

DOI:10.12025/j.issn.1008-6358.2018.20180289

# 低管电压与低浓度对比剂联合迭代重建技术在主动脉CT血管成像中的应用

侯凯, 周国锋, 陆秀良, 曾蒙苏, 顾君英\*

复旦大学附属中山医院放射科, 上海市影像医学研究所, 复旦大学上海医学院影像学系, 上海 200032

**[摘要]** **目的:**探讨低浓度对比剂和低管电压的“双低”模式联合迭代重建技术行320排CT胸腹主动脉成像(CTA)的图像质量和辐射剂量。**方法:**80例行胸腹主动脉CTA检查的患者随机均分为常规模式组、双低模式组( $n=40$ ):常规模式组管电压120 kVp,对比剂浓度为370 mgI/mL;双低模式组管电压80 kVp,对比剂浓度为300 mgI/mL。两组患者的CTA影像采用SURE Exposure 3D技术扫描和自适应迭代剂量减低算法(adaptive iterative dose reduction, AIDR) 3D重建,对比分析两组患者CTA影像的质量主观评分、噪声(SD)、信噪比(SNR)及辐射剂量。**结果:**两组患者的年龄、性别分布、体质指数(BMI)等基线资料差异无统计学意义。两组患者升主动脉、降主动脉、腹主动脉、髂总动脉和股动脉5个动脉节段影像的主观质量评分差异无统计学意义。双低模式组患者CTA影像主动脉管腔内5个节段CT值明显高于常规模式组,差异均有统计学意义( $P<0.05$ );双低模式组患者CTA影像主动脉管腔内5个节段SNR均大于常规模式组,除股动脉节段外,其余节段差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。与常规模式组相比,双低模式组患者有效辐射剂量降低55%,差异有统计学意义( $P<0.05$ );有效碘摄入量降低18.92%。**结论:**在东芝320排CT上应用80 kVp超低压、低浓度300 mgI/mL碘对比剂结合AIDR 3D迭代重建算法行胸腹主动脉CTA检查可降低患者接受的辐射剂量及碘摄入量,并能获得优质的图像质量。

**[关键词]** 体层摄影术;螺旋计算机;血管造影术;迭代重建;辐射剂量;对比剂

**[中图分类号]** R 445.3 **[文献标志码]** A

## Application of low tube voltage and low-concentration iodinated contrast with iterative reconstruction on aorta computed tomography angiography

HOU Kai, ZHOU Guo-feng, LU Xiu-liang, ZENG Meng-su, GU Jun-ying\*

Department of Radiology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai Institute of Medical Imaging, Shanghai 200032, China

**[Abstract]** **Objective:** To investigate the image quality and radiation dosage in the 320-slice thoracic and abdominal aorta computed tomography angiography (TAA-CTA) using low tube voltage and low-concentration contrast with iterative reconstruction. **Methods:** Eighty patients requiring TAA-CTA were randomly divided into two groups (40 patients in each group). Patients in group A received CTA scan with 120 kVp and 370 mgI/mL of contrast media. Meanwhile, patients in group B received CTA scan with 80 kVp and 300 mgI/mL of contrast media. SURE Exposure 3D technique and adaptive iterative dose reduction (AIDR) 3D were adopted for both two groups. Image quality, signal-to-noise ratio (SNR), and radiation dose were evaluated on all of the images. **Results:** There was no significant difference in age, BMI, and five segmental images quality evaluation between the two groups. CT values of five segmental arterial lumina in group B were higher than that in group A, and difference was obviously significant ( $P<0.05$ ). SNRs of five segmental arterial lumina in group B were also higher than those in group A. Statistical differences were remarkably significant ( $P<0.05$ ) in SNRs of four segmental arterial lumina excluding that of femoral artery. Valid radiation dosage in group B was 55%, which was lower than that in group A with a significant statistical difference ( $P<0.05$ ). Valid iodine intake was reduced by 18.92% in group B than that in group A. **Conclusions:** Low-concentration iodinated contrast (300 mgI/mL) and 80 kVp ultra-low tube voltage with AIDR 3D iterative reconstruction for patients requiring TAA-CTA could reduce the radiation dosage and iodine intake without weakening image quality.

**[Key Words]** tomography; spiral computer; angiography; iterative reconstruction; radiation dosage; contrast media

**[收稿日期]** 2018-03-26

**[接受日期]** 2018-07-03

**[作者简介]** 侯凯, 主管技师. E-mail: hou.kai@zs-hospital.sh.cn

\* 通信作者(Corresponding author). Tel: 021-64041990; E-mail: gujunying6868@126.com

主动脉 CT 血管成像 (computed tomography angiography, CTA) 是诊断主动脉及其重要分支血管病变的主要影像学工具, 具有无创、便捷的优势, 尤其对主动脉夹层和主动脉瘤的术前术后评估具有较高的临床价值<sup>[1-2]</sup>。但 CTA 检查中患者必须接受较高的辐射剂量, 且面临碘对比剂应用所致的一系列不良反应。在保证图像质量的前提下, 如何解决上述问题成为目前研究的热点。近年来, 以低辐射剂量及低浓度对比剂为特点的“双低”成像模式逐渐被应用于 CTA 扫描, 取得了初步成效<sup>[3-4]</sup>。因此, 本研究探讨低浓度对比剂 (300 mgI/mL)、低管电压 (80 kVp) 结合迭代重建算法 (AIDR 3D) 行 320 排 CT 胸腹主动脉成像的可行性, 为其后续临床应用提供参考。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 2017 年 1 月至 6 月本院行胸腹主动脉 CTA 检查的患者 80 例, 避免过度肥胖患者, 80 例患者体质量均在 80 kg 以下。采用随机分组的方法将 80 例患者分为常规模式组与双低模式组, 每组各 40 例。排除孕妇、哺乳期妇女及对碘对比剂过敏、严重肝肾功能不全、心功能不全患者。本研究通过医院伦理委员会审核批准, 所有患者检查前均知情同意并签署知情同意书。

1.2 设备仪器及扫描参数 采用 Toshiba Aquilion One 320 排动态容积 CT 扫描机同时联合美高双筒高压注射器经肘正中静脉团注对比剂 (370 mgI/mL 和 300 mgI/mL)。扫描范围自胸廓上口至耻骨联合下缘, 采用对比剂智能自动追踪技术, 监测层面选取气管隆突下方 1 cm 水平处的主动脉降段, 选择层面 CT 阈值达到 150 HU 延迟 3 s 屏气后扫描。

常规模式组参数: 管电压 120 kVp, 管电流为自动毫安 (70~300 mAs), 准直器宽度 64×0.5 mm, X 线管转速 0.5 s/周, 螺距 0.8, 层厚 5 mm。对比剂浓度 370 mgI/mL、注射流率 4.0 mL/s、用量 1 mL/kg, 对比剂注射后以流率 4.0 mL/s 注入 30 mL 生理盐水。双低模式组参数: 采用超低压管电压 80 kVp, 其他扫描参数同常规模式组。对比剂浓度 300 mgI/mL, 注射方案同常规模式组。两组扫描数据均采用 AIDR 3D 迭代算法重建。

1.3 图像质量分析 利用工作站自带软件测量 CT 图像中的升主动脉、降主动脉、腹主动脉、髂总动脉和股动脉的 CT 值、噪声 SD 值, 并计算管腔内

的信噪比 (SNR)。计算公式:  $SNR = \text{血管平均 CT 值} / \text{SD 值}$ 。要求不同患者相同节段测量点尽量保持一致。按照 5 分法主观评价图像质量, 5 分: 主动脉充盈佳, 管壁光滑, 四级以上分支显示好; 4 分: 主动脉充盈佳, 管壁光滑, 三级以上分支显示良好; 3 分: 主动脉充盈尚可, 管壁不光滑, 二级以上分支显示尚可; 2 分: 主动脉充盈不佳, 只显示一级分支, 不能满足诊断; 1 分: 主动脉充盈差, 分支未显示; 0 分: 动脉未显示。其中 3~5 分判定为可诊断图像, 0~2 分判定为无法诊断图像。由 2 名副高级以上职称的放射科医师对 5 个动脉段图像质量采用双盲法评价, 评分不一致时由 2 人共同阅片达成一致意见。

1.4 辐射剂量评估 扫描结束后计算患者接受的辐射剂量, 1 次完整的 CT 检查者所接受的辐射剂量 (DLP)。有效剂量 (effective dose, ED; mSv) =  $DLP \times k$ , 转换系数  $k = 0.014 \text{ mSv} / (\text{mGy} \cdot \text{cm})$ 。

1.5 统计学处理 采用 SPSS 19.0 软件, 对两组患者年龄、BMI、有效辐射剂量、平均 CT 值及 SNR 进行两组独立样本  $t$  检验, 两名医师对 5 个动脉段图像质量评分进行  $\chi^2$  检验。检验水准 ( $\alpha$ ) 为 0.05。

## 2 结果

2.1 患者诊断及基线资料对比 两组患者均顺利完成检查, 无药物不良反应, 扫描数据均可满足诊断要求。常规模式组与双低模式组患者年龄 [(60.1±9.3) 岁 vs (61.2±10.1) 岁]、性别 (男/女: 19/21 vs 23/17) 及 BMI [(23.7±2.7) kg/m<sup>2</sup> vs (24.4±3.7) kg/m<sup>2</sup>] 差异无统计学意义, 具有可比性。两组 CTA 影像均达到诊断标准, 具体影像诊断结果见表 1。

表 1 2 组患者主动脉 CTA 检查影像诊断结果

诊断结果	常规模式组	双低模式组
正常	7/40	6/40
主动脉夹层	14/40	15/40
主动脉瘤	10/40	8/40
主动脉壁间血肿	3/40	3/40
分支动脉瘤或夹层	6/40	8/40

2.2 图像质量的主观评价 结果 (图 1、图 2) 表明: 常规模式组 40 例共显示升主动脉、降主动脉、腹主动脉、髂总动脉和股动脉节段 196 个, 4 个节段因为巨大腹主动脉瘤对比剂未到达髂总动脉及股动脉, 扫描已经完成。在显示的节段中评为 5 分 135 个, 4

分 51 个, 3 分 5 个, <3 分 5 个。3~5 分可诊断节段共有 191 个, 占 95.5% (191/200)。双低模式组 40 例共显示升主动脉、降主动脉、腹主动脉、髂总动脉和股动脉节段 198 个。2 个节段因为巨大腹主动脉瘤对比剂未到达髂动脉及股动脉, 扫描已经完成。在显示的节段中评为 5 分 137 个, 4 分 53 个, 3 分 3 个, <3 分 5 个。3~5 分可诊断节段共有 193 个, 占 96.5% (193/200)。2 组可诊断的节段差异无统计学意义 ( $\chi^2=0.26, P=0.61$ ), 2 名资深医生评分一致性好 (Kappa=0.61)。

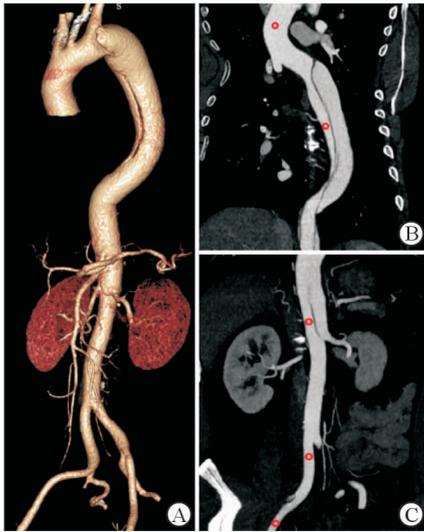


图 1 典型患者常规模式下主动脉 CTA 影像

患者男, 55 岁, B 型主动脉夹层, 管电压 120 kVp, 对比剂 370 mgI/mL。A: VR 图像示主动脉主干及其分支显示清晰。B: 红色圆圈标记处的升主动脉 CT 值为 432 HU, SD 值为 11 HU; 降主动脉 CT 值为 423 HU, SD 值为 12.6 HU。C: 红色圆圈标记处的腹主动脉 CT 值为 394.6 HU, SD 值为 18.7 HU; 髂总动脉 CT 值为 395.7 HU, SD 值为 10.0 HU; 股总动脉 CT 值为 383.6 HU, SD 值为 10.7 HU

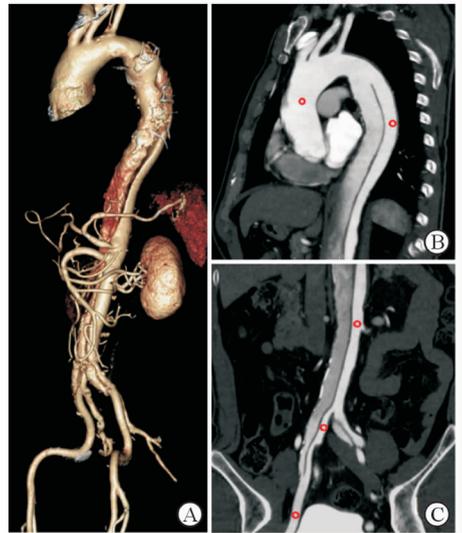


图 2 典型患者双低模式下主动脉 CTA 影像

患者男, 59 岁, B 型主动脉夹层, 管电压 80 kVp, 对比剂 300 mgI/mL。A: VR 图像示主动脉主干及其分支显示清晰。B: 红色圆圈标记处的升主动脉 CT 值为 529 HU, SD 值为 16 HU; 降主动脉 CT 值为 453 HU, SD 值为 18.9 HU。C: 红色圆圈标记处的腹主动脉 CT 值为 515.6 HU, SD 值为 12.2 HU; 髂总动脉 CT 值为 501.9 HU, SD 值为 14.9 HU; 股动脉 CT 值为 528.3 HU, SD 值为 20.6 HU

2.3 图像质量的客观评价 结果(表 2)表明: 双低模式组主动脉管腔内 5 个节段 CT 值明显高于常规模式组, 差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。两组图像均应用迭代重建算法, 当管电压由 120 kVp 降至 80 kVp 时, 迭代算法的降噪作用和提高 SNR 作用会更加明显。双低模式组主动脉管腔内各个节段 SNR 均大于常规模式组, 两组除股动脉节段 SNR 差异无统计学意义外, 其余 4 个节段差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ )。

表 2 各组患者主动脉 CTA 管腔内各个节段 CT 值、SD 值及 SNR 的比较

部位	参数	常规模式组	双低模式组	t 值	P
升主动脉	CT 值(HU)	363.05 ± 73.91	483.96 ± 108.15	-5.84	0.00
	SD 值(HU)	17.08 ± 2.79	18.91 ± 2.75	-2.96	0.00
	SNR	21.76 ± 5.50	26.14 ± 7.03	-3.11	0.00
降主动脉	CT 值(HU)	355.37 ± 65.78	478.38 ± 94.39	-6.76	0.00
	SD 值(HU)	17.25 ± 3.53	18.60 ± 3.06	-1.82	0.07
	SNR	22.07 ± 8.42	26.28 ± 6.38	-2.52	0.01
腹主动脉	CT 值(HU)	350.05 ± 65.68	463.68 ± 98.09	-6.09	0.00
	SD 值(HU)	18.47 ± 2.66	17.04 ± 5.46	1.49	0.14
	SNR	19.25 ± 4.07	30.58 ± 13.78	-4.99	0.00
髂总动脉	CT 值(HU)	336.99 ± 77.02	469.43 ± 90.51	-7.05	0.00
	SD 值(HU)	15.89 ± 4.27	16.13 ± 5.57	-0.218	0.83
	SNR	23.26 ± 10.03	32.23 ± 11.12	-3.79	0.00
股动脉	CT 值(HU)	343.08 ± 75.59	463.06 ± 85.05	-6.67	0.00
	SD 值(HU)	14.13 ± 4.25	16.83 ± 4.91	-2.64	0.01
	SNR	26.70 ± 10.68	30.54 ± 13.90	-1.38	0.17

2.4 辐射剂量的比较 结果(表3)表明:常规模式组 DLP 均值为 $(336.64 \pm 78.44)$  mGy·cm, ED 为 $(4.71 \pm 1.10)$  mSv; 双低模式组 DLP 均值为 $(149.70 \pm 45.05)$  mGy·cm, ED 为 $(2.10 \pm 0.63)$  mSv。双低模式组较常规模式组有效辐射剂量降低 55%, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。常规模式组患者平均有效碘量为 27.75 g, 双低模式组患者平均有效碘量为 22.50 g, 双低模式组较常规模式组有效碘量降低 18.92%。

### 3 讨论

随着 CTA 检查的普遍推广, 主动脉 CTA 以其无创的检查手段成为诊断胸腹主动脉病变首选的影像学方法。临床上为了获得较高的图像质量, 常规使用 120 kVp 管电压和 370 mgI/mL 对比剂。高千伏管电压和高浓度对比剂存在放射辐射和对比剂肾病双重风险。因此, 采用降低管电压和降低对比剂浓度的方式来减少辐射和对比剂肾病的风险成为目前研究的热点。

临床上降低 CTA 检查患者的辐射剂量方法有多种, 除了降低管电压, 还有降低管电流和运用迭代重建算法等。但降低管电压是一种最为简单、有效的方法。这是因为辐射剂量与管电压的平方成正比, 且与 120 kVp 比较, 80 kVp 时 X 线束中的平均光子能量更接近碘的吸收阈值(33.2 keV), 提高了对比剂和组织的 CT 值和两者间的对比度<sup>[5]</sup>。但 CT 值过高同时会产生硬化效应, 不利于斑块性质的分析, 此时即可通过采用低浓度对比剂的方式解决此问题。

采用低浓度对比剂, 降低患者碘摄入的总量, 可以降低造影剂肾病发生的几率<sup>[6]</sup>。本研究中试验组使用低浓度(300 mgI/mL)的对比剂, 两组患者检查时注射对比剂的总量相近, 但换算碘摄入量试验组明显较对照组少, 试验组在保证图像质量的同时减少了对比剂肾病的发生率, 减少了患者因对比剂浓度过高发生不良反应的可能性。并且, 低浓度对比剂摄入的试验组患者 CT 值均在 350~500 HU。CT 值过低则降低组织的对比及病灶的显示, CT 值过高则影响对钙化等病变的鉴别, 同时会增加硬化效应。本研究中试验组主动脉 5 个节段管腔内 CT 值明显高于对照组, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), 图像质量完全可以满足诊断要求。

本研究中试验组采用 300 mgI/mL 低浓度对比

剂结合 80 kVp 的管电压却能产生比对照组 370 mgI/mL 高浓度对比剂结合 120 kVp 管电压更高的 CT 值, 与 Wintermark 等<sup>[7]</sup>的研究相符。但试验组图像在常规滤波反投影(FBP)算法下的噪声却大幅增加, 影响了对图像细节的诊断。因此, 在降低管电压的同时如何降低图像噪声显得尤为关键。本研究中试验组使用 80 kVp、SURE Exposure 3D 技术扫描后采用 AIDR 3D 迭代算法重建。AIDR 3D 是 320 排 CT 配置的高级迭代重建算法, 其原理是通过分析 CT 采集信号的物理特性得到统计学模型, 利用该模型在投射空间来识别电子和量子噪声, 并进行去除。得到的原始数据在图像重建空间再根据解剖模型进行反复对照, 通过迭代计算法去除噪声并加强组织结构的显示。因此, AIDR 3D 迭代重建算法替代 FBP 算法完成图像重建, 在保证图像质量的前提下大幅降低了患者的有效辐射剂量、有效抑制噪声, 提高图像的 SNR<sup>[8-9]</sup>。本研究结果显示, 试验组与对照组主动脉 CTA 图像质量主观评价差异均无统计学意义。试验组主动脉管腔内各个节段 SNR 均大于对照组, 两组除股动脉节段 SNR 差异无统计学意义, 其余 4 个节段差异都有统计学意义( $P < 0.05$ )。关于股动脉节段 SNR 试验组与对照组差异无统计学意义, 笔者认为股动脉节段的体层较胸腹部较薄, 80 kVp 与 120 kVp 的管电压在此处衰减差异较小, 即对 SNR 的差异影响较小。两组图像质量完全可以满足诊断要求。并且, 对照组患者接受辐射剂量为 4.71 mSv, 试验组患者接受辐射剂量为 2.10 mSv, 试验组患者有效降低了 55% 的辐射剂量, 大幅降低了辐射的危害。

综上所述, 应用 300 mgI/mL 对比剂、80 kVp 管电压结合 AIDR 3D 迭代重建行 320 排主动脉 CTA 成像, 图像质量能满足临床诊断要求, 且有效地降低了辐射剂量, 值得临床推广使用。

### 参考文献

- [1] BALIGA R R, NIENABER C A, BOSSONE E, et al. The role of imaging in aortic dissection and related syndromes [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2014, 7(4): 406-424.
- [2] SHEIKH A S, ALI K, MAZHAR S, et al. Acute aortic syndrome [J]. Circulation, 2013, 128(10): 1122-1127.
- [3] 刘 锴, 陆秀良, 周潇峰, 等. 低管电压结合低碘对比剂在前门控双源 CT 冠状动脉 CTA 中的应用 [J]. 中国临床医学, 2017, 24(2): 257-259.
- [4] 曹 婷, 王锡明, 程召平, 等. 128 层双源 CT 联合低管电压及低剂量对比剂在法洛四联症患儿血管成像中的应用 [J]. 中华

放射学杂志, 2015, 49(8): 577-581.

- [5] FUNAMA Y, AWAI K, NAKAYAMA Y, et al. Radiation dose reduction without degradation of low contrast detectability at abdominal multisection CT with a low-tube voltage technique: phantom study [J]. *Radiology*, 2005, 237(3): 905-910.
- [6] ASPELIN P, AUBRY P, FRANSSON S G, et al. Nephrotoxic effects in high-risk patients undergoing angiography [J]. *N Engl J Med*, 2003, 384(6): 491-499.
- [7] WAAIJER A, PROKOP M, VELTHUIS B K, et al. Circle of Willis at CT angiography: dose reduction and image quality—reducing tube voltage and increasing tube current settings [J]. *Radiology*, 2007, 242(3): 832-839.
- [8] OHNO Y, TAKENAKA D, KANDA T, et al. Adaptive iterative dose reduction using 3D processing for reduced-and low-dose pulmonary CT: comparison with standard-dose CT for image noise reduction and radiological findings [J]. *AJR*, 2012, 199(4): 477-485.
- [9] 严 诚, 陈 刚, 丁玉芹, 等. 评价迭代重建法与滤过反投影法在冠状动脉 CTA 检查中的价值 [J]. *放射学实践*, 2014, 29(6): 663-667.

[本文编辑] 廖晓瑜, 沈 明

