·超低剂量 CTA 研究专题·

大螺距模式下智能最佳管电压调节结合迭代重建技术在 CT 胸主动脉成像中的图像质量和辐射剂量评价

罗松，郑玲，张龙江，周长圣，李勰，顾海峰，王清清，卢光明

【摘要】 **目的**：评价 Flash 大螺距模式下智能最佳管电压调节结合原始数据迭代重建技术在 CT 胸主动脉成像中的图像质量和辐射剂量。**方法**：按扫描方式将患者分成 A，B 两组。A 组扫描参数采用大螺距模式，智能最佳 kVp 技术扫描，图像重建方式为迭代重建；B 组扫描参数采用常规螺距，120 kVp 管电压，图像重建方式为滤波反投影法，比较两组客观图像质量及辐射剂量。**结果**：两组患者年龄、性别均无明显差别。客观图像质量 A 组明显好于 B 组。胸主动脉 3 个位置 CT 值无统计学差异，但 A 组的 SNR、CNR 均明显高于 B 组，背景噪声 A 组低于 B 组。两组主观图像质量评分均无统计学差异。两位医生的一致性分别为 0.737、0.617 和 0.705。A 组有效剂量要明显低于 B 组，降低了 30%。**结论**：大螺距智能最佳管电压调节结合原始数据迭代重建技术 CT 胸主动脉成像不但有效的降低了辐射剂量，还同时提高了图像质量。

【关键词】 诊断技术，心血管；主动脉，胸；体层摄影术，X 线计算机；图像处理，计算机辅助

【中图分类号】R814.42；R540.4；R814.3 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2014)06-0597-04

DOI：10.13609/j.cnki.1000-0313.2014.06.005

High pitch, automated attenuation-based tube voltage selection and iterative reconstruction technique for CT angiography of the thoracic aorta: image quality and radiation dose LUO Song, ZHENG Ling, ZHANG Long-jiang, et al. Department of Medical Imaging, Jinling Hospital, Medical School of Nanjing University, Nanjing 210002, P. R. China

【**Abstract**】 **Objective**: To investigate the image quality and the radiation dose of high pitch, automated attenuation-based tube voltage selection and iterative reconstruction technique for CT angiography of the thoracic aorta. **Methods**: The patients were divided into two groups according to the scan parameters. Groups A: high pitch (pitch=3.0), automated attenuation-based tube voltage selection and image reconstruction methods with SAFIRE (sinogram affirmed iterative reconstruction). Group B: conventional pitch (pitch=1.2), 120kV tube voltage, image reconstruction methods using the FBP (Filtered Back Projection). Objective and subjective image quality and radiation dose were evaluated and compared. **Results**: There was no significant difference between two groups in the age and gender distribution. The objective image quality of group A was better than that of group B. The CT values of three positions of thoracic aorta had no significant difference. The SNR, CNR of group A were significantly higher than these of group B and the background noise of group A lower than that of group B. Two groups of subjective image quality scores had no significant difference. The Kappa values of two doctors were 0.737, 0.617, 0.705, respectively. The radiation dose of group A was lower than that of group B, which decreased by approximately 30%. **Conclusion**: High pitch, automated attenuation-based tube voltage selection and iterative reconstruction technique for CT angiography of the thoracic aorta not only effectively reduces the radiation dose, but also maintains the diagnostic image quality.

【**Key words**】 Diagnostic techniques, cardiovascular; Aorta, thoracic; Tomography, X-ray computed; Image processing, computer-assisted

CT 胸主动脉成像已经是主动脉病变的首选检查之一，其快速便捷成像特点尤其适应对主动脉急症如主动脉夹层患者的诊断，也在主动脉夹层支架术后的随访中应用广泛。但是，CT 检查所带来的辐射问题越来越受到关注，如何有效降低辐射剂量但保证足够的辐射剂量是 CT 研究的热点领域[1]。多种方法可以降低辐射剂量，降低管电压、管电流是较常用的方法。近来出现了智能最佳管电压调节技术（CARE kVp）、大螺距技术和原始数据迭代重建（sinogram affirmed iterative reconstruction，SAFIRE）等多种降低辐射剂量的方法，其在全身多个部位得到应用[2-6]。在胸部的应用亦有报道[7-8]，但以其中一种或结合其中两种方法为主，多种技术结合理论上可更大程度地降低辐射剂量，但不降低图像质量。本文对大螺距模式下智能最佳管电压调节结合迭代重建技术在 CT 胸主动脉成像中的图像质量、辐射剂量作要关评价。

材料与方法

1. 研究对象

搜集 2013 年 4－11 月疑似胸主动脉病变或主动脉夹层支架术后随访行 CT 胸主动脉患者 54 例。先

作者单位：210002 南京，南京军区南京总医院/南京大学附属金陵医院医学影像科（罗松、郑玲、张龙江、周长圣、李勰、顾海峰、王清清、卢光明）；221000 江苏，徐州医学院影像学院（罗松）

作者简介：罗松（1984－），男，湖南新化人，硕士，主要从事心血管及神经影像学研究工作。

通讯作者：张龙江，E-mail：kevinzhlj@163.com

天性心脏病患者不纳入本研究。本研究经伦理委员会批准，所有患者均获得书面知情同意书。

2. 检查方法

采用西门子双源 CT 扫描机(Definition Flash, Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)进行扫描，应用人工智能触发扫描系统，当兴趣区(设在升主动脉根部)密度达到预设值(100 HU)时，再延迟 6 s 后扫描自动开始。扫描范围自胸廓入口至膈肌水平。对比剂应用德国先灵公司生产的优维显(300 mg I/mL)，双筒高压注射器以 4 mL/s 流率、总量 60 mL 经肘静脉注射，随后按 4 mL/s 的流率注射生理盐水 40 mL。扫描参数：A 组采用自动管电压，Flash 大螺距模式(pitch =3)。B 组采用 120 kVp 固定管电压，常规螺距(pitch =1.2)。两组均采用自动管电流调节技术(CARE Dose 4D)，A 组参考 mAs 为 80 mAs，B 组为110 mAs。图像重建：A 组以 SAFIRE 方式重建(I31 kernel)，重建等级强度为 3；B 组以滤波反投影法(filtered back projection，FBP)方式重建(B31 kernel)。均重建厚层 8 mm 及薄层 1 mm 图像。

3. 图像质量分析

扫描完成后，将厚层及薄层图像数据传输至工作站(Syngo MMWP VE31A)，利用后处理软件对薄层数据进行 MPR、MIP 和 VR，观察主动脉强化，血管腔内外病变的显示，图像噪声等。

客观评价：在 8 mm 厚层图像上测量主动脉弓、主肺动脉干层面升主动脉及降主动脉 CT 值，兴趣区大小约 1.5 cm^2，测量同层面胸背部肌肉(竖脊肌)的 CT 值，ROI 大小约 1 cm^2；测量胸廓正前方空气噪声作为背景噪声，ROI 大小约 5 cm^2。算出信噪比(contrast-to-noise ratio，CNR)，对比噪声比(signal-to-noise ratio，SNR)。信噪比＝血管 CT 值/背景噪声，对比噪声比 ＝(血管 CT 值－肌肉 CT 值)/背景噪声。

主观评价：由两位有经验的 CT 诊断医生按 3 分法独立对图像质量进行评分。1 分为图像差，不能满足诊断要求；2 分为图像质量中等，满足诊断要求；3 分为图像质量优秀。评分完成后算出两位医生评分的一致性。结果不一致的再协商达成一致意见。分别计算两位医生主观评分及最后一致意见两组之间的差别。

4. 辐射剂量

记录每例患者的容积剂量指数(volume CT dose index，CTDIvol)和剂量长度乘积(dose-length product，DLP)。根据 DLP 乘以胸部转换因子(0.014)算出每位患者的有效剂量(effective dose，ED)。

5. 统计学分析

采用 SPSS 16.0 软件包分析数据，计量资料数据以均数±标准差来表示。对计量资料(患者年龄、CT 值、SNR、CNR、DLP、CTDIvol 及 ED)采用独立样本 t 检验。患者性别用 χ^2 检验。两组主观图像质量评分用非参数检验中的 Mann-Whitney U 检验。观察者间的一致性采用 Kappa 分析(K0.81～1.0 为一致性非常好，K0.61～0.8 为一致性好，K0.4～0.6 为一致性中等，K0.2～0.4 为一致性较差，K＜0.2 为一致性很差)。P＜0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. 一般资料

A 组男 24 例，女 7 例，平均年龄为(55±15)岁，B 组男 21 例，女 2 例，平均年龄为(56±15)岁，两组患者年龄(P＝0.795)、性别(P＝0.276)均无统计学差异。A 组患者中主动脉夹层 4 例，升主动脉瘤或瘤样扩张 6 例(图 1)，主动脉夹层支架术后随访 4 例，主动脉粥样硬化 5 例，主动脉弓假性动脉瘤 1 例，主动脉缩窄 1 例，正常 10 例。B 组患者中主动脉夹层 1 例，升主动脉瘤或瘤样扩张 1 例，主动脉夹层支架术后随访 5 例，主动脉粥样硬化 11 例，其中 1 例伴附壁血栓(图 2)，正常 5 例。A 组患者中在 CARE kVp 技术下 10 例患者的管电压 100 kVp，21 例患者的管电压是 120 kVp。

2. 客观图像质量

A、B 两组 CT 值无统计学差异，但 A 组的 SNR、CNR 均明显高于 B 组，差异有统计学意义。背景噪声 A 组明显低于 B 组，差异有统计学意义(表 1)。

表 1 A、B 两组客观图像质量及比较

位置	A 组(31 例)	B 组(23 例)	P 值
主动脉弓			
CT 值(HU)	309.53±59.99	289.83±46.40	0.186
SNR	72.05±22.89	45.72±10.74	＜0.001
CNR	61.16±21.12	37.11±10.27	＜0.001
升主动脉			
CT 值(HU)	314.95±57.99	298.41±51.68	0.284
SNR	73.23±23.04	47.07±11.43	＜0.001
CNR	62.34±21.33	38.46±10.97	＜0.001
降主动脉			
CT 值(HU)	300.36±55.73	293.72±50.70	0.655
SNR	69.96±22.45	46.39±11.5	＜0.001
CNR	59.07±20.65	37.78±11.03	＜0.001
肌肉			
CT 值(HU)	47.40±7.07	54.65±7.80	0.001
背景噪声	4.5±0.82	6.5±0.99	＜0.001

注：SNR＝信噪比；CNR＝ 对比噪声比。

3. 主观图像质量

两组的主观图像质量评分均无统计学差异(表 2)，两位医生主观评分一致性 Kappa 值分别为 0.737、0.617、0.705。

4. 辐射剂量

A 组患者中在 CARE kVp 技术下 10 例患者的管电压100kVp，21例患者的管电压是120kVp。B组

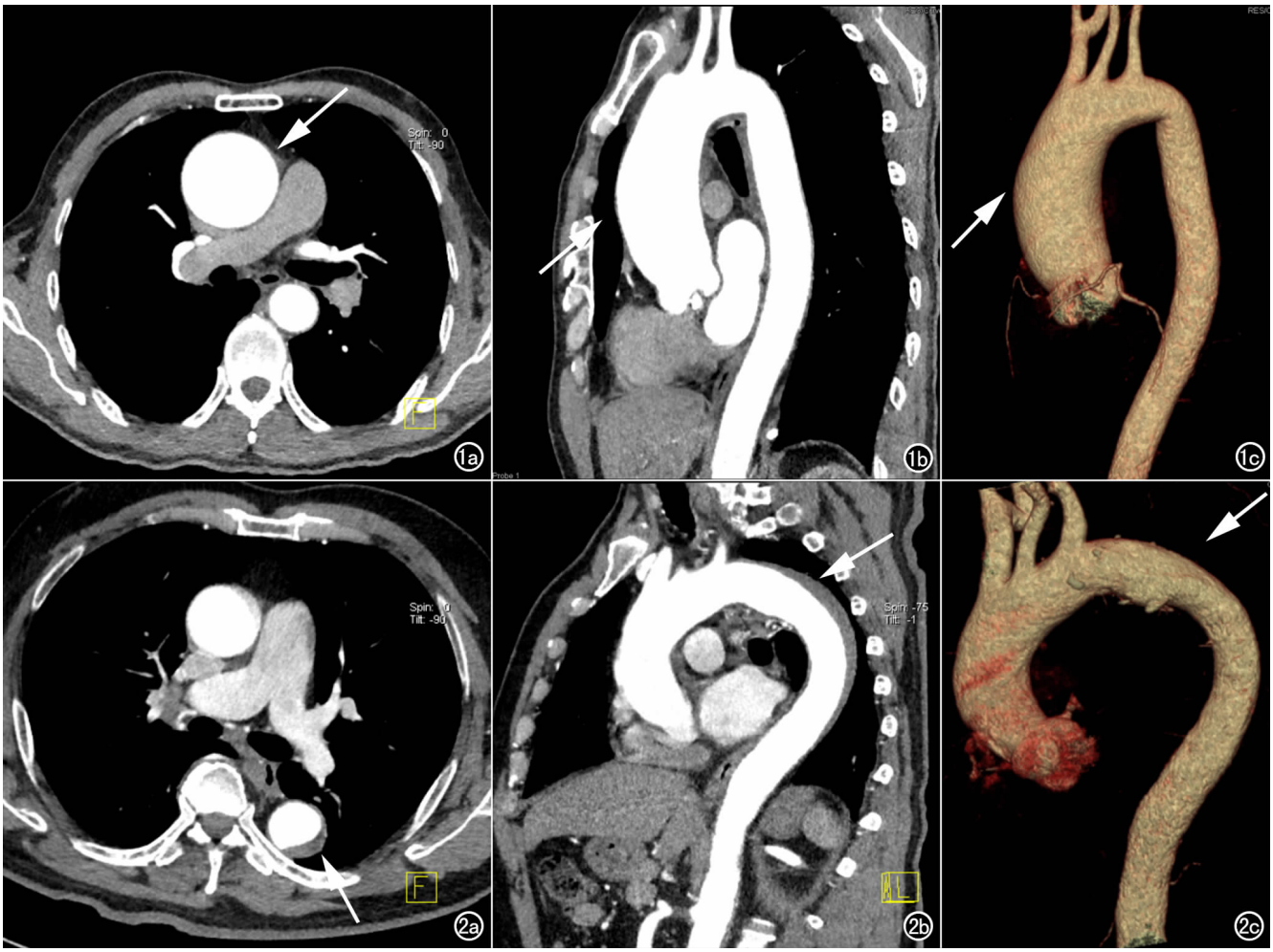

图 1　A 组，男，63 岁，升主动脉瘤。a）横断面图像；b）曲面重组图像；c）容积再现图像示升主动脉直径明显增宽（箭），瘤样扩张。图像质量很好，图像的主观评分为 3 分。　**图 2**　B 组，男，65 岁，主动脉粥样硬化伴附壁血栓。a）横断面图像；b）曲面重组图像；c）容积再现图像示胸主动脉管壁局部半月形低密度影，管壁局部伴点状钙化影（箭）。图像的主观评分为 3 分。

均为固定管电压 120 kVp。A 组 CT 容积剂量指数、剂量长度乘积、有效剂量均明显低于 B 组（表 3），降低了 30%，差异有统计学意义。

表 2　两位医生对 A、B 两组主观图像质量评分及比较

读者	A 组	B 组	*P* 值
读者 1			0.377
1	0	0	
2	7	3	
3	24	20	
读者 2			0.254
1	0	0	
2	8	3	
3	23	20	
两者			0.466
1	0	0	
2	10	11	
3	44	43	
Kappa 值	0.737	0.617	0.705

表 3　A、B 两组辐射剂量及其比较

项目	A 组	B 组	*P* 值
CTDIvol(mGy)	4.06±0.99	6.39±1.33	<0.001
DLP(mGy·cm)	151.48±37.56	219.48±48.3	<0.001
ED (mSv)	2.12±0.53	3.03±0.68	<0.001

注：CTDIvol，CT 容积剂量指数；DLP，剂量长度乘积；ED，有效剂量。

讨　论

本研究发现相比 120 kVp 固定管电压、常规螺距、FBP 图像重建的常规成像参数，联合 Flash 大螺距、CARE kVp、SAFIRE 这 3 种新技术不但能使辐射剂量降低约 30%，SNR、CNR 等客观图像质量有所提高，其图像噪声也是降低的。

随着技术的进步，有了更多新的技术能在有效降低辐射剂量的同时保证图像质量。二代双源 CT 出现的 Flash 下大螺距扫描技术、CARE kVp 等均能不同程度的降低辐射剂量，并且 SAFIRE 图像重建方式能在降低辐射剂量的同时有效的降低图像噪声，提高图像质量。

随着螺距的增加，能减少曝光时间及辐射剂量，但图像的 SNR、CNR 会减低，所以螺距的增加会受到限制。Flash 大螺距扫描模式下，其螺距最大可到 3.4，极大提高了扫描速度，对于主动脉夹层的患者很适用，患者无需屏气即可完成扫描。此技术在多个部位血管成像应用[9-11]。李剑等[11]应用主动脉大螺距扫描模式

研究发现可以较低辐射剂量获得清晰的升主动脉图像，具有较高的临床应用价值。本研究采用螺距为 3，其图像质量的降低通过 SAFIRE 图像重建得到有效的补偿。

CARE kVp 是一种能够根据 CT 检查目的和受检者的体型自动确定最优化的管电压和管电流，实现最优化降低检查剂量的同时提高图像质量。CARE kpV 技术已在全身多个部位中得到应用[2,5,12-13]。Winklehner 等[5]研究发现使用 CARE kVp 技术可在图像背景噪声不增加、满足诊断要求的同时降低辐射剂量，其中胸腹部降低约 25%。康绍磊等[12]联合 CARE kVp 扫描和自动管电流调节技术能降低辐射剂量的同时获得优质胸部图像。本研究应用 CARE kVp 技术组其中约 1/3（10/31）的患者最后选用的管电压为 100 kVp，结合大螺距技术后相较于 Winklehner 等的研究辐射剂量有了更进一步降低。

FBP 是目前 CT 图像重建的常规技术，重建速度快，但受扫描曝光条件变化影响明显，且图像噪声较大。SAFIRE[14,15]是利用原始数据将图像噪声建模并去除图像伪影，通过分析原始数据来评估图像每一个体素中的噪声部分，然后将噪声从图像中去除，同时也利用原始数据进行图像空间分辨率的保持和提高，能明显的减少图像的噪声，提高图像的信噪比和对比噪声比。本研究采用 SAFIRE 图像重建，能克服 CARE kVp 和大螺距扫描所带来的图像质量的降低，客观图像质量明显高于常规参数组。

保证图像质量的同时应用单一技术对辐射剂量的降低有限，越来越多的学者联合多种技术来降低辐射剂量并且提高图像质量[16-17]。Shin 等[2]联合 CARE kVp 和 SAFIRE 技术在进行腹部扫描时，其辐射剂量减少 41.3%的同时，图像噪声并没有增加。张德健等[16]研究发现在胸部平扫中联合使用 CARE kVp 和 SAFIRE 技术可以降低受检者辐射剂量，同时提高 CT 图像质量。

本研究尚存在一些不足之处：样本量还不够大，需要更大样本量的研究来进一步证实。CARE kVp 设置均采用默认模式，未对参数进行进一步优化。

参考文献：

[1] Duan X, McCollough C. Risks, benefits, and risk reduction strategies in thoracic CT imaging[J]. Semin Respir Crit Care Med, 2014, 35(1): 83-90.

[2] Shin HJ, Chung YE, Lee YH, et al. Radiation dose reduction via sinogram affirmed iterative reconstruction and automatic tube voltage modulation (CARE kV) in abdominal CT[J]. Korean J Radiol, 2013, 14(6): 886-893.

[3] 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]. PLoS One, 2014, 9(3): e90268.

[4] Apfaltrer PI, Hanna EL, Schoepf UJ, et al. Radiation dose and image quality at high-pitch CT angiography of the aorta: intraindividual and interindividual comparisons with conventional CT angiography[J]. AJR, 2012, 199(6): 1402-1409.

[5] Winklehner A, Goetti R, Baumueller S, et al. Automated attenuation-based tube potential selection for thoracoabdominal computed tomography angiography improved dose effectiveness[J]. Invest Radiol, 2011, 46(12): 767-773.

[6] Beeres M, Schell B, Mastragelopoulos A, et al. High-pitch dual-source CT angiography of the whole aorta without ECG synchronisation: initial experience[J]. Eur Radiol, 2012, 22(1): 129-137.

[7] Niemann T, Henry S, Faivre JB, et al. Clinical evaluation of automatic tube voltage selection in chest CT angiography[J]. Eur Radiol, 2013, 23(10): 2643-2651.

[8] Wang H, Tan B, Zhao B, et al. Raw-data-based iterative reconstruction versus filtered back projection: image quality of low-dose chest computed tomography examinations in 87 patients[J]. Clin Imaging, 2013, 37(6): 1024-1032.

[9] 侯小玲，汪奇，周迎，等. 智能最佳管电压在双源 CT Flash 螺旋扫描冠状动脉成像中的应用[J]. 中国临床医师杂志（电子版），2013, 7(2): 525-528.

[10] Puippe GD, Winklehner A, Hasenclever P, et al. Thoraco-abdominal high-pitch dual-source CT angiography: experimental evaluation of injection protocols with an anatomical human vascular phantom[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(10): 2592-2596.

[11] 李剑，宦怡，赵宏亮，等. 双源 CT Flash 大螺距技术对主动脉成像的辐射剂量及升主动脉图像质量的研究[J]. 中国临床医学影像杂志，2013, 24(7): 472-475.

[12] 康绍磊，曾宪春，谢晓洁，等. 智能最佳管电压扫描联合自动管电流调节技术降低成人胸部 CT 扫描辐射剂量[J]. 中国医学影像技术，2013, 9(4): 636-640.

[13] Eller A, May MS, Scharf M, et al. Attenuation-based automatic kilovolt selection in abdominal computed tomography[J]. Invest Radiol, 2012, 47(10): 559-565.

[14] 王海燕，眷志生，赵斌，等. SAFIRE 与 FBP 重建法对 CT 图像噪声及扫描剂量影响的比较研究[J]. 医学影像学杂志，2013, 23(3): 473-476.

[15] 王芳，高剑波，刘杰，等. 正弦图确定迭代重建技术在降低胸部扫描剂量中的应用[J]. 中国医学影像技术，2012, 28(11): 2087-2089.

[16] 张德健，徐卓东，徐向英，等. 胸部 CT 检查中两种低辐射剂量技术应用研究[J]. 临床放射学杂志，2013, 32(4): 577-581.

[17] Lee SW, Kim Y, Shim SS, et al. Image quality assessment of ultra low-dose chest CT using sinogram-affirmed iterative reconstruction[J]. Eur Radiol, 2014, 24(4): 817-826.

（收稿日期：2014-05-01）