

Progresses of multi-slice spiral CT angiography of aorta

SHEN Yan-guang, FAN Zhan-ming*, LI Yu

(Department of Radiology, Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University, Beijing 100029)

[Abstract] Multi-slice spiral CT is the most common imaging modality used for diagnosis of aortic disease currently. Due to the long scanning range, the amount of the X-ray radiation dose and contrast agents are of concern. It is a hotspot of clinical studies to reduce radiation dose and the contrast agents of aorta CTA. The current status of aorta CTA were reviewed in this article.

[Key words] Aorta; Angiography; Tomography, X-ray computed

多层螺旋 CT 主动脉血管成像技术的应用进展

申艳光, 范占明*, 李宇

(首都医科大学附属北京安贞医院放射科, 北京 100029)

[摘要] 目前 MSCT 是主动脉成像的常用手段, 因其扫描范围大而导致 X 线射辐射量大、对比剂使用多, 临床研究一直以减少对比剂使用量以及辐射剂量为热点, 本文就近年来 MSCT 主动脉血管成像技术的研究进展进行综述。

[关键词] 主动脉; 血管造影术; 体层摄影术, X 线计算机

[中图分类号] R814.42; R543.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2014)08-1268-04

主动脉夹层、动脉瘤等主动脉疾病发病急、进展快、危险性大、病死率高, 准确快速诊断是治疗的关键。MSCT 以无创、快速、时间及空间分辨率高等特点成为主动脉疾病的常规检查手段, 其扫描范围大, 可扫描自头臂血管到髂动脉或股动脉分叉水平, 但 X 线辐射剂量大、碘对比剂用量多, 因此如何降低 X 线辐射剂量、减少对比剂用量一直是临床关注热点^[1-2]。本文就主动脉 CTA 优化扫描方案, 特别是降低 X 线辐射剂量、对比剂浓度及剂量的进展进行综述。

1 X 线辐射剂量

主动脉 CTA 检查范围长约 40~60 cm, 根据不同扫描方案和 CT 机型, X 线辐射剂量约为 2.5~22 mSv^[1], 降低辐射剂量符合辐射防护的最低剂量优化原则(as low as reasonably achievable, ALARA), 即用最小的辐射剂量来满足诊断需求, 降低医用诊断

X 线检查的间接危害(即可能导致癌症或产生遗传效应)。改进措施包括改变 CT 设备硬件、软件参数设置, 如改变管电压、管电流、扫描模式、扫描长度、扫描准直、进床速度、重建算法等, 目前研究热点是降低管电压及改变图像重建算法。

1.1 管电流的调节 管电流与光子数量呈正比, 降低管电流致图像噪声增加、SNR 下降; 在不影响诊断准确性的前提下, 可适当降低管电流。郑敏文等^[3]在主动脉 CTA 检查中保持管电压不变, 结果显示管电流分别为 50、100、150、200 mA 的平均容积 CT 剂量指数(CT dose index volume, CTDIvol)为常规 350 mA 的 11.3%、29.0%、42.7% 和 57.3%, 但采用 50 mA 管电流, 诊断符合率为 60%, 管电流为 100、150、200 mA 者诊断符合率的差异无统计学意义; 认为主动脉 CTA 中低管电流可替代常规管电流。目前 CT 检查多根据解剖部位调整管电流, 即自动调节管电流调制技术(automatic tube current modulation, ATCM), 可提高射线效率, 达到不影响图像质量而降低管电流的目的。孙继全等^[4]研究 ATCM 在诊断主动脉夹层中的应用价值, 发现 ACTM 组的 CTDIvol、DLP 较固

[作者简介] 申艳光(1975—), 男, 山西长治人, 在读博士, 副主任医师。研究方向: 心血管疾病影像诊断。E-mail: shenyanguang@163.com

[通讯作者] 范占明, 首都医科大学附属北京安贞医院放射科, 100029。E-mail: fanzm120@126.com

[收稿日期] 2014-02-12 **[修回日期]** 2014-06-20

定管电流组分别降低 28.3%、30.4%。李剑等^[5]研究认为主动脉 CTA 检查中管电压不变, CARE Dose 4D 技术组和固定管电流组的有效辐射剂量 (effective dose, ED) 差异有统计学意义 [(5.0±1.0)mSv vs (6.0±0.4)mSv], 图像质量的差异无统计学意义, 自动管电流调节可有效减低辐射剂量。

1.2 管电压的调节 辐射剂量与管电压的平方成正比, 噪声与管电压呈反比; 降低管电压, 辐射剂量可明显减低, 增加图像噪声, 减低图像对比度, 增强血管强化程度, 为低剂量扫描下血管成像提供保证。Winter-sperger 等^[6]认为 16 排 CT 主动脉 CTA 检查中当管电压从 120 kV 减少到 100 kV, ED 减低约 29.0%~37.5%, 主动脉强化程度增幅 30.7%, 图像 SNR、CNR 无显著变化。当将管电压从 100 kV 减为 80 kV 时, CTDI_{vol} 减少了 23.5%; 主动脉 CT 值增幅明显; 图像质量无明显差异^[7]。李剑等^[5]在主动脉 CTA 检查中使用 CARE Dose 4D 管电流技术, 管电压由 120 kV 减为 100 kV 后 ED 的降幅达 31%; 主动脉强化增幅 24%, 图像质量无差异。Chen 等^[8]主动脉 CTA 中, 管电压 80 kV 组较 120 kV 组 CTDI_{vol} 减少 48%, 主动脉强化幅度增加 23%~31%, CNR 差异无统计学意义。

1.3 增加管球旋转速度、进床速度、螺距、探测器宽度 MSCT 设备通过增加管球旋转速度、螺距、进床速度、探测器宽度等来缩短曝光时间以降低辐射剂量, 这几个参数相互关联。管球旋转时间已由 4 排螺旋 CT 的 0.8 s 降低为第二代双源螺旋 CT 的 0.28 s; 螺距增大, 双源螺旋 CT 可达 3.4; 探测器宽度由 4 排增加到 320 排, 优化组合以上扫描参数可降低辐射剂量。

近年来大螺距技术在主动脉 CTA 中得到了进一步发展, 为进一步降低辐射剂量提供了技术支持。Liu 等^[9]应用 DSCT 大螺距扫描诊断主动脉夹层, 认为与常规螺距扫描相比, 其扫描时间缩短、辐射剂量降低约 30%, 图像质量无明显差异。刘琦等^[10]认为采用 320 排容积 CT 的全主动脉大螺距、宽探测器扫描, 辐射剂量明显减低, 图像质量无差异。

1.4 迭代重建算法应用 不管是降低管电流、管电压, 还是增加球管旋转速度、进床速度、螺距、探测器宽度等均可导致图像噪声增加、SNR 下降, 主要因为一般 MSCT 机图像重建采用滤过反投影 (filtered back projection, FBP) 法, 当辐射剂量降低或投影数据采集不足时, 重建图像质量会很差, 而采用迭代重建 (iterative reconstruction, IR) 算法能较好地解决此问题。

世界第一台医用 CT 采用 IR 技术, 当时受计算机技术水平限制, IR 计算速度慢、所需存储空间大而使应用和发展受限, FBP 技术代替 IR 成为 CT 图像重建的“金标准”。FBP 优点: 重建速度快, 图像质量较好; 缺点: 需足够的辐射剂量。IR 优点: 可在数据不完全和低射线剂量条件下成像, 降低图像噪声、改善图像 SNR、优化图像质量。随着计算机技术发展, IR 适应了低剂量 X 线检查发展的需求。IR 可分为 3 类: ①仅在图像数据空间进行 IR, 如 Siemens 公司的 IRIS (iterative reconstruction in image space) 技术; ②在投影数据空间和图像数据空间中均行 IR, 如 GE 公司的 ASIR (adaptive statistical iterative reconstruction) 技术、Siemens 公司的 SAFIRE (sinogram affirmed iterative reconstruction) 技术、Philips 公司的 iDose 技术和 Toshiba 公司的 AIDR (adaptive iterative dose reduction) 技术; ③仅在投影数据空间行 IR, 如 GE 公司的 MBIR (model based iterative reconstruction, 即 Veo 技术), 大幅降低 CT 辐射剂量并有与 FBP 法相同或更好的图像质量。Cornfeld 等^[11]采用 CTA 显示主动脉夹层, 发现 ASIR 组的平均 CTDI_{vol} 和剂量长度乘积较非 ASIR 组分别减少 29%、20%; 主动脉强化程度、SNR 无差别。以 IR 技术为基础, 相同辐射剂量时, IR 提高了图像质量; 相同图像噪声时, IR 可降低辐射剂量。

在主动脉 CTA 临床应用中, 以上技术常综合应用。如 Chen 等^[8,10]在主动脉成像技术中综合利用宽探测器 (320 排)、管电流自动调节技术、低管电压、大螺距及 IR 技术, 辐射剂量明显减低, 图像质量达到诊断要求。因此, 不断优化综合降低辐射剂量的技术是未来 CTA 发展方向。

2 主动脉 CTA 对比剂

碘对比剂是 CTA 的必需药物, 早期离子型高渗对比剂不良反应发生率高, 使用前需行碘过敏试验; 而目前采用非离子型低渗、等渗碘对比剂, 不需行碘过敏试验, Bottinor 等^[12]报道非离子型对比剂不良反应发生率为 0.5%~8.0%。因此改善碘对比剂的黏滞度、渗透压、使用总量、浓度、注射速度等来降低对比剂物理化学反应是重点。

2.1 降低对比剂总量 既往主动脉 CTA 检查需使用碘对比剂 100~140 ml, 易给患者带来潜在危害, 在满足诊断前提下, 减少对比剂剂量一直是研究热点。目前使用 50~60 ml 对比剂能使图像质量达到诊断标准。措施之一为利用双筒高压注射器注射生理盐水来

代替部分对比剂以维持对比剂高浓度流动;二是加快 CT 扫描速度^[9-10];三是 IR 技术的应用。付传明等^[13]于主动脉 CTA 检查中注射 60 ml 对比剂+40 ml 生理盐水,图像质量与应用 80 ml 对比剂无差异。Schindera 等^[14]应用 IR 技术、使用 45 ml 对比剂,主动脉 CTA 图像质量可达到诊断标准(管电压 80 kV);但如果其他条件不变,仅降低对比剂总量,主动脉强化程度会减低,图像质量下降,影响诊断。

2.2 降低对比剂浓度、黏滞度,改变注射速度 在温度一定时,对比剂浓度越高,黏滞度越大;升高温度,黏滞度降低。降低对比剂浓度,升高温度,可降低黏滞度,利于减少心脑血管、肾脏等不良反应。浓度为 320 mgI/ml、270 mgI/ml 的碘克沙醇,20℃下,黏滞度分别为 25.4 mPa·s、11.3 mPa·s;加热至 37℃,黏滞度均减低。

对比剂量和注射速度一定时,应用高浓度对比剂的主动脉强化程度不会明显高于低浓度者;而加快注射速率,仅能提高主动脉强化峰值,与降低管电压效果相似。使用高浓度对比剂,虽能减少对比剂总量、获得较高图像质量,但其高渗透压及黏滞度增加了对心脑血管、肾脏等的不良反应,高危人群应用受限;若明显减少高浓度对比剂总量,不利于维持血管内对比剂峰值持续时间。而用低浓度对比剂,对剂量的要求相对不严格,易于注射,不良反应相对减少。孙丛等^[15]认为采用 400 mgI/ml 对比剂 60 ml、300 mgI/ml 对比剂 100 ml 均能清晰显示腹主动脉。曹捍波等^[16]认为相同注射条件下,300 mgI/ml 的主动脉 CTA 图像与 320 mgI/ml、370 mgI/ml 的 CTA 图像质量差异无统计学意义,但减轻了对比剂不良反应。

2.3 降低对比剂渗透压 上世纪 50 年代,只能用高渗对比剂增强检查(为正常血液渗透压的 5~8 倍)。1993 年等渗非离子型对比剂(等于正常人体血液渗透压)碘克沙醇上市。碘克沙醇具有良好的肾脏耐受性,高危患者应用后对比剂肾病(contrast induced nephropathy, CIN)相对风险降低 11 倍^[17]。一项随机、双盲、双中心研究^[18]也提示等渗对比剂有利于降低 CIN 风险,更适合合并肾损害、糖尿病和使用 140 ml 以上对比剂的患者。而 Solomon 等^[19]研究认为应用低渗与等渗对比剂后不良反应发生率的差异无统计学意义。目前对比剂应用指南仍规定等渗的威视派克为 IA 类用药。

3 低管电压、低浓度对比剂结合 IR 技术的应用

将低管电压、低浓度对比剂应用于 CTA 检查中,

是目前主动脉 CTA 的新进展。降低管电压,可增加血管强化程度,解决了单纯降低对比剂浓度、剂量、注射速度而导致的血管强化减低的问题。其次,同时结合 IR 技术重建图像,解决了图像噪声及伪影问题,达到诊断图像质量标准。Zheng 等^[20]将低管电压(100 kV)、低浓度对比剂(270 mgI/ml)扫描技术结合 IR 技术应用于冠状动脉 CTA,发现辐射剂量降低约 56.4%,图像质量无差异。有关低管电压、低浓度对比剂结合 IR 技术在主动脉 CTA 检查中的应用有待研究。

4 主动脉 CTA 在临床诊断中的作用

MSCT 主动脉 CTA 不仅能准确显示主动脉夹层、动脉瘤、大动脉炎等主动脉病变的位置、形态及累及范围等,也能准确显示主动脉术后腔内支架位置及形态、有无内漏、假腔内有无血栓形成、外科术后人工血管是否通畅及有无吻合口漏等,为无创性随访评价主动脉病变提供依据^[4,10]。近年来利用 MSCT 研究^[21]主动脉弹性以评价血管形态和功能,有利于早期发现及治疗相关血管病变,但实验研究^[22]显示 MSCT 不能显示早期动脉粥样硬化斑块,多能显示晚期脂纹及纤维斑块,敏感度为 62.1%。

综上所述,尽可能地采用低浓度、低剂量的对比剂、低管电压并结合 IR 技术,是主动脉 CTA 检查追求的目标,也是遵循 ALARA 原则和对比剂使用安全的要求。

[参考文献]

[1] Noël PB, Renger B, Fiebich M, et al. Does iterative reconstruction lower CT radiation dose: Evaluation of 15,000 examinations. *PLoS One*, 2013, 8(11):e81141.

[2] Meinel FG, De Cecco CN, Schoepf UJ, et al. Contrast-induced acute kidney injury: Definition, epidemiology, and outcome. *Biomed Res Int*, 2014:859328.

[3] 郑敏文,赵宏亮,徐健,等.多层螺旋 CT 主动脉低剂量与常规剂量扫描的对照研究. *中国医学影像技术*, 2008, 24(3):443-446.

[4] 孙继全,罗先富,孙骏,等.自动管电流调节技术对主动脉夹层术后的评价及其辐射剂量的研究. *临床放射学杂志*, 2012, 31(3):434-437.

[5] 李剑,郑敏文,石明国,等.低 kV 和 CARE Dose 4D 技术对降低双源 CT 主动脉成像辐射剂量的价值. *临床放射学杂志*, 2011, 30(10):1528-1531.

[6] Wintersperger B, Jakobs T, Herzog P, et al. Aorto-iliac multidetector-row CT angiography with low kV settings: Improved vessel enhancement and simultaneous reduction of radiation dose. *Eur Radiol*, 2005, 15(2):334-341.

- [7] Söderberg M, Gunnarsson M. The effect of different adaptation strengths on image quality and radiation dose using Siemens Care Dose 4D. *Radiat Prot Dosimetry*, 2010, 39(1-3):173-179.
- [8] Chen CM, Chu SY, Hsu MY, et al. Low-tube-voltage (80 kVp) CT aortography using 320-row volume CT with adaptive iterative reconstruction: Lower contrast medium and radiation dose. *Eur Radiol*, 2014, 24(2):460-468.
- [9] Liu Y, Xu J, Li J, et al. The ascending aortic image quality and the whole aortic radiation dose of high-pitch dual-source CT angiography. *J Cardiothorac Surg*, 2013, 8:228.
- [10] 刘琦, 陈德基, 谭理连, 等. 320 排 CT 血管造影诊断主动脉夹层. *中国医学影像技术*, 2012, 28(1):113-116.
- [11] Cornfeld D, Israel G, Detroy E, et al. Impact of adaptive statistical iterative Reconstruction (ASIR) on radiation dose and image quality in aortic dissection studies: A qualitative and quantitative analysis. *AJR Am J Roentgenol*, 2011, 196(3):W336-W340.
- [12] Bottinor W, Polkampally P, Jovin I. Adverse reactions to iodinated contrast media. *Int J Angiol*, 2013, 22(3):149-154.
- [13] 付传明, 陈伦刚, 龚晓红, 等. 主动脉 MSCTA 对比剂注射方案优化的探讨. *中国介入影像与治疗学*, 2009, 6(1):51-54.
- [14] Schindera ST, Graca P, Patak MA, et al. Thoracoabdominal-aortoiliac multidetector-row CT angiography at 80 and 100 kVp: Assessment of image quality and radiation dose. *Invest Radiol*, 2009, 44(10):650-655.
- [15] 孙丛, 柳澄, 王道平, 等. 多层螺旋 CT 低剂量高浓度对比剂腹部血管成像应用研究. *放射学实践*, 2007, 22(3):259-261.
- [16] 曹捍波, 张铁英. 不同碘浓度对比剂在 MSCT 腹部血管成像的临床应用研究. *医学影像学杂志*, 2013, 23(2):220-223.
- [17] Aspelin P, Aubry P, Fransson SG, et al. Nephrotoxic effects in high-risk patients undergoing angiography. *N Engl J Med*, 2003, 348(6):491-499.
- [18] Jo SH, Youn TJ, Koo BK, et al. Renal toxicity evaluation and comparison between visipaque (iodixanol) and hexabrix (ioxaglate) in patients with renal insufficiency undergoing coronary angiography: The RECOVER study: A randomized controlled trial. *J Am Coll Cardiol*, 2006, 48(5):924-930.
- [19] Solomon RJ, Natarajan MK, Doucet S, et al. Cardiac angiography in renally impaired patients (CARE) study: A randomized double-blind trial of contrast-induced nephropathy in patients with chronic kidney disease. *Circulation*, 2007, 115(25):3189-3196.
- [20] Zheng M, Liu Y, Wei M, et al. Low concentration contrast medium for dual-source computed tomography coronary angiography by a combination of iterative reconstruction and low-tube-voltage technique: Feasibility study. *Eur J Radiol*, 2014, 83(2):e92-e99.
- [21] 李宁, 赵鹏, 柳澄. 双源 CT 评估主动脉弹性的初步研究. *中国医学影像技术*, 2011, 27(5):953-957.
- [22] 胡芸, 王翔, 陈为民. 64 层螺旋 CT 评价动脉粥样硬化病变的实验研究. *武汉大学学报:医学版*, 2011, 32(1):85-87.

《炫速双源 CT 心脑血管病诊断》已出版

《炫速双源 CT 心脑血管病诊断》于 2013 年 7 月由人民卫生出版社正式出版发行。本书是内蒙古包头市中心医院刘国荣、李月春教授为主编, 中华医学会放射学分会副主任委员李坤成教授写序, 由浙江大学医学院附属邵逸夫医院章士正教授、中国医学科学院阜外心血管病医院吕滨教授主审。

全书共分 20 章, 约 15 万字, 600 多幅图, 图片精美, 图文并茂, 以“炫速双源 CT”原理为基础, 系统总结了“炫速双源 CT”在心脏和脑血管成像方面的临床应用经验。重点突出低剂量、大螺距扫描模式临床应用, 快心率、房颤患者的大螺距扫描方法, 心脏和头颈部血管一站式扫描方法, 双能量扫描等新技术, 同时还介绍了心脏电生理、心脑血管介入等相关临床知识。本书是一部学术性和实用性均较高的专业参考书, 适合作为影像科、心内科、神经科医师及医学生的参考工具书。

本书为 16 开全彩精装本, 定价: 238 元, 全国新华书店均有销售, 也欢迎来函来电向我院购买, 免费邮寄。联系人: 王志琴; 地址: 内蒙古包头市中心医院(邮编: 014040); 联系电话: 0472-6955002。邮箱: Henrysk@163.com。

