

多层螺旋 CT 主动脉造影双低扫描的研究进展

任冉 梁立华

【摘要】 目前主动脉 CT 血管造影 (ACTA) 被认为是诊断主动脉病变首选的非侵入性检查方法, 但 ACTA 辐射剂量较大。随着临床应用的普及, ACTA 检查辐射剂量的问题受到患者和放射科医师越来越多的关注。根据国际放射防护委员会提出辐射防护最优化原则, 在保证图像质量满足诊断需求的情况下合理降低 CT 辐射剂量已成为重要的技术理论课题之一。该文对近年来多层螺旋 ACTA 双低扫描的研究进展进行了综述。

【关键词】 主动脉; 多层螺旋计算机 X 线体层扫描血管造影; 低辐射剂量

Research progress on multi-slice spiral aortic CT angiography with low tube voltage and low-dose contrast agent Ren Ran, Liang Lihua. Guangdong Medical University, Zhanjiang 524023, China

Corresponding author, Liang Lihua

【Abstract】 At present, the aortic computed tomography (CT) angiography (ACTA) is considered as the primary non-invasive method in diagnosis of aortic lesions, but ACTA generates a relatively high quantity of radiation. Along with the widespread clinical application, the exposure to radiation of ACTA has caught more and more attention of the patients and radiologists. According to the radiation protection optimization principle (as low as reasonably achievable, ALARA) proposed by the International Commission on Radiological Protection (ICRP), how to reduce the CT radiation dose but guarantee the imaging quality to meet the demand of clinical diagnosis has become one of the technical and theoretical issues. This article reviewed the research progress on the multi-slice spiral ACTA with low tube voltage and low-dose contrast agent.

【Key words】 Aorta; Multi-slice spiral row computed tomography angiography;
Low radiation dose

1990 年 Naidich 等^[1]首次提出低剂量 CT 的概念, 随着公众对放射卫生及自身防护意识的提高, 这一技术逐渐受到各方关注, 其中胸部低剂量 CT 扫描已广泛应用于临床工作中, 成为中老年人肺癌筛查和早期诊断最常用的工具^[2]。儿童作为特殊群体, 其辐射剂量问题在早期就受到临床医师的广泛关注, 但随着 MRI 和多普勒超声的飞速发展, CT 在儿童中的应用逐渐减少, 低剂量扫描技术并不成熟。近年来随着主动脉 CT 血管造影 (ACTA) 检查需求的增多, 低辐射剂量检查在临床工作中受到越来越多的关注。

随着社会生活水平的提高, 主动脉疾病发生率逐年攀升, ACTA 检查可以直接观察血管的结构、各分支情况及内部改变, 是主动脉疾病检查的主要方法。ACTA 的检查范围由主动脉弓上缘 1 cm 至双侧髂总动脉分叉水平, 全程约 40 ~ 60 cm, 因扫

描范围较广, 所以 ACTA 低辐射剂量检查一直是研究的热点^[3]。降低多层螺旋 CT 的辐射剂量主要从 3 个方面入手, 分别为 X 线辐射剂量、对比剂浓度及对比剂剂量。降低 X 线辐射剂量主要通过改变 CT 设备硬件及软件参数, 如改变管电压、管电流、扫描模式、扫描长度、进床速度、螺距及重建算法等。通过改变对比剂黏滞度、渗透压、使用总量、浓度及注射速度减轻对比剂引起的辐射。其中低管电压和大螺距具有同时降低对比剂剂量的作用。本文对近年来多层螺旋 ACTA 双低扫描的研究进展进行了综述。

一、降低 X 射线辐射剂量

1. 管电压的调节

辐射剂量与管电压的平方呈正比, 当管电压降低时, 辐射剂量可大幅度降低, 而图像噪声与管电压呈反比, 当管电压降低时必然会引起图像噪声的

增加, 并且影响图像质量, 所以不能盲目追求低管电压, 而应平衡图像质量, 适当降低管电压。陆东旭等^[4]研究显示, 80 kV 管电压联合迭代重建能够保证图像质量, 达到诊断目的, 而辐射剂量较常规 120 kV 电压降低约 72%, 为 (2.12 ± 0.15) mSv。近年来双源 CT 发展迅速, 杨立强等^[5]发现在 70 kV 管电压下获取的图像可达到诊断目的。

2. 管电流的调节

CT 扫描在管电压一定的条件下, 到达探测器的 X 线光子量与管电流、检查部位厚度及构成成分有关^[6]。

到达探测器的 X 线光子量与管电流呈正比, 当管电流减低时, 穿过人体到达探测器的 X 线光子量也降低, 辐射剂量下降。杨卫东^[7]研究表明, 64 层螺旋 CT 当固定 120 kV 的管电压时, 200 mAs 的条件下图像质量与传统 350 mAs 的图像质量无差别, 可以满足诊断需求, 而 200 mAs 条件下容积 CT 剂量指数 (CTDIvol)、剂量长度乘积 (DLP) 及有效剂量 (ED) 较 350 mAs 时分别降低 43.7%、42.2% 及 43.7%, X 线辐射剂量明显降低, 但该条件下的图像噪声与管电流呈反比, 当管电流降低时图像噪声会增大, 图像信噪比会下降。近年来提出自动管电流调制技术的概念, 即根据解剖部位调整管电流, 达到不影响图像质量同时降低管电流的目的, 目前这一技术得到临床的广泛应用。

3. 增加螺距、进床速度、球管旋转速度及探测器宽度

多层螺旋 CT 设备通过增加球管旋转速度、进床速度、螺距及探测器宽度缩短曝光时间, 以降低辐射剂量^[6]。目前, 多层螺旋 CT 球管旋转时间已由 4 排的 0.8 s 降低至第 2 代双源 CT 的 0.28 s^[7-8]。探测器宽度由 4 排演变为现在的 320 排。双源 CT 的螺距亦已增大至 3.4。大螺距扫描的优点是层与层之间重叠少、扫描速度快, 全胸腹部 CTA 扫描时间仅需 1.7 s。Apfaltrer 等^[9]研究表明, 大螺距扫描与传统 ACTA 扫描相比, 辐射剂量降低 45%~50%, 而图像质量不受影响。大螺距扫描也存在一些不足之处, 如扫描速度过快、超过药团在血管内的流动速度, 时间过早导致主动脉末端及双侧髂动脉造影剂剂量过低, 触发时间过晚导致主动脉全程 CT 值偏低。为解决这一矛盾, 安贞医院将 bolus-tracking ROI 置于主肺动脉^[4]。

4. 迭代重建算法 (IR)

以上 3 种方法均会导致图像噪声增大, 空间分

辨率降低, 而 IR 可以弥补一部分低剂量检查造成的数据缺失, 提高图像质量。滤过反投影算法是 CT 问世以来传统的重建技术, 它对采集的数据要求较高, 当管电压降低, 造影剂降低时, 投影数据采取不足, 重建的图像伪影较大, 不能满足临床诊断需求^[10]。IR 是通过计算出的模型重建图像与实际图像反复对比, 当两者完全吻合时, 则重建终止, 所以 IR 在重建过程中不断降低图像噪声, 在多次迭代和校正中重建出高质量低噪声的图像^[11-14]。目前 IR 基本取代滤过反投影算法重建图像, 在降低辐射剂量的同时提高了抑制噪声的效果, 改善了图像质量。

二、血管造影对比剂

目前临床广泛使用的均为碘对比剂, 碘对比剂根据其化学特性有多种分型, 如离子型和非离子型, 高渗、次高渗和等渗。鉴于碘对比剂有肾毒性, 临床尽量选择应用非离子型对比剂、等渗或次高渗对比剂, 如碘克沙醇、碘佛醇。尽量避免使用高渗性离子型对比剂, 如泛影葡胺^[15]。碘克沙醇、碘佛醇等有相对合适的浓度、黏滞度、渗透压, 可以减轻对比剂的理化不良反应, 并且可通过减低使用总量、减慢注射速率等方法降低检查的辐射剂量。

1. 降低碘对比剂总量

21 世纪之前在国内外大范围动脉血管成像中, 对比剂的剂量普遍采用 80~120 ml^[4,16-17]。目前检查对比剂的剂量多数为 30~60 ml, 为了满足诊断要求, 需从以下 3 个方面补充低剂量碘的剂量缺失: 一是使用对比剂后注射生理盐水, 对比剂总量是维持压力的重要因素, 并决定血管内密度峰值的持续时间, 使用对比剂后以相同速率注射足够的生理盐水, 达到维持对比剂团注的效果, 这样既能维持足够的压力, 又降低了对比剂总量, 而且可以获取满足诊断需求质量的图像; 二是加快 CT 扫描速度, 缩短扫描时间, 压缩峰值持续时间; 三是采用 IR 技术^[18]。

蒋华东等^[19]用 64 层螺旋 CT, 采用 60 ml 碘对比剂加 40 ml 生理盐水的方法获取了可以满足临床诊断需求的图像, 而且大幅度降低了辐射剂量, 降低了对比剂肾病 (CIN) 的发生率。柏青等^[16]发现 50 ml 碘对比剂在胸腹主动脉大范围血管成像中已能满足诊断需求。刘杰等^[20]采用对比剂的剂量个体化联合注射生理盐水法, 其中对比剂剂量 0.6~0.7 ml/kg, 即 40~50 ml 碘对比剂加 40~50 ml 生

理盐水,可满足诊断需求,同时降低了辐射剂量。近年来,随着双源 CT 发展,大螺距扫描的广泛应用,对比剂剂量可以降至 30 ml^[4]。

2. 降低对比剂浓度

现阶段所用的对比剂均为含碘离子对比剂,对受检者带来很多潜在危险,特别是高浓度对比剂的碘负荷更大。对比剂浓度与其渗透压及黏滞度有关,相对于高渗透压及高黏滞度的对比剂,低渗透压、低黏滞度的对比剂对肾脏的损伤较轻,引起 CIN 的几率也减低^[21]。

2014 年中华医学放射学分会对比剂安全使用工作组发布的《碘对比剂使用指南》将对对比剂分为高渗、次高渗(代替了低渗的概念)、等渗 3 种。有研究发现,渗透压低于血液的对比剂会导致肾血管收缩,渗透性利尿、肾性贫血,现在常用的等渗性非离子性对比剂为碘克沙醇^[15]。姜原等^[22]研究表明,0.27% 碘克沙醇进行 ACTA 检查可满足诊断需求,有效碘用量较 370 mgI/ml 的碘普罗胺明显减少。

对比剂注射速率也是影响 ACTA 成功与否的关键因素。理论上,较高的注射速率可以使血管内达到较高的浓度,但是血管承受弹性压力的程度有限,不能无限度地增加注射速率,特别是对于血管弹性差的老年人,过高的注射速率会导致对比剂外渗。低碘流率会降低血管的强化程度,使血管内 CT 值降低,而低管电压会提高血管的强化程度,弥补一部分因低碘流率引起的主动脉内 CT 值降低,所以低碘流率常在低管电压的条件下使用。目前,临床常用的对比剂注射速率为 3~5 ml/s^[23]。

肾功能是影响 ACTA 的重要因素。CIN 为较严重且最常见的并发症,是多种病理生理机制共同作用的结果。有研究表明,对比剂黏度在 CIN 的发生中起重要作用,对比剂黏度越高,停留在血管内时间越长,对血管内皮损伤越大,导致肾血流减少^[16]。温度一定时,浓度增加、黏滞度增加,温度升高时,黏滞度下降。故注射前将对对比剂加热至人体基础温度,可降低对比剂不良反应的发生率。

三、低管电压、低剂量对比剂结合迭代重建技术的应用

降低管电压、对比剂剂量均可以有效地降低辐射剂量,且两者相辅相成,因为当管电压接近碘的 K 缘值时,碘信号的检测效率将出现较大跃升,碘的 CT 值最大,与周围软组织结构物体的对比也最强。如在其他条件一致的情况下,设定 120 kV

时的碘信号幅度为 100%,则 140 kV 时为 87%、100 kV 时为 117%、80 kV 时为 140%,所以 80 kV 管电压时,碘的对比度最强^[24]。同时 IR 可以弥补低管电压检查造成的采集数据欠佳和图像伪影较大的缺憾,重建出可以满足诊断需求的图像。所以低管电压、低剂量对比剂结合迭代重建技术可以在满足临床诊断的条件下,降低辐射剂量,实现辐射防护最优化原则。

四、结 语

目前,国内外学者在 ACTA 双低检查方面取得了一定的成果,但是我们应该清醒地认识到,获得具有临床诊断价值的图像是双低扫描广泛应用于临床的必要条件。这就需要在临床实际应用中采用科学的、个性化的双低扫描技术,使 CT 的临床应用更加有效地降低患者检查的风险,这也是将科学研究转化为临床应用的关键。

参 考 文 献

- [1] Naidich DP, Marshall CH, Gribbin C, Arams RS, McCauley DI. Low-dose CT of the lungs: preliminary observations. *Radiology*, 1990, 175 (3): 729-731.
- [2] 陈卫军,陈岸,梁兆煜,张继平. 肺功能检测在吸烟人群中肺癌筛查的作用. *新医学*, 2013, 44 (2): 101-104.
- [3] Meinel FG, De Cecco CN, Schoepf UJ, Katzberg R. Contrast-induced acute kidney injury: definition, epidemiology, and outcome. *Biomed Res Int*, 2014, 2014: 859328.
- [4] 陆东旭,王瑞,范占明,刘锴,晏子旭,申艳光. 双低剂量全主动脉 CT 血管成像临床应用研究. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2015, 13 (4): 117-120.
- [5] 杨立强,王小红,朱春,张立志,陆平秀,卢大红. 70 kV 超低辐射剂量结合 270 碘对比剂在主动脉 CTA 检查中的临床意义. *中国实验诊断学*, 2015, 19 (11): 1934-1936.
- [6] Liguori C, Frauenfelder G, Massaroni C, Saccomandi P, Giurazza F, Pitocco F, Marano R, Schena E. Emerging clinical applications of computed tomography. *Med Devices (Auckl)*, 2015, 8: 265-278.
- [7] 杨卫东. 64 层 CT 低剂量扫描在胸主动脉 CTA 中的临床应用研究. *医学影像学杂志*, 2014, 24 (8): 1300-1302.
- [8] Chen HL, Chen TW, Qiu LH, Diao XM, Zhang C, Chen L. Application of flash dual-source CT at low radiation dose and low contrast medium dose in triple-rule-out (tro) examination. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8 (11): 21898-21905.
- [9] Apfaltrer P, Hanna EL, Schoepf UJ, Spears JR, Schoenberg SO, Fink C, Vliegthart R. Radiation dose and image quality at high-pitch CT angiography of the aorta: intraindividual and inter-individual comparisons with conventional CT angiography. *AJR Am J Roentgenol*, 2012, 199 (6): 1402-1409.
- [10] Spears JR, Schoepf UJ, Henzler T, Joshi G, Moscariello A, Vliegthart R, Cho YJ, Apfaltrer P, Rowe G, Weininger M,

- Ebersberger U. Comparison of the effect of iterative reconstruction versus filtered back projection on cardiac CT postprocessing. *Acad Radiol*, 2014, 21 (3): 318-324.
- [11] 马宇, 周智鹏, 邱维加. 自适应迭代重建算法结合自动管电流调制技术在腹部 CT 低剂量应用. *中国医学影像学杂志*, 2014, 22 (2): 145-148.
- [12] Morgan DE. Dual-energy CT of the abdomen. *Abdom Imaging*, 2014, 39 (1): 108-134.
- [13] Singh S, Kalra MK, Hsieh J, Licato PE, Do S, Pien HH, Blake MA. Abdominal CT: comparison of adaptive statistical iterative and filtered back projection reconstruction techniques. *Radiology*, 2010, 257 (2): 373-383.
- [14] Wang R, Schoepf UJ, Wu R, Gibbs KP, Yu W, Li M, Zhang Z. CT coronary angiography: image quality with sinogram-affirmed iterative reconstruction compared with filtered back-projection. *Clin Radiol*, 2013, 68 (3): 272-278.
- [15] 中华医学会放射学分会对比剂安全使用工作组. 碘对比剂使用指南 (第 2 版). *中华放射学杂志*, 2013, 47 (10): 869-872.
- [16] 柏青, 包雪梅, 苏夏伟, 褚春燕. 低剂量对比剂在胸腹主动脉 CTA 中的临床应用分析. *医学影像学杂志*, 2015, 25 (2): 361-363.
- [17] 付传明, 徐官珍, 陈伦刚, 徐霖, 龚晓红, 邹建华, 陈杰. 低剂量对比剂在 64 排螺旋 CT 主动脉成像中的探讨. *中国体视学与图像分析*, 2011, 16 (1): 96-102.
- [18] Bottinor W, Polkampally P, Jovin I. Adverse reactions to iodinated contrast media. *Int J Angiol*, 2013, 22 (3): 149-154.
- [19] 蒋华东, 范晔辉, 顾庆春, 薛春华, 杨波. 64 层螺旋 CT 低剂量对比剂主动脉成像的可行性研究. *医学影像学杂志*, 2014, 24 (5): 726-728.
- [20] 刘杰, 高剑波, 郭华, 张永高, 董雷钢, 王超琴. 腹主动脉 CT 血管成像的低剂量对比剂应用研究. *中华放射学杂志*, 2011, 45 (12): 1207-1210.
- [21] 唐坤, 李瑞, 林洁, 郑祥武, 曹国全. 80 kV 低管电压扫描对脑 CT 血管成像图像质量及辐射剂量的影响. *中国医学影像学杂志*, 2013, 21 (3): 177-183.
- [22] 姜原, 赵永为, 王霄英, 张保翠, 王蕊, 罗健, 高福生, 何静. 100 kVp 条件下碘克沙醇 (270 mgI/mL) 应用于主动脉 CTA 检查的可行性研究. *放射学实践*, 2014, 29 (4): 357-360.
- [23] Faggioni L, Neri E, Sbragia P, Pascale R, D'Errico L, Caramella D, Bartolozzi C. 80-kV pulmonary CT angiography with 40 mL of iodinated contrast material in lean patients: comparison of vascular enhancement with iodixanol (320 mg I/mL) and iomeprol (400 mgI/mL). *AJR Am J Roentgenol*, 2012, 199 (6): 1220-1225.
- [24] 付传明, 王忠平, 徐霖, 陈伦刚, 吴磊, 吴德红, 张海波. 低管电压与低对比剂碘量技术在主动脉 CT 血管造影中的可行性研究. *中华放射医学与防护杂志*, 2015, 35 (4): 313-315.

(收稿日期: 2016-12-10)

(本文编辑: 林燕薇)