

• 骨骼肌肉影像学 •

能谱 CT 低管电压对下肢血管成像图像质量及辐射剂量影响

赵小英, 赵金影, 吴兴旺, 陈坚, 刘斌

【摘要】 目的:探讨能谱 CT 低管电压技术对下肢动脉成像图像质量及辐射剂量的影响。**方法:**将 72 例行下肢 CT 血管成像(CTA)的患者随机分为 A、B、C 三组,三组管电压分别为 120 kV、100 kV 及 80 kV,其余扫描参数保持一致。根据原始图像和最大密度投影(MIP)重组图像对三组下肢动脉图像质量进行评分,测量血管 CT 值、信噪比(SNR)、对比信噪比(CNR)及患者所接受的辐射剂量。**结果:**①三组图像血管 CT 值 C 组最高, A 组最低, 三组间差异有统计学意义($P < 0.05$), 图像 CNR、SNR 组间差异无统计学意义($P > 0.05$); ②辐射剂量 C 组最低, A 组最高。与 A 组相比, B、C 组 CT 剂量指数(CTDIvol)、剂量长度乘积(DLP)及有效剂量(ED)分别降低 35.8%、34.9%、34.4% 及 65.8%、64.4%、64.4%, 差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。**结论:**能谱 CT 下肢血管成像使用低管电压扫描可满足临床诊断需求, 且可大大降低患者所接受的辐射剂量。

【关键词】 低管电压; 下肢血管; CT 血管成像

【中图分类号】 R543.5; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2015)01-0071-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2015.01.019

Feasibility of low tube voltage protocol in lower extremity artery angiography with gemstone detectors CT ZHAO Xiao-ying, ZHAO Jin-ying, WU Xing-wang, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the feasibility of low tube voltage protocol for lower peripheral artery CTA using gemstone detectors CT. **Methods:** Totally 72 patients who were randomly divided in three groups (group A, B, C), underwent lower extremity CTA, the tube voltage as 120kV, 100kV, 80kV was used respectively, keeping the same tube current of 200mAs. Other scanning parameters were kept identically. Contrast medium was injected automatically with bolus tracking respectively. Image quality, segmental vascular enhancement, signal to noise ratio (SNR), contrast to noise (CNR) and effective dose (ED) were independently evaluated in these 3 groups. **Results** ① There was no significant difference of image quality of these 3 groups. ② The CT values of artery in group C was the highest and that in group A was the lowest. There were statistical differences among three groups ($P < 0.05$). Statistics showed there was no significant differences in SNR and CNR among the three groups ($P > 0.05$). ③ Compared with group A, the CT DIvol, DLP and ED were reduced by 35.8%, 34.9%, 34.4% respectively in group B and reduced by 65.8%, 64.4%, 64.4% respectively in group C. **Conclusion:** The tube voltage can be lowered from 120kV to 80kV for lower extremity CTA, in order to reduce the radiation dose, meanwhile the image quality and diagnostic confidence could be maintained.

【Key words】 Low tube voltage; Peripheral vessels; Computed tomography angiography

CT 下肢血管成像由于具有较高的诊断敏感度及特异度^[1-2], 越来越广泛地应用于临床。由于下肢动脉覆盖范围广, X 线的辐射剂量相对较大, 如何保证在满足临床需求的前提下, 尽可能减少患者所接受的辐射剂量, 一直以来都是业内研究的热点。头颈部及胸腹部低剂量相关研究国内外均见报道^[3-6], 而目前下肢血管成像的低剂量研究较少。本研究通过在保证图像质量的情况下, 探讨利用低管电压技术进行下肢 CT 血管成像(computed tomography angiography, CTA)的可行性。

材料与方法

1. 病例资料

2011 年 10 月—2013 年 11 月先后对 72 例临床怀疑下肢血管病变患者行 CTA 检查, 72 例患者中男 42 例, 女 30 例, 年龄 18~89 岁, 体质指数(body mass index, BMI)为 18.0~25.0 kg/m², 病程 4~37 年, 平均(22.3±3.5)年。两组患者的年龄、性别、BMI 之间差异均无统计学意义($P > 0.05$)。排除标准: 心、肝、肾功能不全、碘过敏、危重无法制动及 BMI>25 kg/m² 的患者。所有患者检查前均签署知情同意书。

2. 检查方法

CTA 检查采用 GE Discovery 750HD 宝石 CT 进行扫描。将 72 例患者随机分为 A、B、C 三组, 每组

作者单位: 230022 合肥, 安徽医科大学第一附属医院放射科

作者简介: 赵小英(1985—), 女, 安徽宣城人, 硕士, 住院医师, 主要从事心血管造影工作。

通讯作者: 刘斌, E-mail: lbhyz321@126.com

24 例。扫描参数: A、B、C 组管电压分别为 120 kV、100 kV 及 80 kV, 对比剂用量均为 100 mL(欧乃派克), 浓度为 350 mg I/mL。管电流 200 mAs, 噪声指数 15, 40% ASiR, 球管转速 0.8 s/r, 层厚 5 mm, 重组层厚 0.625 mm, 准直 64×0.625 mm, 高清(high definition, HD)扫描模式。患者取仰卧位, 足先进。扫描范围从腹主动脉下段至足尖, 将患者双足稍内翻以使胫、腓骨分开利于血管显示。预置 20G 套管针, 使用高压单筒注射器经右侧肘正中静脉以 4 mL/s 流率注射对比剂。扫描时采用对比剂跟踪技术, 在肾动脉水平腹主动脉上设定一个兴趣区(ROI), 触发阈值为 100 HU, 达阈值后手动触发扫描。

3. 图像重组及分析

所有图像传至 GE ADW4.4 工作站进行后处理, 包括多层面重组(multi-planar reformation, MPR)、容积再现(volume rendering, VR)等, 不同角度旋转观察血管树; 自动去骨后行最大密度投影(maximum intensity projection, MIP), 主要为冠状面和斜冠状面并结合原始轴面图像进行观察。

4. 图像质量评价

图像质量客观评价: 测量下肢 7 个动脉节段, 包括腹主动脉肾动脉水平、髂总动脉、股动脉、腘动脉、胫前动脉、胫后动脉及腓动脉 CT 值, ROI 面积尽可能接近血管腔面积, 测量时取同一层面双下肢血管 CT 值的平均值, 遇有管腔闭塞或斑块者尽量避开, 若一侧下

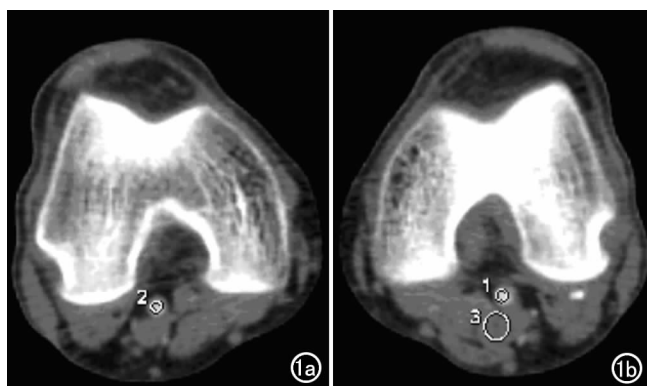


图 1 a) 右侧腘动脉水平 CT 值测量; b) 左侧腘动脉水平 CT 值、同平面邻近肌肉及噪声值 CT 测量。

肢动脉完全闭塞, 则对侧同层面管腔 CT 值测两次取其平均值; 以邻近肌肉为血管背景, 取其 CT 值标准差为图像噪声(图 1), 并计算各动脉对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)、信噪比(signal noise ratio, SNR)。CNR 及 SNR 按公式(1)和(2)进行计算:

$$\text{CNR} = \frac{\text{ROIa} - \text{ROIb}}{\text{SD}} \quad (1)$$

$$\text{SNR} = \frac{\text{ROIa}}{\text{SD}} \quad (2)$$

其中 ROIa 为血管 CT 值, ROIb 为背景肌肉 CT 值, SD 为图像噪声。

图像质量主观评价: 由 2 位医师采用盲法对图像质量分别进行评价。采用 5 分评分法对下肢动脉所有重组图像, 包括 MPR、MIP、VR 及整体图像质量进行



图 2 不同管电压时下肢血管 MIP 重组图像。3 组图像整体质量较好, 诊断信息充足, 评分均为 5 分。a) 120kV 管电压时下肢动脉重组图像, 双侧下肢动脉管壁粗细不均, 管腔多发狭窄或局限性闭塞(箭); b) 100kV 管电压时下肢动脉重组图像, 腹主动脉支架置入术后, 右侧髂动脉闭塞, 右侧股动脉搭桥术后改变, 桥血管显示通畅, 双下肢见多发局限性不等程度狭窄; c) 80kV 管电压时下肢动脉重组图像, 双下肢多发局限性不等程度狭窄, 双侧小腿动脉多发钙化斑块(箭)。图 3 不同管电压时 A、B、C 三组下肢 MIP 对应 CPR 图像。a) 120kV 管电压图像; b) 100kV 管电压图像; c) 80kV 管电压图像。

主观评价(图 2、3):1 分,图像质量差,不能诊断;2 分,图像质量较差,影响诊断;3 分,图像质量一般,可做诊断;4 分,图像质量良好;5 分,图像质量好、清晰。

5. 辐射剂量测定

系统依据所设置的扫描参数自动计算出辐射剂量值、CT 剂量指数(CT dose index volume,CTDIvol)、剂量长度乘积(dose length product,DLP);根据 DLP 计算有效辐射剂量(effective dose,ED), $ED = k \times DLP$,k 为组织权重因子(单位:mSv/mGy·cm),k 值为 0.019,为欧盟委员会推荐的成人骨盆权重因子。

6. 统计学处理

使用 SPSS 13.0 软件进行统计学分析,采用单因素方差分析比较 3 组图像动脉 CT 值、噪声、CNR、SNR 及辐射剂量,应用 Kappa 检验测定不同医师评分结果间的一致性。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

72 例患者均一次性顺利完成下肢 CTA 检查。

1. 图像质量评价

所测得的动脉节段 CT 值取 2 位医师测量的平均值。动脉节段的 CT 值 C 组最高,A 组最低,差异有统计学意义($P < 0.05$,表 1)。3 组间 CNR 及 SNR 差异无统计学意义($P > 0.05$);C 组噪声最高,A 组最低,3 组间噪声差异有统计学意义($P < 0.05$)。Kappa 值 = 0.682,表明两位医师主观评分一致性较好。

2. 辐射剂量比较

辐射剂量 A 组最高、C 组最低,与 A 组相比,B 组及 C 组 CTDIvol、DLP 及 ED 分别降低 35.8%、34.9%、34.4%及 65.8%、64.4%、64.4%,3 组间差异具有统计学意义($P < 0.05$,表 2)。

讨 论

下肢 CTA 对于诊断动脉粥样硬化及动脉硬化闭塞症等基础病变具有较高的准确率和敏感度,是一种可靠且准确的下肢动脉疾病的检查手段^[7],CT 的应用应遵循合理使用低剂量(as low as reasonably achievable,ALARA)原则^[8],如何在保证图像质量的前提下,进一步降低辐射剂量一直以来都是国内外关注的热点。

影响螺旋 CT 辐射剂量的因素有管电压、管电流、曝光时间、扫描范围、螺距、准直器宽度等,临床应用较多的方法有三种:①增加螺距。增加进床速度,螺距增加,可减少曝光时间,从而降低辐射剂量^[9],但螺距过大可导致 Z 轴分辨力下降,同时容易造成小病灶的漏检;②降低管电流。由于电流量 mA 与辐射量之间呈线性关系,因此降低管电流可使受检者的辐射剂量也相应下降,但同时也降低了图像信噪比,影响低对比分辨力,早期低剂量 CT 多采用此种方法,一般用于天然对比好的部位,如肺部^[10]、副鼻窦^[11]等;③降低管电压。管电压降低使辐射剂量下降,同时也降低了 X 线的能量,X 线能量的降低引起组织对 X 线吸收量增加及信噪比降低。

近年来有研究表明,降低管电压不仅能够显著降低辐射剂量,而且可以使血管与软组织间密度对比进一步加大^[12-13],尤其适用于 CTA 检查,因此降低管电压的低剂量 CT 逐渐引起重视。根据 X 射线强度公式 $I = KiZU^2$ (I:X 射线强度;K:比例系数;i:管电流;Z:阳极靶材料的原子序数;U:管电压)可知,X 射线强度与 X 射线管的管电压平方呈正相关,因此,降低管电压或降低管电流均可有效降低辐射剂量,但降低管电压对于减少辐射剂量效果更明显。管电压降低可以使

表 1 各组 CTA 图像质量结果比较

部位	A 组	B 组	C 组	F 值	P 值
腹主动脉(HU)	340.4±40.6	417.4±34.6	486.1±34.7	94.162	0.000
髂总动脉(HU)	329.7±40.0	409.6±30.1	474.0±35.9	98.596	0.000
股动脉(HU)	331.4±40.7	382.4±38.8	456.0±47.5	51.960	0.000
腘动脉(HU)	281.4±38.9	341.5±45.8	396.5±54.3	36.275	0.000
胫前动脉(HU)	210.9±28.8	249.1±35.4	298.2±47.5	31.707	0.000
胫后动脉(HU)	210.0±26.9	252.5±36.5	287.5±47.8	24.927	0.000
腓动脉(HU)	211.0±28.8	249.7±40.1	283.5±52.9	18.117	0.000
图像噪声	11.1±1.1	13.5±0.9	15.5±0.7	122.122	0.000
CNR	24.5±24.5	24.0±2.7	25.6±3.3	1.712	0.188
SNR	29.8±29.7	28.2±2.8	29.4±3.4	1.536	0.223

表 2 3 种扫描方案的辐射剂量比较

指标	A 组	B 组	C 组	F 值	P 值
CTDIvol(mGy)	10.00±0.02	6.40±0.02	7.80±0.04	348.04	0.000
DLP(mGy/cm)	1162.30±5.52	756.00±0.66	413.30±2.44	21840.00	0.000
ED(mSv)	22.08±0.10	14.30±0.39	1.85±0.44	21840.00	0.000

含碘对比剂血管与周围组织的对比进一步增加,对于血管的显示更加清晰。本研究中,管电压由 120 kV 降低到 100 kV 时,辐射剂量降低了约 34.4%,当管电压进一步降低至 80 kV 时,辐射剂量降低约 64.4%。由此可见,降低管电压是非常有效的降低辐射剂量的方法,尤其将管电压降低至 80 kV 时,大幅度降低了 CT 检查中患者所接受的辐射剂量。

CT 图像中组织结构的 CT 值取决于 X 线光子的组织密度和能量水平,X 线与人体组织相互作用的主要形式为光电效应及康普顿散射效应。Huda 等^[14]研究发现,管电压降低,则其发射的 X 线光子能量下降,当光子能量水平接近含有高原子序数的组织或结构(如骨、含碘的血管或组织)时,光电效应加大。因此,当管电压由 120 kV 降低到 100 kV 或 80 kV 时,X 线的能量更接近对比剂碘原子 K 层结合能(33.2 keV),其产生的光电效应更强,相应所得 CT 值也就越高。本研究中,80 kV 下肢动脉 CT 值较 120 kV 及 100 kV 时的 CT 值增加,分别增加了 27.3% 及 16.1%(选取股动脉层面 CT 平均值),血管周边软组织 CT 值增加不明显,图像对比度加大,与相关研究结论一致^[15-16]。

同时,随着管电压降低,图像噪声也会明显增加,图像噪声主要影响的是软组织之间的对比度,本研究主要观察下肢血管情况,强化的血管与周围软组织之间有较高的对比度,受到的影响较小。降低管电压可以提高血管 CT 值,一定程度上弥补了图像噪声增加带来的图像质量下降,本研究中三组图像之间图像质量评分、CNR 及 SNR 差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

本研究存在以下不足:①本文样本量偏少,故依此得到的均数可能存在一定偏差,有待在日后的研究中进一步扩充;②未能根据不同患者的 BMI 对对比剂注射流率及剂量进行相应调整,可能会对血管强化程度产生一定影响,在今后的研究中应加以改进。

综上所述,能谱 CT 应用低管电压行下肢 CTA 可获得满意图像,在满足临床诊治需求的同时能有效降低患者所接受的辐射剂量,值得推广。

参考文献:

- [1] Scherthaner R, Stadler A, Lomoschitz F, et al. Multi-detector CT angiography in the assessment of peripheral arterial occlusive disease: accuracy in detecting the severity, number, and length of stenoses[J]. Eur Radiol, 2008, 18(4): 665-671.
- [2] 何青, 贺文. 64 排螺旋 CT 血管成像技术在下肢动脉硬化闭塞症

- 中的应用价值[J]. 中国医学影像技术杂志, 2009, 25(8): 1426-1428.
- [3] Xia W, Wu JT, Yin XR, et al. CT angiography of the neck: value of contrast medium dose reduction with low tube voltage and high tube current in a 64-detector row CT[J]. Clin Radiol, 2014, 69(4): 183-189.
- [4] Zhang WL, Li M, Zhang B. CT angiography of the head-and-neck vessels acquired with low tube voltage, low iodine, and iterative image reconstruction: clinical evaluation of radiation dose and image quality[J]. PLoS One, 2013, 8(12): 81486.
- [5] 富青, 余建明, 孔祥闯, 等. 128 层螺旋 CT 肺动脉低管电压成像的临床可行性研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2014, 1(34): 62-66.
- [6] Honda K, Oda S, Katahira K. Three-dimensional computed tomographic angiography of the liver for planning hepatic surgery: effect of low tube voltage and the iterative reconstruction algorithm on image quality[J]. J Comput Assist Tomogr, 2014, 38(1): 131-136.
- [7] Napoli A, Anzidei M, Zaccagna F, et al. Peripheral arterial occlusive disease: diagnostic performance and effect on therapeutic management of 64-section CT angiography[J]. Radiology, 2011, 261(3): 976-986.
- [8] McCollough CH, Primak AN, Braun N, et al. Strategies for reducing radiation dose in CT[J]. Radiol Clin North Am, 2009, 47(1): 27-40.
- [9] 江时淦, 洪春风, 王豪, 等. 眼眶部低剂量螺旋 CT 扫描参数的优化[J]. 放射学实践, 2013, 28(2): 210-213.
- [10] 胡荣慧, 宋光义, 韩丹, 等. 螺旋 CT 检测肺结节的低剂量优化选择及应用[J]. 放射学实践, 2005, 20(7): 604-607.
- [11] 彭谦, 范森, 杨智云, 等. 儿童副鼻窦结构的 64 排 CT 低剂量技术应用[J]. 影像诊断与介入放射学, 2008, 17(2): 75-77.
- [12] Ramgren B, Björkman-Burtscher IM, Holtås S. CT angiography of intracranial arterial vessels: impact of tube voltage and contrast media concentration on image quality[J]. Acta Radiol, 2012, 53(8): 929-934.
- [13] 胡永胜, 何新华, 王自勇, 等. 双源 CT 低管电压冠状动脉成像的应用及心率对图像质量和辐射剂量的影响[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2012, 32(5): 530-534.
- [14] Huda W, Sealzetti EM, Levin G. Technique factors and image quality as functions of patient weight at abdominal CT[J]. Radiology, 2000, 217(2): 430-435.
- [15] Bahner ML, Bengel A, Brix G, et al. Improved vascular opacification in cerebral computed tomography angiography with 80kVp[J]. Invest Radiol, 2005, 40(4): 229-234.
- [16] Beitzke D, Wolf F, Edelhauser G, et al. Computed tomography angiography of the carotid arteries at low kV settings: a prospective randomised trial assessing radiation dose and diagnostic confidence[J]. Eur Radiol, 2011, 21(11): 2434-2444.

(收稿日期: 2014-03-20 修回日期: 2014-05-26)