

论 著

双低剂量全主动脉CT血管成像临床应用研究

首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科 (北京100029)

陆东旭 王 瑞 范占明
刘 锐 晏子旭 申艳光

【摘要】目的 利用双低剂量(80kV, 30ml碘对比剂)结合迭代重建全主动脉CT血管成像, 评价图像质量及应用可行性。**材料和方法** 前瞻性收集60例主动脉术后接受主动脉CTA检查的患者, 并分为两组。第一组采用120kV、60ml对比剂扫描方案, 第二组采用80kV、30ml对比剂扫描方案扫描。第一组采用滤波反投影法(FBP)重建, 第二组采用迭代算法(SAFIRE)重建。比较两组间的主观(主动脉图像质量评分)和客观图像质量(图像噪声、信噪比SNR、对比噪声比CNR)的差异。记录两组辐射剂量。**结果** 与第一组相比, 第二组总体主观图像质量无明显差异($p>0.05$), 部分主动脉节段的图像噪声和SNR略有降低; 第二组辐射剂量比第一组降低约72% ($2.12 \pm 0.15 \text{ mSv}$ vs. 7.47 ± 0.54 , $p<0.0001$), 对比剂用量减少50% (30ml vs 60ml, $p<0.0001$)。**结论** 80kV、30ml对比剂全主动脉CTA扫描方案结合迭代重建算法显著降低辐射剂量和对比剂用量, 其图像质量可满足诊断。

【关键词】 主动脉; 血管成像; 辐射剂量; 对比剂; 计算机体层摄影

【中图分类号】 R543.1; R445.2

【文献标识码】 A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2015.04.37

通讯作者: 范占明

Clinical Application of Whole Aortic CT Angiography in Double-low Dose

[Abstract] Objective To assess the image quality and the feasibility of double-low dose (80 kv and 30 mL contrast medium) combined with iterative reconstruction (IR) in whole aortic CT angiography. **Methods** Sixty post-operative patients were prospectively enrolled in this study and randomly separate into two groups with a routine dose CTA protocol (FLASH, reference parameters 120 kv, 60 mL contrast medium, RD) and a low dose CTA protocol (FLASH, reference parameters 80 kv, 30 mL contrast medium, LD), respectively. Images were reconstructed using filtered back projection (FBP) for RD dataset and using IR for LD dataset. Two radiologist reviewed the image quality using a 5-point scale (1 = non-diagnostic, 5 = excellent), measured objective image noise and calculated the signal to noise ratio (SNR), contrast to noise ratio (CNR). The radiation dose was recorded. **Results** The subjective image quality and CNR was no significantly statistical difference in LD, compared with RD (all $p > 0.05$), but image noise and SNR was decreased in part of aortic segment. Compared with RD, the effective radiation dose and contrast medium volume in LD decreased by 72% and 50%, respectively ($2.12 \pm 0.15 \text{ mSv}$ vs. $7.47 \pm 0.54 \text{ mSv}$, 30 mL vs. 60 mL, all $p < 0.05$). **Conclusion** 30 mL contrast medium at 80kV for aorta CT angiography significantly reduces radiation and contrast agent volume while maintaining the diagnostically image quality.

[Key words] Aorta; CTA; Radiation Dose; Contrast Medium; Computed Tomography

主动脉病变严重危害健康, 其中主动脉夹层被认为是心血管三大急症之一, 致死率较高。近年随着CT的空间和时间分辨率的提高, CT血管造影(CT angiography CTA)已经成为大血管病变检查以及术后随访的主要手段之一。主动脉CTA不仅能够显示主动脉根部的解剖细节, 而且能够显示主动脉分支受累情况, 以及术后人工血管、吻合口的通畅情况。由于胸腹主动脉CTA扫描范围广、时间长, 辐射剂量以及对比剂用量均较高。目前, CT的辐射剂量以及对比剂诱发的肾损伤越发受到重视。有报道显示与CT辐射相关的恶性肿瘤发病率大约在1.5~2%, 而且考虑到对比剂肾损害, 部分术后患者只能放弃CTA的随访检查^[1、2]。已经有研究显示双源CT的大螺距螺旋(Flash, 螺距3.2~3.4)扫描速度快, 明显降低患者的辐射剂量^[3], 并且理论上也可能减少对比剂用量。碘对比剂用量减少, 使得动脉增强峰值平台期缩短, 加上普通螺旋扫描速度慢, 易导致CTA检查失败。大螺距螺旋扫描全胸腹主动脉仅有1.7秒^[4], 有可能采集到相对变短的平台期。因此本研究目的是探讨低辐射剂量、少量对比剂大螺距螺旋扫描(Flash扫描)方案在主动脉术后随访中的应用价值。

1 材料与方法

1.1 入选人群 选取2014年4月至8月本院主动脉病变术后患者60例, 年龄25~78岁, 平均 49 ± 10 岁, 女性19例, 男性41例。入选患者随机分为2组, 每组30例。排除标准: 1、碘对比剂过敏患者; 心功能和肾功能不全患者; 年龄小于18岁的患者。该研究为单中心、前瞻性研究。该研究获得本院伦理委员会批准, 所有患者填写知情同意书。

1.2 主动脉CTA扫描 所有扫描在双源CT机(Definition FLASH, Siemens)完成, 采用大螺距螺旋扫描(FLASH)结合心电图扫描方案。

第一组(常规剂量组)扫描条件:准直宽度 $2 \times 64 \times 0.6$ mm, Z轴飞焦点, 机架转速280ms, 螺距3.2, 管电压120kv, 电流366 mAs。使用Blous-tracking技术, 将ROI放置于气管分层面升主动脉内, 当主动脉内对比剂浓度升高至100HU后自动触发扫描。扫描范围包括主动脉弓分支至双髂外动脉。心脏范围的图像采集使用前瞻性心电图门控, 采集期相设定为60%的RR间期。经肘前静脉团注非离子型对比剂(优维显370mgI/ml)60ml, 流速3.5~4ml/s。第二组(低辐射、低剂量对比剂组)设置管电压80kv, 非离子型对比剂(优维显370mgI/ml)30ml, 当主肺动脉内对比剂浓度升高至60HU后自动触发扫描(心功能正常的情况下), 余扫描参数同第一组。第一组采集的数据使用传统的滤波反投影法(FBP)重建, 第二组的数据使用迭代重建(SAFIRE3); 重建层厚1.5mm, 间隔1mm。选择与重建方法相匹配的kernel值, FBP 选用B30f, SAFIRE选用I30f。

1.3 图像质量分析 将所有图像传至Siemens MMWP后处理工作站, 采用多平面重建、最大密度投影、轴位图像及容积再现后处理技术进行图像质量评价。

1.3.1 主观评价分析: 两名放射科医师采用5分值法进行主观图像质量评价^[5]: 1分=图像质量差, 图像噪声高, 血管对比剂浓度低, 无法用于诊断; 2分=图像质量较差, 图像噪声较高, 血管内对比剂浓度仍较低, 无法用于诊断; 3=图像质量中等, 图像能够用于诊断; 4=图像质量好; 5=图像质量完美。

1.3.2 客观定量分析: 测量主动脉根部、气管分叉水平升主动脉和胸部降主动脉、腹腔干水平腹主动脉、腹主动脉分叉及双侧髂总动脉的CT值和噪声(或

表1 患者一般临床资料

一般临床资料	第一组	第二组
男/女	25/5	23/7
年龄(岁)	51 ± 12	49 ± 10
体质量指数(kg/m ²)	25.43 ± 3.76	25.06 ± 2.95
全胸腹主动脉置换术后(例)	7	6
Sun's术后(例)	10	7
Bentall术后(例)	3	7
B型夹层腔内修复术后(例)	6	5
腹主动脉瘤腔内修复术后(例)	4	5

表2 两组间主动脉图像质量主观评分

图像质量评分	第一组	第二组
5	9	6
4	16	15
3	3	4
2	2	2
1	0	3

表3. 两组间主动脉图像质量客观评价

	第一组	第二组	T	P value
主动脉根部(HU)	273.96 ± 64.18	236.58 ± 113.27	-2.024	0.066
噪声(HU)	24.92 ± 5.17	26.82 ± 8.64	1.074	0.304
SNR	11.68 ± 4.85	9.95 ± 6.31	-1.849	0.089
CNR	15.58 ± 4.48	17.05 ± 10.05	0.547	0.594
升主动脉(HU)	289.92 ± 68.33	252.96 ± 118.16	-1.732	0.109
噪声(HU)	18.95 ± 4.69	23.43 ± 6.84	2.441	0.031
SNR	16.60 ± 7.07	11.63 ± 6.55	-2.159	0.052
CNR	21.41 ± 9.51	21.32 ± 17.80	-0.024	0.981
降主动脉(HU)	282.92 ± 71.66	265.88 ± 107.35	-0.812	0.433
噪声(HU)	21.23 ± 4.77	35.88 ± 14.17	4.112	0.001
SNR	14.13 ± 4.94	8.79 ± 5.18	-4.435	0.001
CNR	21.36 ± 7.38	17.00 ± 11.27	-1.531	0.152
腹腔干腹主动脉(HU)	267.12 ± 69.27	274.09 ± 93.22	0.430	0.675
噪声(HU)	30.48 ± 7.56	51.02 ± 15.10	5.613	0.000
SNR	9.70 ± 4.42	5.84 ± 2.87	-4.594	0.001
CNR	15.46 ± 6.72	16.18 ± 10.62	0.401	0.696
主动脉分叉(HU)	288.70 ± 78.71	276.74 ± 91.96	-0.668	0.517
噪声(HU)	34.34 ± 17.89	40.68 ± 12.01	1.268	0.229
SNR	9.76 ± 4.56	8.26 ± 6.06	-1.199	0.254
CNR	19.57 ± 9.10	20.74 ± 11.51	0.576	0.575
左侧髂总动脉(HU)	287.85 ± 78.29	272.72 ± 93.06	-0.630	0.541
噪声(HU)	25.67 ± 7.03	39.76 ± 13.92	3.632	0.003
SNR	12.53 ± 6.75	8.13 ± 4.84	-2.300	0.040
CNR	21.16 ± 9.61	16.35 ± 9.40	-1.595	0.137
右侧髂总动脉(HU)	284.82 ± 81.34	271.70 ± 97.90	-0.596	0.562
噪声(HU)	34.67 ± 20.90	36.99 ± 13.60	0.384	0.708
SNR	11.05 ± 7.97	9.03 ± 6.20	-1.070	0.306
CNR	19.43 ± 6.12	16.67 ± 9.91	-1.405	0.185
CTDIvol(mGy)	6.26 ± 0	1.78 ± 0	-5.823	<0.0001
DLP(mGy.cm)	439.17 ± 31.87	124.78 ± 9.03	-49.617	<0.0001
ED(mSv)	7.47 ± 0.54	2.12 ± 0.15	-49.617	<0.0001

人工血管内CT值和噪声)。测量时ROI位置、大小保持一致,避开管壁上的钙化,如管腔内仍夹层残留,测量真腔CT值。同时测量上述同层面皮下脂肪的CT值及噪声。计算各处主动脉的SNR和CNR: $SNR=ROI管腔/SD管腔$, $CNR=(ROI管腔-ROI脂肪)/SD脂肪$ 。

1.4 放射线剂量 记录每位患者的CT剂量指数(CT dose index CTDI)和剂量长度(dose-length product DLP),计算有效辐射剂量(effective dose ED), $ED=DLP \times 0.017mSv/mGy \cdot cm^{[3]}$ 。

1.5 统计学方法 采用SPSS16.0统计软件进行统计分析,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。两组间不同节段的主动脉CT值、图像噪声、SNR和CNR、主观图像质量评分采用两组独立样本t检验。计数资料比较采用卡方检验。采用kappa检验两名观察者测量一致性检验。P值<0.05被认为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 患者一般临床资料 所有60例患者完成主动脉CTA扫描,未出现不良反应(表1)。

2.2 图像质量评价

2.2.1 主观图像质量: 两名观察者对60例主动脉CTA主观图像质量评价的一致性良好(Kappa=0.85)。第一组与第二组图像质量无统计学差异($p > 0.05$, 表2)。

2.2.2 客观图像质量评价: 第二组部分节段的主动脉噪声高于第一组,CT值、SNR和CNR低于第一组,差异有统计学意义。表3,图1-4。

2.3 辐射剂量及对比剂剂量 第一组CTDI 6.26mGy, DLP 439.17 ± 31.87mGy.

cm, ED 7.47 ± 0.54mSv; 第二组CTDI 1.78 mGy, DLP 124.78 ± 9.03mGy. cm, ED 2.12 ± 0.15mSv, 表2。第二组组辐射剂量较第一组降低约72%,对比剂用量减少50%。

3 讨论

当前常用的降低辐射剂量的方法有:降低管电压,电压和电流自动调制技术,前瞻性心电门控技术,以及大螺距螺旋扫描等。研究显示80kv大血管CTA辐射剂量较100kv相比降低23~27%,并且能够保证图像质量,但是噪声却升高了45%^[6]。图像噪声升高将会导致低对比病灶漏诊^[7],最近一些研究证实迭代重建算法能够明显降低图像噪声,改善图像质量^[8,9],因此这项研究中我们在80kv组的图像重建过程中使用了迭代重建算法。80kv组的图像噪声得到明显改善,但仍有部分主动脉节段的图像噪声和图像信噪比差于120kv组,然而图像的主观评分却与120kv组无明显差异。

大螺距(螺距3.2~3.4)扫描的最大优点就是层与层之间重叠少、扫描速度快,全胸腹主动脉至髂动脉的扫描时间大约仅需1.7s^[4],该扫描模式结合心电门控可以同时评价主动脉根部和冠状动脉。Apfalter等的研究表明大螺距扫描与传统主动脉CTA扫描相比,在图像质量不受影响的情况下,辐射剂量降低了45~50%^[3]。在这项研究中,我们采用大螺距螺旋扫描并将管电压降到80kv,所得辐射剂量为2.12mSv,明显低于以前的研究(9.6 ± 3.0mSv)^[10]。大螺距扫描速度太快也导致一些不利的方面,如扫描速度超过药团在血管内的流动速度,扫描触发时间稍早会造成一些患者主动脉远端及双侧

髂动脉血管内CT值偏低,稍晚又会因为药量较少而引起全主动脉内CT值偏低。为克服这一影响,我们将bolus-tracking ROI置于主肺动脉,当主肺动脉内对比剂浓度升高至60HU后触发扫描,结果显示主动脉远端(主动脉分叉及双侧髂总动脉)CT值无明显差异。

这项研究中30ml对比剂明显低于以前研究中的对比剂用量(88.7ml)^[10],虽然主动脉内的CT值略有下降,但并未影响总体图像评价,这在以前的研究中亦得到证实^[11]。原因可能为低kv时X线的光电效应增强,而且管电压越接近碘离子的K边缘(33.2keV),碘离子对X线的衰减越明显。因此第二组使用80kv和30ml对比剂与第一组120kv、60ml对比剂相比主动脉CT值略显下降,但主观图像质量并无明显降低(图3-4)。

该研究的局限性:1、这项研究属前瞻性研究,未根据患者BMI进行管电压个性化控制,部分BMI > 30的患者用80kv、30ml对比剂扫描时所得图像质量较差;2、虽使用前瞻性心电门控但并未对冠状动脉进行评价。

4 结论

低辐射剂量和低剂量对比剂双源CT大螺距螺旋扫描结合迭代重建能够应用于全胸腹主动脉扫描,辐射剂量降低约72%,对比剂剂量降低50%,而且图像质量能够满足临床诊断。

参考文献

1. Becker CR, Davidson C, Lameire N et al. High-risk situations and procedures. The American journal of cardiology, 2006; 98: 37K-41K.
2. Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, Schoenhagen P, Min JK, Leipsic JA. SCCT

expert consensus document on computed tomography imaging before transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/ transcatheter aortic valve replacement (TAVR). *Journal of cardiovascular computed tomography*, 2012; 6: 366-80.

- Apfaltrer P, 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. *AJR American journal of roentgenology*, 2012; 199: 1402-9.
- Plank F, Friedrich G, Bartel T et al. Benefits of high-pitch 128-slice dual-source computed tomography for planning of transcatheter aortic valve implantation. *The Annals of thoracic surgery*, 2012; 94: 1961-6.
- Behrendt FF, Schmidt B, Plumhans C et al. Image fusion in dual

energy computed tomography: effect on contrast enhancement, signal-to-noise ratio and image quality in computed tomography angiography. *Investigative radiology*, 2009; 44: 1-6.

- 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. *Investigative radiology*, 2009; 44: 650-5.
- Kalra MK, Maher MM, Blake MA et al. Detection and characterization of lesions on low-radiation-dose abdominal CT images postprocessed with noise reduction filters. *Radiology*, 2004; 232: 791-7.
- Wang R, Schoepf UJ, Wu R et al. CT coronary angiography: image quality with sinogram-affirmed iterative reconstruction compared with filtered back-projection. *Clinical radiology*, 2013; 68: 272-8.
- Wang R, Schoepf UJ, Wu R et al.

Image quality and radiation dose of low dose coronary CT angiography in obese patients: sinogram affirmed iterative reconstruction versus filtered back projection. *European journal of radiology*, 2012; 81: 3141-5.

- Li Y, Fan Z, Xu L et al. Prospective ECG-gated 320-row CT angiography of the whole aorta and coronary arteries. *European radiology*, 2012; 22: 2432-40.
- Wuest W, Anders K, Schuhbaeck A et al. Dual source multidetector CT-angiography before Transcatheter Aortic Valve Implantation (TAVI) using a high-pitch spiral acquisition mode. *European radiology*, 2012; 22: 51-8.

(本文图片见封二)

(本文编辑: 刘龙平)

【收稿日期】2015-03-09

(上接第 96 页)

另外还可以通过增加b值来区别, 淋巴结在b值超过1000s/mm²时信号降低, 而隐睾组织仍为高信号^[10]。

笔者认为临床不可触及型隐睾的诊断路径为先做B超筛查, 在B超不能明确定位时再行MRI检查, 以常规T1WI、T2WI-FS为基础, 并将DWI作为常规检查的必要的一项, 结合Gd-DTPA增强检查, 从组织形态、血供及分子水平等多方面进行隐睾确认及定位, 以常规MRI为基础, 在隐睾没完全萎缩病例中, DWI能较好将隐睾与周围组织及结构区分开来, 是常规MRI检查的良好补充。

参考文献

- 朱长庚, 主编. 神经解剖学. 北京: 人民卫生出版社, 2002. 1022-1029.
- 吴阶平, 裘法祖, 主编. 黄家驹外科

学. 第5版. 北京: 人民卫生出版社, 1992 1784-1786.

- Gatti JM, Ostlie DJ. The use of laparoscopy in the management of non-palpable undescended testes. *Curr Opin Pediatr* 2007. 19: 349-353.
- Kanemoto K, Hayashi Y, Kojima Y, et al. Accuracy of ultrasonography and magnetic resonance imaging in the diagnosis of nonpalpable testis. *Int J Urol* 2005. 12: 668-672.
- 陈忠, 练旭辉, 梁长松等. 小儿未降睾丸的磁共振磁共振表现及其评价. *中国CT和MRI杂志* [J]. 2008. 6 (4): 31-64.
- Fritzsche PJ, Hricak H, Kogan BA. et al. Undescended testis: value of MR imaging. *Radiology*, 1987. 164: 169-173.
- Maghnie M, Vanzulli A, Paesano P, et al. The accuracy of magnetic resonance imaging and ultrasonography compared with surgical findings in the localization of the undescended testis. *Arch Pediatr Adolesc Med* 1994, 148: 699-703.

- 张廷军. 磁共振扩散加权成像对不可触及及隐睾诊断价值. *医学影像学杂志*. 2011. 21 (8): 1230.
- Mecit K, Selim D, Ahmet Y, et al. Diagnostic performance of diffusion-weighted MRI in the detection of nonpalpable undescended testes: comparison with conventional MRI and surgical findings. *AJR*. 2010, 195: 272.
- Wendy W. M, Paul K. H, Victor H. G, et al. Using gadolinium-Infusion MR venography to show the impalpable testis in pediatric patients. *AJR*: 2001. 176: 1221.
- Abdel Razek AA, Soliman NY, Elkhamary S, Alsharaway MK, Tawfik A. Role of iffusionweighted MR imaging in cervical lymphadenopathy. *Eur Radiol* 2006. 16: 1468-1477.
- 陈忠, 周文锋, 苏荣森. 未降睾丸并精原细胞瘤的MRI诊断. *临床放射学杂志*. 2000, 19 (11): 715.

(本文编辑: 张嘉瑜)

【收稿日期】2015-03-09