangyining@pumch.cn

基金项目: 北京市科技新星项目“光学-磁共振双模监测间充质干细胞治疗急性心肌梗死的实验研究”(Z121107002512072); 北京市自然科学基金面上项目“磁共振-光学双模监测干细胞结合功能化自组装多肽纳米支架治疗急性心肌梗死的实验研究”(7142133)

随着多层螺旋 CT 的迅速发展,冠状动脉 CT 血管造影(computed tomography angiography,CTA)检查成为筛查冠心病的安全、可靠的首选技术手段之一^[1,2]。然而,冠状动脉 CTA 检查所伴随的高辐射剂量成为限制冠状动脉 CTA 进一步推广的关键问题之一。由于 X 射线探测器技术的飞速发展,尤其是新型整合回路探测器的出现,能够有效减低噪声干扰,有望在降低管电压的同时减少对比剂用量^[3]。

本研究通过应用装备新型整合回路探测器的双源 CT 进行冠状动脉 CTA 检查,探究对于体型正常的患者采用低管电压、低对比剂流率和低对比剂用量的“三低”方案的可行性及临床价值。

材料与方法

1. 一般资料

入组标准:2013 年 11—12 月就诊临床疑似冠心病并行冠状动脉 CTA 检查的患者,身体质量指数(body mass index,BMI) ≤ 25 kg/m²。所有患者在检查前均签署知情同意书。

排除标准: BMI > 25 kg/m²、孕妇或哺乳期妇女、碘对比剂过敏、心律不齐、屏气不佳、冠状动脉搭桥术后、严重肝肾功能不全和失代偿性心功能不全者。

采用简单随机分组的方法将 50 例患者分为两组: A 组 25 例,对比剂(碘海醇,350 mg I/mL)注射流率和总量分别为 4 mL/s 和 32 mL; B 组 25 例,对比剂(碘海醇,350 mg I/mL)注射流率和总量分别为 4 和 50 mL。

2. 检查方法

冠状动脉 CTA 扫描设备为装备新型整合回路探测器的双源 CT(Somatom Definition Flash; Siemens Healthcare, Germany)。所有患者均未服用降心率药物,扫描前对患者进行严格的屏气训练,并于扫描前 3 min 舌下喷硝酸甘油 0.5~1.0 mg。扫描时先做胸部屏气定位像,扫描范围为气管分叉下方 10 mm 至心脏膈面。使用双筒高压注射器在肘前静脉注入对比剂,采用对比剂自动跟踪触发技术,触发点置于升主动脉根部,触发阈值 100 HU,当升主动脉根部 CT 值达到阈值后,机器延迟 5 s 后自动开始扫描,对比剂注射完成后以相同流率加注 50 mL 生理盐水。

扫描管电压为 70 kV,均采用 CARE Dose 4D 模式调节管电流。所有患者均行前瞻性心电触发序列扫描,根据患者心率自动设定心电脉冲窗范围:平均心率(heart rate,HR) ≤ 70 次/分时,心电脉冲的窗宽设置在 70% R-R 间期;70 次/分 $< HR \leq 90$ 次/分时,心电脉冲的窗宽设置在 30%~70% R-R 间期;HR > 90 次/分时,设置在 30%~45% R-R 间期。心电脉

冲窗外的管电流降至设定值的 20%。准直器宽度 64×0.6 mm,机架旋转时间 280 ms,时间分辨率 75 ms。扫描完成后记录相应的 CT 容积剂量指数(CT dose index volume,CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product,DLP),有效放射剂量(effective dose,ED)=DLP×转换系数[k 成人=0.014 mSv/(mGy·cm)]^[4]。

3. 图像后处理

所有患者均采用基于原始数据的迭代技术(sino-gram affirmed iterative reconstruction,SAFIRE)进行重建,层厚 0.75 mm,间隔 0.5 mm,卷积核值选择 I26f。选择无明显运动伪影的冠状动脉图像数据传送至后处理工作站(Syngo Circulation, Siemens Medical Solution, Germany)对图像进行 MPR、MIP 及 VR 等后处理。

4. 图像质量评价

定量评价:计算图像的信号噪声比(signal-to-noise,SNR)和对比噪声比(contrast-to-noise,CNR)。分别测量主动脉根部,前降支(近、中、远段),回旋支(近、远段)及右冠状动脉(近、中、远段)的管腔及邻近结缔组织成分 CT 值,感兴趣区(ROI)应尽可能大但注意避开管壁及钙化灶。以主动脉根部 ROI 内平均 CT 值的标准差(standard deviation,SD)作为图像噪声。SNR 和 CNR 的计算公式:

$$SNR = \frac{CTAO}{SDAO}$$

$$CNR_{lumen} = \frac{CT_{lumen} - CT_{tissue}}{SD_{tissue}}$$

定性评价:采用美国心脏协会推荐的 16 分段标准改良分段^[7]。在 16 段基础上将左心室后支定义为第 17 段,闭塞血管以远段不计入分析。冠状动脉图像质量 Likert 4 级评分法^[8]: I 级为血管显示良好,边界清晰,无搏动伪影或血管中断; II 级为血管有轻度搏动伪影; III 级为血管有中度搏动伪影; IV 级为血管显示不清,或有严重搏动伪影。质量评分为 I、II 和 III 级的血管为可评价血管;质量评分为 IV 级的血管为不可评价血管。全部图像由 2 名经验丰富的放射科医师采用双盲法对图像质量做出评分,并最终协商取得一致结果。

5. 统计学分析

采用 SPSS 18.0 软件对所得数据进行统计学分析,应用独立样本 *t* 检验比较两组患者年龄、心率、辐射剂量、图像质量、CT 值及对比噪声比的差异;应用 χ^2 检验比较两组冠状动脉平均分及可评价节段数百分比;用 Kappa 分析评价不同观察者冠状动脉图像质量评分的一致性。

结 果

所有患者均一次性顺利完成冠状动脉 CTA 检

查。经统计学分析,两组患者在年龄、BMI、心率、辐射剂量和图像噪声及信噪比方面无显著性差异($P>0.05$,表 1)。

表 1 两组患者一般资料比较

项目	A 组	B 组	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
年龄(岁)	62.2±9.9	61.3±10.4	0.279	0.781
BMI(kg/m ²)	22.5±2.3	22.1±2.1	-0.574	0.570
心率(次/分钟)	73.2±8.9	73.6±9.6	-0.253	0.802
CTDIvol(mGy)	5.18±1.11	5.01±1.17	1.920	0.061
ED(mSv)	0.94±0.21	0.87±0.20	1.973	0.054
图像噪声(HU)	40.78±9.62	41.93±5.77	-0.503	0.617
图像信噪比	18.45±3.57	18.09±2.17	0.300	0.766

主动脉根部及三支冠脉近、中段的 CT 值(表 2)两组之间无显著性差异($P>0.05$),而在冠脉远段,两组之间具有显著性差异(所有 $P<0.01$),A 组显著低于 B 组。

表 2 主动脉根部及冠脉各节段 CT 值

CT 值(HU)	A 组	B 组	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
AO	719.64±100.05	757.02±95.59	-0.899	0.373
LAD-p	696.78±113.89	736.53±68.84	-0.127	0.900
LAD-m	608.49±104.72	648.85±80.77	-1.099	0.283
LAD-d	431.70±110.73	660.20±92.54	-4.809	<0.001
LCX-p	654.17±119.92	667.71±84.31	-0.290	0.775
LCX-d	482.91±128.89	658.21±72.03	-3.508	0.002
RCA-p	656.13±97.75	700.63±76.11	-0.926	0.364
RCA-m	609.45±114.34	704.38±117.04	-1.824	0.081
RCA-d	513.49±152.73	643.78±118.07	-3.876	0.001

注:AO:主动脉根部,LAD:前降支,LCX:回旋支,RCA:右冠状动脉,p:近段,m:中段,d:远段。

结果显示,两组患者之间冠脉各节段 CNR 值均具有显著性差异($P<0.05$),A 组 CNR 显著低于 B 组(表 3)。

表 3 冠状动脉各节段 CNR

CNR	A 组	B 组	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
LAD-p	26.37±4.48	34.62±6.91	-3.709	0.001
LAD-m	23.95±6.57	32.20±12.63	-2.198	0.038
LAD-d	18.11±5.36	30.28±9.69	-3.639	0.003
LCX-p	25.91±6.28	34.79±14.84	-2.125	0.044
LCX-d	19.53±4.57	27.65±6.86	-3.556	0.002
RCA-p	27.21±5.96	32.28±15.14	-2.211	0.031
RCA-m	24.78±5.14	32.40±10.68	-2.690	0.013
RCA-d	21.89±5.90	31.67±5.89	-4.111	<0.001

注:AO:主动脉根部,LAD:前降支,LCX:回旋支,RCA:右冠状动脉,p:近段,m:中段,d:远段。

本研究中 2 名评价者评分的一致性较好(Kappa=0.78),可评价的冠状动脉节段比例在两组之间的无显著性差异($\chi^2=2.23$, $P>0.05$,图 1,表 4)。

讨 论

美国 FDA 网站上发表了美国心脏病委员会的声明,认为 10 mSv 的 CT 辐射剂量会使 2000 个 CT 检查过的患者中有 1 个患上恶性肿瘤^[5]。因此,在保证图像质量前提下尽量减少患者所接受的辐射剂量就显得尤为重要。目前最常用的降低辐射剂量的手段有降低管电压和电流、减少扫描长度、前瞻性心电触发扫描、大螺距扫描以及新的重建算法等^[6-11]。研究表明辐射剂量与管电压的平方成正比,因此降低管电压可以有效地降低辐射剂量,但降低管电压所带来的直接弊端即为图像背景噪声提高。本研究采用 70 kV 管电压进行冠状动脉 CTA 检查时,通过应用新型整合探

表 4 图像质量评分

组别	节段数	1 分		2 分		3 分		4 分		可评价血管		平均得分
		节段数	比率(%)	节段数	比率(%)	节段数	比率(%)	节段数	比率(%)	节段数	比率(%)	
A 组	406	362	89.2	21	5.2	19	4.7	4	0.9	402	99.1	1.16±0.18
B 组	409	368	90.0	19	4.6	18	4.4	4	1.0	405	99.0	1.18±0.18

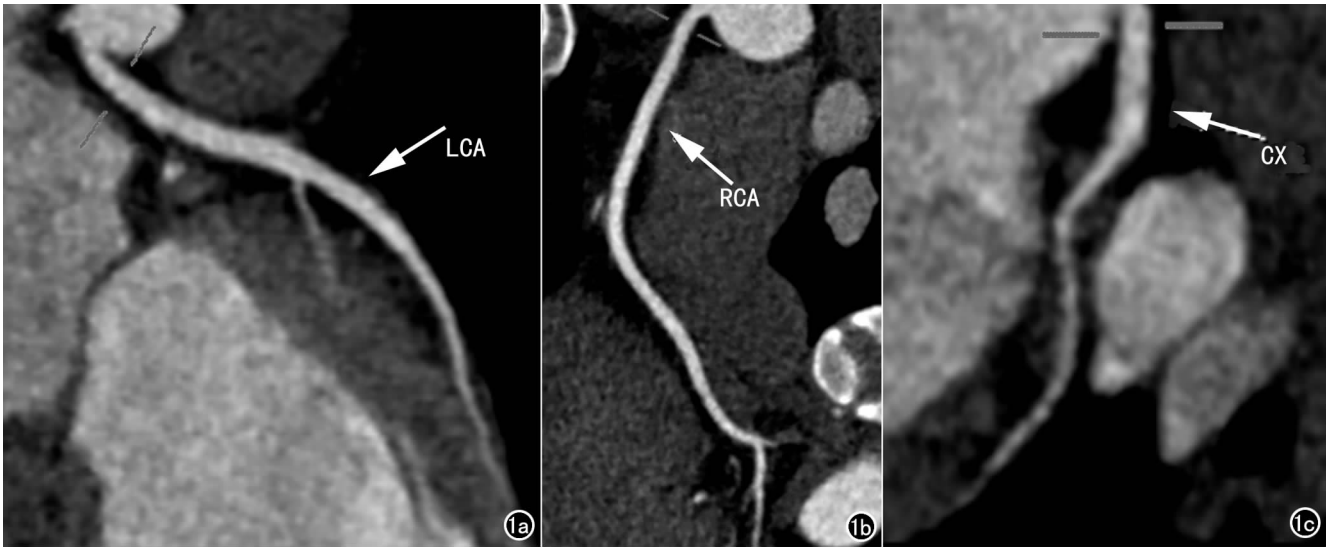


图 1 A 组冠状动脉曲面重建图像。a) 前降支未见明确异常; b) 右冠状动脉未见明确异常; c) 回旋支未见明确异常。3 支冠脉各节段未见明确狭窄,图像质量良好,满足诊断要求。

测器和 SAFIRE 迭代重建两种手段,在降低放射剂量和提高图像质量两方面均取得很好的结果。一项针对 23 项冠状动脉 CTA 检查的系统分析结果表明^[12]采用前瞻性心电门控进行冠状动脉 CTA 检查时,平均有效剂量为 3.6 mSv,其中采用双源 CT 进行冠状动脉 CTA 检查的平均有效剂量为 3.1 mSv。

在图像质量方面 70 kV 管电压辅以 SAFIRE 迭代重建算法后,图像 SNR 和各节段 CNR 较国际已报道的平均水平相当(分别为 20.9 和 18.0),可评价冠脉节段百分比高于国际已报道水平(96.8%)^[12]。本研究应用 70 kV 管电压行前瞻性冠状动脉 CTA 序列扫描时有效剂量约为 0.9 mSv,不足常规扫描方案的三分之一;即使与本研究组既往 80 kV 序列扫描的 1.77 mSv 相比^[13],也降低了大约 50% 的辐射剂量。

低对比剂流率及低对比剂量往往会使得冠状动脉强化密度值减低,通过降低管电压,由于康普顿散射效应的减少,含碘对比剂的 CT 值提高,从而增加血管与其周围组织结构的对比,使得减少含碘对比剂的用量成为可能。实验报道冠状动脉增强 CT 值达到 250~300 HU 即可满足诊断要求^[14]。本研究中 A 组对比剂用量较 B 组减少了 36%,虽然减少对比剂总量后,冠脉远段 CT 值降低,各冠脉节段的 CNR 均有不同程度减低,但是血管 CT 值均可满足诊断要求,并且在血管主观评分方面,两组之间并无显著性差异(1.16±0.18 vs 1.18±0.18),两组冠状动脉可评价节段的百分比均>98%。此实验数据结果证实对于体型正常患者,低对比剂流率及对比剂量的给药方案所获得的冠状动脉 CTA 图像质量与正常剂量组无明显差别,均可满足诊断要求。同时,冠状动脉 CTA 检查的常规注射流率为 5~6 mL/s,对于患者血管条件要求较高,而本方案中 4 mL/s 的注射流率使得血管条件不好的患者同样可以进行冠脉 CTA 检查。

本研究亦存在一些不足之处如缺少冠脉造影“金标准”的对照,没有对诊断的准确性等方面进行评价,入组人数相对较少,仅根据 BMI 这一指标来选择管电压大小,而没有考虑胸廓大小和女性患者乳腺大小等因素,在今后工作中可以对这些不足之处进行相应深入的研究。

综上所述,在装备整合回路探测器的双源 CT 上对体型偏瘦患者应用 70 kV 超低管电压、低对比剂流率、低对比剂用量的“三低”方案进行冠状动脉 CTA 的检查能够在确保图像质量的前提下显著降低辐射剂量。

参考文献:

[1] Vanhoenacker PK, Heijenbroek-Kal MH, Van Heste R, et al. Diagnostic performance of multi-detector CT angiography for assess-

ment of coronary artery disease: meta-analysis [J]. *Radiology*, 2007, 244(2): 419-428.

[2] Sabarudin A, Sun Z, Ng KH. Coronary computed tomography angiography with prospective electrocardiography triggering: a systematic review of image quality and radiation dose [J]. *Singapore Med J*, 2013, 54(1): 15-23.

[3] Stefan Ulzheimer. Stellar detector performance in computed tomography [J]. *Somatom Sessions*, 2011, 11(1): 61-66.

[4] Hausleiter J, Meyer T, Hermann F, et al. Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography [J]. *JAMA*, 2009, 301(5): 500-507.

[5] Budoff MJ, Achenbach S, Blumenthal RS, et al. Assessment of coronary artery disease by cardiac computed tomography: a scientific statement from the American heart association committee on cardiovascular imaging and intervention, council on cardiovascular radiology and intervention, and committee on cardiac imaging, council on clinical cardiology [J]. *Circulation*, 2006, 114(16): 1761-1791.

[6] Sun K, Han RJ, Ma LJ, et al. Prospectively electrocardiogram-gated high-pitch spiral acquisition mode dual-source CT coronary angiography in patients with high heart rates: comparison with retrospective electrocardiogram-gated spiral acquisition mode [J]. *Korean J Radiol*, 2012, 13(6): 684-693.

[7] Hou Y, Zheng J, Wang Y, et al. Optimizing radiation dose levels in prospectively electrocardiogram-triggered coronary computed tomography angiography using iterative reconstruction techniques: a phantom and patient study [J]. *PLoS One*, 2013, 8(2): e56295.

[8] Neefjes LA, Dharampal AS, Rossi A, et al. Image quality and radiation exposure using different low-dose scan protocols in dual-source CT coronary angiography: randomized study [J]. *Radiology*, 2011, 261(3): 779-786.

[9] Blankstein R, Shah A, Pale R, et al. Radiation dose and image quality of prospective triggering with dual-source cardiac computed tomography [J]. *Am J Cardiol*, 2009, 103(8): 1168-1173.

[10] Ghoshhajra BB, Engel LC, Károlyi M, et al. Cardiac computed tomography angiography with automatic tube potential selection: effects on radiation dose and image quality [J]. *J Thorac Imaging*, 2013, 28(1): 40-48.

[11] Hirai N, Horiguchi J, Fujioka C, et al. Prospective versus retrospective ECG-gated 64-detector coronary CT angiography: assessment of image quality, stenosis, and radiation dose [J]. *Radiology*, 2008, 248(2): 424-430.

[12] Sabarudin A, Sun ZH, Ng KH. Coronary computed tomography angiography with prospective electrocardiography triggering: a systematic review of image quality and radiation dose [J]. *Singapore Med*, 2013, 54(1): 15-23.

[13] 王怡宁, 曹剑, 孔令燕, 等. 高灵敏度探测器结合迭代重建在低管电压冠状动脉 CT 血管成像的价值 [J]. *中华放射学杂志*, 2014, 48(2): 109-113.

[14] U. Joseph Schoepf. CT of the heart: principles and applications [M]. New York, Humana Press, 2005: 377-380.

(收稿日期: 2014-05-01)