

# • CT 双低剂量成像专题 • 能谱 CT 双低剂量在下肢动脉 CTA 中的应用研究

吕仁锋, 刘婷婷, 李超, 陶芳

**【摘要】** 目的:探讨使用低管电压和低浓度对比剂对下肢动脉 CTA 检查的图像质量和辐射剂量的影响。方法:行下肢动脉 CTA 的连续 80 例患者,随机分成两组,每组各 40 例。A 组:管电压 100 kVp,对比剂使用威视派克(270 mg I/mL);B 组:管电压 120 kVp,对比剂为欧乃派克(350 mg I/mL)。图像重建使用自适应统计迭代算法(ASiR)。两组其它扫描参数相同。测量和计算图像最佳对比噪声比(CNR),噪声值(SD)和多处下肢动脉 CT 值的均值,计算每例患者的辐射剂量(ED)及平均碘摄入量(mg I/kg),由两位放射医师采用 4 分法评估图像质量,对 2 组间的上述指标进行统计学分析。结果:A 组图像的 CNR( $15.23 \pm 2.10$ )高于 B 组( $13.42 \pm 1.93$ ),差异有高度统计学意义( $t=4.02, P<0.001$ )。A 组的图像噪声和图像质量评分分别为( $9.45 \pm 1.04$ )HU 和( $3.64 \pm 0.49$ )分,B 组为( $9.38 \pm 0.97$ )HU 和( $3.52 \pm 0.48$ )分,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。A 组下肢动脉平均 CT 值为( $446.5 \pm 30.3$ )HU,高于 B 组的( $375.1 \pm 24.6$ )HU,差异有高度统计学意义( $t=11.57, P<0.001$ )。A 组辐射剂量[ $(13.25 \pm 2.08)$  mSv]明显低于 B 组[ $(22.43 \pm 3.67)$  mSv],降低约 40% ( $t=13.2, P<0.001$ )。A 组人均碘摄入量为( $290.42 \pm 10.04$ ) mgI/kg,显著低于 B 组的( $363.34 \pm 12.34$ ) mgI/kg( $t=63.46, P<0.001$ )。结论:能谱 CT 下肢动脉 CTA 使用低管电压及低浓度对比剂可以提供更好的图像对比噪声比,在保证诊断图像质量的同时明显地降低了辐射剂量,同时减少了患者的对比剂碘的摄入量。

**【关键词】** 体层摄影术, X 线计算机; 辐射剂量; 对比剂; 下肢动脉

**【中图分类号】** R814.42; R534.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2014)04-0378-04

**Application of spectral CT with double low dose technique in lower limb CT angiography** LV Ren-feng, LIU Ting-ting, LI Chao, et al, Department of Radiology, Central Hospital of Dalian Medical University, Liaoning 116000, P. R. China

**【Abstract】 Objective:** To evaluate the impact of image quality and radiation dose with spectral CT using "double low technique" (low tube voltage and low concentration contrast agent) in lower extremity CT angiography (CTA). **Methods:** 80 consecutive patients planned to undergo lower extremity CTA were randomly divided into 2 groups, with 40 patients in each group. The parameters were as follows: Group A, tube voltage as 100kVp, contrast agent as visipaque (270mg I/mL); Group B, tube voltage as 120kVp, contrast agent as omnipaque (350mg I/mL). Using adaptive statistical iterative algorithm (ASiR) for image reconstruction, the other scanning parameters were the same. The optimal contrast to noise ratio (CNR), standard deviation (SD) of noise and the mean CT values of different areas of lower extremity arteries were recorded. The radiation dose (ED) and the average intake of iodine (mg I/kg) were calculated. The image quality was evaluated by 2 radiologists with 4-point scale assessment and analyzed by SPSS statistical software for data Test. **Results:** The CNR of Group A was  $15.23 \pm 2.10$ , which was higher than that of Group B ( $13.42 \pm 1.93$ ), with significant statistic difference ( $t=4.02, P<0.001$ ). The image noise and image quality scores of Group A were ( $9.45 \pm 1.04$ )HU and ( $3.64 \pm 0.49$ ) respectively, of Group B were ( $9.38 \pm 0.97$ )HU and ( $3.52 \pm 0.48$ ) respectively, with no statistic significance ( $P>0.05$ ). The mean CT value of lower extremity artery was ( $446.5 \pm 30.3$ )HU, which is higher than that in Group B [ $(375.1 \pm 24.6)$ HU], with significant statistic difference ( $t=11.57, P<0.001$ ). The radiation dose of Group A was significantly lower than that in group B [ $(13.25 \pm 2.08)$ mSv vs  $(22.43 \pm 3.67)$ mSv], with significant statistic difference ( $t=13.2, P<0.001$ ), the radiation dose was reduced by approximately 40%. The iodine contrast agent intake /person in Group A was ( $290.42 \pm 10.04$ )mg I/kg, which is significantly ( $t=63.46, P<0.001$ ) lower than that in Group B [ $(363.34 \pm 12.34)$ mg I/kg]. **Conclusion:** Spectral CT using low tube voltage technique (100kVp) and low concentration contrast (270mg I/mL) for lower extremity CTA could provide better image contrast to noise ratio, which could ensure diagnostic image quality while significantly reduce the radiation dose, and simultaneously reduce the intake of iodine contrast agent.

**【Key words】** Tomography, X-ray computed; Radiation dose; Contrast medium; Lower limb artery

下肢闭塞性动脉硬化是动脉粥样硬化病变累及下肢动脉并引起慢性闭塞的一种疾病。由于动脉粥样斑块及其内部出血或斑块破裂,导致继发性血栓形成而

逐渐产生管腔狭窄或闭塞,可引起患肢缺血等临床表现。下肢动脉 CTA 是诊断下肢动脉粥样硬化症的一种简单、快捷、准确的检查方法。但是下肢动脉 CTA 时大范围的扫描所致的高辐射剂量和高浓度对比剂(双高)使用的安全性是我们所面临的问题。以低辐射

剂量和低浓度对比剂获得高质量图像也是未来 CT 血管成像的发展方向<sup>[1]</sup>。本研究根据射线在物质碘中的衰减特性,利用能谱 CT 的低管电压结合低浓度对比剂对下肢动脉 CTA 的图像质量和辐射剂量进行评估,旨在探讨双低剂量下肢 CTA 的可行性。

## 材料与方法

### 1. 一般资料

连续选取 2012 年 6 月—2013 年 3 月在我院行下肢动脉 CTA 的 80 例患者,其中男 51 例,女 29 例,年龄 55~84 岁,平均(62.2±11.4)岁。身体质量指数(body mass index, BMI) 20.5~31.6 kg/cm<sup>2</sup>,平均(25.5±2.6)kg/cm<sup>2</sup>。所有患者均签署知情同意书。

### 2. 检查方法

采用 GE Discovery 750HD CT 机。检查前告知患者在检查中务必制动的重要性。将 80 例行下肢动脉 CTA 的患者随机分为两组,各 40 例。A 组:管电压 100 kVp,对比剂为威视派克(270 mg I/mL);B 组:管电压 120 kVp,对比剂采用欧乃派克(350 mg I/mL),图像处理使用自适应统计迭代算法(adaptive statistical iterative reconstruction, ASiR)。其它扫描参数两组相同:300 mA,0.625 mm×64i,机架转速 0.8 s/r,螺距 0.984,扫描范围自肾动脉上方至足背。两组对比剂注射总量及流率相同:总量 70 mL,流率 4 mL/s。利用智能追踪软件于腹主动脉(Th<sub>12</sub>水平)放置 ROI,间隔 2.5 s 扫描,CT 值接近 300 HU 时触发扫描曝光。

### 3. 图像分析

将原始下肢动脉 CTA 数据在 AW4.5 工作站上分别采用 VR、CRP 和 MPR 等进行图像重组。计算最佳对比噪声比(contrast noise ratio, CNR),计算公式:

$$\text{CNR} = \frac{\text{腹主动脉 CT 值} - \text{腹部软组织 CT 值}}{\text{图像噪声}} \quad (1)$$

记录腹主动脉、髂总动脉和腘动脉 CT 值,计算其均值及标准差(SD)的均值(作为图像噪声)。按公式(2)计算有效辐射剂量(effective dose, ED):

$$\text{ED} = \text{DLP} \times k \quad (2)$$

DLP 为剂量长度乘积, *k* 为有效转换因子,本研究中取 *k*=0.015 mSv/(mGy·cm)。同时计算人均对比剂碘摄入量:

$$\text{碘摄入量(mgI/kg)} = \text{对比剂总量} \times \frac{\text{浓度}}{\text{体重}} \quad (3)$$

由两位放射医师采用 4 分制评估图像质量,评分标准:全程血管强化均匀;CT 值 350~550 HU;图像层次明显,血管边界清晰;显示血管分支达 4 级以上。每符合一项加一分。

### 4. 统计学处理

利用 SPSS 14.0 软件,计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示。对两组图像的对比噪声比、噪声均值、图像质量评分、动脉平均 CT 值、辐射量及平均碘摄入量的比较采用 *t* 检验, *P*<0.05 为差异有统计学意义。

## 结果

两组图像的各项测量值及统计分析结果见表 1。A 组图像对比噪声比高于 B 组(*P*<0.001),且 A 组图像的对比度更好,层次结构更分明(图 1~2)。两

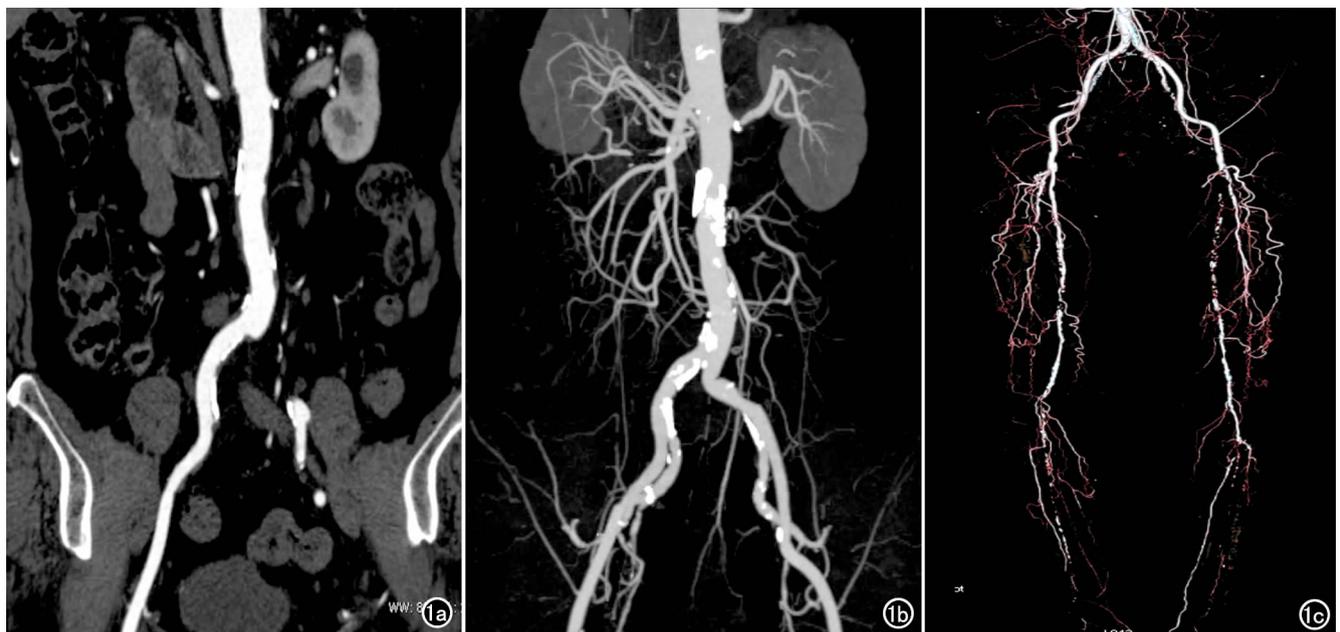


图 1 A 组患者 CTA 图像(管电流 100 KVp,对比剂 270 mg I/mL)。a) MPR 重组图像清晰显示血管钙化; b) MIP 图像示下肢血管边界及细小分支显示清晰,层次明显; c) 下肢 VR 图像示下肢动脉细小分支显示丰富、清晰。



图2 B组患者(管电流120KVp,对比剂350mgI/mL)。a) MPR图像上血管钙化及边界显示欠佳; b) MIP图像示血管段显示少、细小血管近端模糊; c) VR图像示下肢动脉细小分支显示欠佳(箭)。

表1 两组图像各项参数测量值及统计分析结果

参数	A组	B组	t值	P值
图像评分	3.64±0.49	3.52±0.48	1.36	>0.050
图像噪声(HU)	9.45±1.04	9.38±0.97	0.38	>0.050
对比噪声比	15.23±2.10	13.42±1.93	4.02	<0.001
下肢动脉CT值(HU)	466.4±40.21	375.1±54.40	11.57	<0.001
辐射量(mSv)	3.25±2.08	22.43±3.67	13.2	<0.001

组图像噪声和图像质量评分的差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。A组下肢动脉平均CT值显著高于B组( $P<0.001$ ),两组图像均符合诊断要求。A组辐射剂量明显低于B组,降低约40%,两组间差异有统计学意义( $P<0.001$ )。A组人均对比剂碘摄入量( $290.42\pm 10.04$ ) mgI/kg,低于B组的( $363.34\pm 12.34$ ) mg I/kg,极大的降低了对比剂肾毒性反应的风险。

## 讨论

动脉粥样硬化是一种全身性疾病,下肢动脉硬化性狭窄、闭塞,是引起下肢远端缺血、营养障碍、肢体溃烂、坏死的一类疾病<sup>[2-3]</sup>。下肢动脉CTA已经作为临床诊断下肢动脉硬化的最直接及最有效的检查方法,目前的临床诊疗水平已完全可以对下肢动脉粥样硬化闭塞症进行早期干预,使其病变得得到根本的改善。由于下肢血管范围长、分支多、血管粗细不一,在CT血管成像常常出现远端显影不良,与管电压的高低、对比剂的达峰扫描时间等因素有关系。64排CT常规采用120 kVp的管电压、扫描时间大约15~20 s,扫描区域内包括腺体等对射线敏感的解剖结构,较高的辐射剂量会对这些结构造成潜在的辐射危害<sup>[4]</sup>。如何降低检查的辐射剂量一直是CT临床和研究的热点问题。

降低管电压对于原始的滤波反投影重建算法(filtered back projection,FBP)意味着图像噪声的增大,由于管电压和管电流的平方成反比例,为了保证图像质量在降低管电压的同时则需要适当增大管电流。自适应统计迭代重建算法(ASiR)的出现带来了低辐射检查的时代——此算法通过建立噪声性质和被扫描物体的模型,能为对噪声抑制要求比较高的检查带来显著好处<sup>[5]</sup>。也就是说,通过降低重建图像上的噪声能获得剂量上的优势,因此在相同噪声水平下,扫描剂量可以显著降低。随着多排螺旋CT的发展,CT血管成像越来越多应用于临床,而下肢动脉CTA多数采用非离子型对比剂,浓度通常为350~370 mg I/mL,由于其化学成分的特殊性,及渗透压等原因,常引起不良反应。如何在保证血管成像质量前提下,科学、安全地使用对比剂、减少不良反应的发生受到越来越多地重视<sup>[6-8]</sup>。

血管成像质量受目标血管内对比剂浓度的影响,目标血管腔内CT值与注入对比剂的浓度、流率、总量及患者的身高、体重和循环状态有关,排除个体差异,理论上对比剂浓度、流率及总量越高,目标血管腔内CT值越高,血管成像质量越好,但现有大量研究指出目标血管腔内CT值以350~550 HU为合适浓度,过高浓度对比剂、流率及总量还会带来潜在的临床风险,如血管破裂、对比剂反应导致检查中断或失败,对比剂肾毒性等<sup>[9]</sup>,所以低浓度对比剂有诸多优势。

国内外对下肢动脉CTA成像研究的报道较多,但是利用双低剂量成像的报道还较少。本研究根据碘的特性(在低kVp时CT值增加,对比度增强)<sup>[10-11]</sup>,

探索 100 kVp, 低浓度(270 mg I/mL)等渗对比剂在下肢动脉 CTA 中的可行性。结果表明, 100 kVp 结合低浓度对比剂在下肢动脉 CTA 中可得到满足诊断要求的图像质量, 100 kVp 组下肢动脉各级分支的 CT 值略高于 120 kVp 组, 但两组中 CT 值都在诊断范围内(350~550 HU)。由于采用了迭代重建算法, 使得低管电压 100 kVp 的对比噪声比好于 120 kVp, 同时辐射剂量显著降低, 充分发挥了迭代算法降低 CT 辐射的优势。使用 100 kVp 和超低浓度等渗对比剂(270 mg I/mL), 可以清晰地显示下肢动脉及各级分支血管, 并且人体对碘的摄入量明显减少, 降低了患者的不良反应发生率, 对潜在肾功能损害及心功能低下者是较好的选择。

综上所述, 低浓度等渗对比剂(270 mg I/mL)结合能谱 CT 100 kVp 扫描在下肢血管成像中可以得到满足诊断要求的图像质量, 且辐射剂量显著降低, 有效地减少了临床上对比剂使用的风险。

#### 参考文献:

- [1] 侯朝华, 宋扬, 侯艳红, 等. MSCTA 诊断下肢动脉闭塞性疾病[J]. 放射学实践, 2010, 3(1): 212-214.
- [2] 孙英, 任克. 64 层螺旋 CT 诊断下肢动脉病变的临床应用[J]. 中

国当代医药, 2011, 22(5): 243-246.

- [3] Winer-Muram HT. The solitary pulmonary nodule[J]. Radiology, 2006, 239(3): 134-149.
- [4] 仲海, 徐卓东, 柳澄, 等. 64 层螺旋 CT 下肢动脉血管成像的注射速率与重建矩阵的选择[J]. 中国医学影像技术, 2005, 10(3): 1203-1205.
- [5] 王艳, 史大鹏, 朱绍成, 等. 比较以自适应统计迭代重建技术和滤波反投影重建的低剂量腹部 CT 的图像质量[J]. 中国医学影像技术, 2012, 28(10): 1902-1905.
- [6] 韦丽群. CT 造影剂的应用[J]. 中国医学影像技术, 2001, 17(6): 595-596.
- [7] 王乐, 刘斌, 汪浩, 等. 能谱 CT 对碘含量测量准确性的实验研究[J]. 放射学实践, 2012, 27(10): 264-267.
- [8] 鲍丽君, 刘斌. 能谱 CT 成像的临床应用[J]. 安徽医科大学学报, 2012, 47(1): 320-322.
- [9] 姜文兵, 赵玮, 傅国胜. 造影剂肾病的预防[J]. 国际心血管病杂志, 2006, 33(6): 414-418.
- [10] 刘爱莲, 沈云. 能谱 CT 临床应用图谱[M]. 北京: 人民军医出版社, 2012: 164-167.
- [11] Wu HW, Cheng JJ, Li JY. Pulmonary tomography imaging of thyroid nodule specimens: comparison with pathologic findings[J]. Invest Radiol, 2012, 263(3): 696-705.

(收稿日期: 2013-09-31 修回日期: 2014-01-15)

## 《放射学实践》(英文稿)稿约

《放射学实践》是由国家教育部主管, 华中科技大学同济医学院主办, 与德国合办的全国性影像学学术期刊, 由国内著名影像专家郭俊渊教授担任主编, 创刊至今已 28 周年。本刊坚持服务广大医学影像医务人员的办刊方向, 关注国内外影像医学的新进展、新动态, 全面介绍 X 线、CT、磁共振、介入放射及放射治疗、超声诊断、核医学、影像技术学等医学影像方面的新知识、新成果, 受到广大影像医师的普遍喜爱。

本刊为国家科技部中国科技论文核心期刊、中国科学引文数据库统计源期刊, 在首届《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范》执行评优活动中, 被评为《CAJ—CD 规范》执行优秀期刊。

2012 年始本刊拟在英文专栏刊发全英文文稿。

1. 文稿应具科学性、创新性、逻辑性, 并有理论和实践意义。论点鲜明, 资料可靠, 数据准确, 结论明确, 文字简练, 层次清楚, 打印工整。

2. 本刊实行盲法审稿, 来稿附上英文稿一份, 中文对照稿两份(用小 4 号字、1.5 倍行距打印), 文稿中不出现任何有关作者本人的信息。另纸打印一份中英文对照的文题、作者姓名、作者单位(应准确、规范、完整)及邮政编码。如系 2 个单位及以上者, 则在作者姓名右上角排阿拉伯数字角码, 按序将单位名称写于作者下方。并注明第一作者的性别, 职称及第一作者或联系人的电话号码, E-mail 地址。

3. 来稿须经作者所在单位审核并附单位推荐信。推荐信应证明内容不涉及保密、署名无争议、未一稿两投等项。

4. 论著采用叙述式摘要。关键词一般 3~5 个, 请采用最新版的 MeSH 词表(医学主题词注释字顺表)中的主题词。MeSH 词表中无该词时, 方可用习用的自由词。使用缩略语时, 应在文中首次出现处写明中、英文全称。

5. 表格采用三线表, 表序按正文中出现的顺序连续编码。数据不多、栏目过繁、文字过多者均不宜列表。表内同一指标数字的有效位数应一致。

6. 线条图应另纸描绘, 全图外廓以矩形为宜, 高宽比例约为 5:7, 避免过于扁宽或狭长。照片图须清晰, 像素高, 层次分明, 图题及图解说明清楚。

7. 参考文献必须以作者亲自阅读过的近年文献为主, 并由作者对照原文核实(请作者在文章发表前提供 PubMed 等数据库的所含文献页面)。文献一般不少于 30 篇。内部刊物、未发表资料、私人通讯等勿作参考文献引用。参考文献的编号按照在正文中出现的先后顺序排列, 用阿拉伯数字加方括号角注。并按引用的先后顺序排列于文末。