

Feasibility of low radiation dose and iodine contrast medium in 70 kVp abdominal CTA in low body mass index patients

LIU Yijun, LIU Ailian*, FANG Xin, LIU Jinghong, LIU Lei,
LIU Xiaofeng, YUAN Gang, PU Renwang

(Department of Radiology, First Affiliated Hospital of Dalian Medical University,
Dalian 116011, China)

[Abstract] **Objective** To explore the feasibility of reducing radiation dose and iodine contrast medium in 70 kVp abdominal CTA imaging in low-body mass index (BMI; $\leq 22 \text{ kg/m}^2$) patients. **Methods** The 48 patients with suspected abdominal vascular diseases and low BMI ($\leq 22 \text{ kg/m}^2$) underwent abdominal CTA. All patients were divided into two groups according to tube voltage and contrast intake randomly. The parameters of group A ($n=27$) were contrast intake 300 mgI/kg, 70 kVp, the conditions of group B ($n=21$) were contrast intake 500 mgI/kg, 120 kVp, and the other conditions were the same in both groups. The image quality of right renal arterial images was evaluated by two observers simultaneously (5-scale). The consistency and difference between the two observers were analyzed. The CT values of abdominal aorta, celiac trunk, superior mesenteric artery, common hepatic artery, pancreatic artery and erector spinae, SD values of erector spinae on the level of right renal hilus were measured respectively in both groups. The CT values of abdominal aorta and its main branches, the CNR of abdominal aorta, the volume CT dose index (CTDI_{vol}), dose-length product (DLP) and overall iodine intake in each group were compared. **Results** The scoring of right renal arterial images in both groups were 5.00 (1.00), the results showed a good consistency ($Kappa=0.932, 0.911$). The CT values of abdominal aorta, superior mesenteric artery, common hepatic artery and pancreatic artery in group A were all more than those of in group B (all $P<0.05$). The CNR of group A was higher than that of group B ($P<0.05$). The CTDI_{vol} and DLP in group A decreased by 73.36% and 74.41% compared with group B. The overall iodine intakes in group A and group B were $(46.33 \pm 6.43) \text{ ml}$ and $(84.31 \pm 10.71) \text{ ml}$, respectively. The overall iodine intake of group A decreased by 45.05% compared with group B. **Conclusion** For patients with low BMI ($\leq 22 \text{ kg/m}^2$), a 70 kVp tube current abdominal CTA scanning can significantly increase the contrast of images of abdominal artery and its branches. Meanwhile, the radiation dose and overall iodine intake can obviously decrease.

[Key words] Tube current; Adaptive statistical iterative reconstruction Veo; Body mass index; Tomography, X-ray computed

DOI:10.13929/j.1003-3289.201609073

70 kVp 超低辐射剂量和低碘摄入量在低体质量指数患者腹部 CTA 的可行性

刘义军, 刘爱连*, 方鑫, 刘静红, 刘磊, 刘晓峰, 袁刚, 浦仁旺
(大连医科大学附属第一医院放射科, 辽宁大连 116011)

[摘要] **目的** 探讨 70 kVp 在低体质量指数(BMI; $\text{BMI} \leq 22 \text{ kg/m}^2$)患者腹部 CTA 中降低辐射剂量和碘摄入量的可

[第一作者] 刘义军(1965—),男,辽宁庄河人,硕士,教授。研究方向:CT 影像技术。E-mail: yijunliu1965@126.com

[通信作者] 刘爱连,大连医科大学附属第一医院放射科,116011。E-mail: cjr.liuailian@vip.163.com

[收稿日期] 2016-09-18 **[修回日期]** 2017-01-12

行性。**方法** 收集临床拟诊腹部血管疾病而行全腹部 CTA 检查、BMI $\leq 22\text{ kg/m}^2$ 的患者 48 例,按管电压和对比剂摄入量分为 2 组,A 组 27 例,采用 70 kVp(对比剂 300 mgI/kg 体重);B 组 21 例,采用 120 kVp(对比剂 500 mgI/kg 体重);其余参数两组相同;对比剂均采用 350 mgI/ml 的碘海醇。2 名观察者分别以 5 分制对两组右肾动脉图像质量进行评分,对评分行一致性检验,比较两组主观评分差异性;测量 A、B 组的腹主动脉、腹腔干、肠系膜上动脉、肝总动脉、脾动脉的 CT 值及同层面竖脊肌的 CT 值和 SD 值(噪声)。比较两组上述动脉 CT 值、腹主动脉 SNR 和 CNR;比较两组容积 CT 剂量指数(CTDI_{vol})和剂量长度乘积(DLP)及患者总碘摄入量。**结果** 2 名观察者对两组右肾动脉图像评分中位数均为 5.00 (1.00)分,差异无统计学意义($P>0.05$),一致性很好($Kappa=0.932,0.911$);A 组腹主动脉、腹腔干、肠系膜上动脉、肝总动脉、脾动脉的 CT 值均高于 B 组,差异均有统计学意义(P 均 ≤ 0.05);A 组腹主动脉 SNR、CNR 均高于 B 组,差异有统计学意义($P<0.05$);A、B 组 CTDI_{vol} 和 DLP 的差异均有统计学意义,A 组 CTDI_{vol} 较 B 组降低 73.36%、DLP 降低 74.41%;A、B 组患者总碘摄入量分别为 $(46.33\pm 6.43)\text{ ml}$ 、 $(84.31\pm 10.71)\text{ ml}$,A 组较 B 组每例患者总碘摄入量降低 45.05%。**结论** 针对 BMI $\leq 22\text{ kg/m}^2$ 患者,采用 70 kVp 低管电压行腹部 CTA 扫描,可显著提高腹主动脉及其分支的图像 CNR 和 SNR,同时明显降低辐射剂量及患者摄入总碘量,具有很好的临床推广价值。

[关键词] 管电压;基于多模型的自适应统计迭代重建;体质量指数;体层摄影术,X 线计算机

[中图分类号] R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2017)03-0473-05

目前 CTA 以其高质量的血管成像被广泛应用于临床血管性病变的筛查及诊断,大大提高了血管性病变的检出率及诊断准确率。对主动脉、肾动脉、肠系膜动脉疾病的诊断,腹部 CTA 已经成为常规检查^[1-2]。但由于全腹 CTA 的辐射剂量和对比剂摄入量均较高,亦引起业界的广泛关注,目前腹部“双低”CTA 的研究较多,但针对低体质量指数(body mass index, BMI)人群,采用 70 kVp 管电压进行个体化“双低”腹部 CTA 的研究鲜见报道。在前期研究^[3]的基础上,本研究采用 Revolution CT 的 70 kVp 管电压、基于多模型的自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction Veo, ASiR-V)算法联合低碘摄入量,探讨对 BMI $\leq 22\text{ kg/m}^2$ 患者行全腹 CTA 的可行性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2015 年 9 月—2016 年 3 月间因临床疑似腹部血管疾病于我院接受全腹 CTA 扫描患者 48 例,其中男 29 例,女 19 例,年龄 23~85 岁,平均 (58.3 ± 15.2) 岁。纳入标准:① BMI $\leq 22\text{ kg/m}^2$;② 无对比剂使用禁忌证;③ 既往心、肺功能正常,无重症高血压、糖尿病等严重器质性病变及影响腹部血流状况的疾病。按照就诊时间、管电压和对比剂摄入量将患者分为 A 组和 B 组:A 组,2015 年 9 月—2016 年 12 月就诊,共 27 例,男 17 例,女 10 例,平均年龄 (56.6 ± 13.9) 岁, BMI 为 $(19.16\pm 1.32)\text{ kg/m}^2$,管电压 70 kVp;B 组,2016 年 1 月—2016 年 3 月就诊,共 21 例,男 12 例,女 9 例,平均年龄 (59.6 ± 16.2) 岁, BMI 为 $(19.42\pm 1.16)\text{ kg/m}^2$,管电压 120 kVp。本研究经本院伦理委员会批准,所有患者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 患者检查前 3 天禁服含重金属的

药物,当天禁食水 6~12 h。检查前 15~30 min 饮水 800~1 000 ml,检查时(扫描前)再服 200~300 ml。采用 GE Revolution CT 机,螺旋式扫描,扫描范围自膈肌上缘至耻骨联合下缘。扫描参数:采用高分辨(high definition, HD)扫描模式,50% ASiR-V 重建算法,自动管电流,自动生成噪声指数(noise index, NI),球管转速 0.5 s/rot,螺距 0.992,扫描野 Large,探测器宽度 80 mm,层厚及层间距均为 1.25 mm,重建算法 Std,矩阵 512×512 。对比剂为碘海醇(350 mgI/ml),采用 Ulrich 双通道高压注射器经肘正中静脉注射,A 组对比剂摄入量 300 mgI/kg 体重,速率 4.0 ml/s;B 组对比剂摄入量 500 mgI/kg 体重,速率 5.0 ml/s;后再以相同速率团注生理盐水 40 ml。扫描时采用人工智能触发扫描,将膈顶水平腹主动脉作为监测层面,触发阈值为 220 HU,注射对比剂 10 s 后开始监测,当靶血管 CT 监测值达触发阈值时自动启动扫描,启动时间 5.9 s。

1.3 图像重建和评价 采用 AW 4.6 后处理工作站,以 VR、MIP 等方法显示腹主动脉、肾动脉、肠系膜上动脉、肝总动脉、脾动脉至其远端分支血管。

1.3.1 客观评价 由 2 名影像诊断医师(腹部 CTA 诊断经验分别为 10 年和 2 年,分别为观察者 1 和观察者 2)共同对 CTA 图像进行测量。分别在双肾动脉水平的腹主动脉及其主要分支腹腔干、肠系膜上动脉、肝总动脉、脾动脉起始部勾画 ROI(覆盖血管截面 70%~80%)。测量同层面右侧竖脊肌 CT 值的 SD 作为背景噪声。所选 ROI 避开密度不均匀区。上述相应每个部位测量 3 次,取平均值。计算腹主动脉 SNR 及 CNR:SNR=腹主动脉 CT 值/背景噪声;CNR=(腹

主动脉 CT 值-竖脊肌 CT 值)/背景噪声。

1.3.2 主观评价 由以上 2 名观察者分别对右肾动脉进行评分。评分标准参照 Sahani 等^[4]对肾动脉重建图像的 5 级评分法:5 分,清晰显示肾动脉主干及 1~4 级分支,血管边缘光滑,无呼吸运动伪影;4 分,清晰显示肾动脉主干及 1~3 级分支,且 3 级分支 ≥ 5 支,血管边缘光滑,无呼吸运动伪影;3 分,清晰显示肾动脉主干及 1~3 级分支,3 级分支 < 5 支,血管边缘光滑,无呼吸运动伪影;2 分,清晰显示肾动脉主干及 1、2 级分支,2 级分支 < 4 支,血管边缘光滑,无呼吸运动伪影;1 分,显示肾动脉主干及 1 级分支,血管边缘模糊,有或无呼吸运动伪影。

1.4 辐射剂量及摄入对比剂总碘量 记录容积 CT 剂量指数(volume CT dose index, $CTDI_{vol}$)和剂量长度乘积(dose-length product, DLP),计算有效辐射剂量(effective dose, ED): $ED=k \times DLP$, k 值为转换系数,参考欧盟委员会关于腹部 CT 的质量标准指南, $k=0.015 \text{ mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm})$ ^[1]。记录 A、B 组对比剂摄入量(ml),A 组=患者体质量 $\times 300 \text{ mgI/kg}/350 \text{ mgI/kg}$;B 组=患者体质量 $\times 500 \text{ mgI/kg}/350 \text{ mgI/kg}$ 。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 17.0 统计分析软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,经单样本 Levene 正态性检验后,两组各动脉 CT 值、竖脊肌 CT 值、背景噪声、腹主动脉的 SNR 和 CNR、辐射剂量及对比剂摄入量的比较采用独立样本 t 检验;2 名观察者对右肾动脉图像质量主观评分的一致性分析采用 Kappa 检验,Kappa 值 < 0.2 为一致性很差,0.21~0.40 为一致性较差,0.41~0.60 为一致性一般,0.61~0.80 为一致性较好,0.81~1.00 为一致性很好。如一致性良好则采用观察者 1 的评分结果,评分结果以中位数(四分位数间距)表示,两组评分的比较采用 Kruskal-Wallis 秩和检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

两组患者 BMI 差异无统计学意义($t = -0.718$, $P = 0.476$)。

两组腹主动脉、腹腔干、肝总动脉、脾动脉、肠系膜

上动脉 CT 值差异均有统计学意义(P 均 < 0.05),A 组明显高于 B 组;两组竖脊肌的 CT 值差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。

两组图像背景噪声差异无统计学意义($P > 0.05$)。腹主动脉的 SNR、CNR 比较差异有统计学意义(P 均 < 0.05),见表 2。

2 名观察者对两组右肾动脉图像的评分中位数均为 5.00(1.00)分,所有腹主动脉及分支均显示清晰,血管边缘锐利(图 1、2),可满足临床诊断需要。2 名观察者对两组右肾动脉图像质量评分一致性很好($Kappa = 0.932, 0.911$),见表 3。

两组 $CTDI_{vol}$ 、DLP、ED 及对比剂摄入量差异均有统计学意义(P 均 < 0.05),见表 4。A 组较 B 组 $CTDI_{vol}$ 降低 73.36%、DLP 降低 74.41%,对比剂摄入量降低 45.05%。

3 讨论

3.1 基于 BMI 个体化腹部 CTA“双低”技术 随着 CTA 技术在腹部应用的日益广泛,辐射剂量及对比剂摄入量问题也成为关注的重点。尤其对于慢性病患者,在治疗过程中需进行多次 CTA 检查,累计的辐射剂量相应增加^[5]。根据辐射防护的最优化原则,在满足临床诊断需求的前提下,应根据患者体型或 BMI 值进行扫描参数优化,最大限度地降低辐射剂量。对于受检者个体差异较大,特别是对较低 BMI ($\leq 22 \text{ kg/m}^2$) 患者的腹部 CTA,采用常规 120 kVp、自动毫安技术及对比剂注射方案,在辐射剂量和对比剂摄入量方面均未达到“个体化”成像。应根据 BMI,采用相应的管电压结合迭代重建技术,进行个体化成像。本研究中两组除管电压,其他扫描参数均相同,NI 为设备根据定位像和 ASiR-V 的比率而给出的推荐值。

3.2 低 kVp 在“双低”扫描中的应用价值 在 CTA 中,降低管电压可有效降低辐射剂量,kVp 与辐射剂量的变化近似成平方关系,相比于其他线性降低辐射剂量的方法,采用较低管电压降低辐射剂量的幅度更大^[6]。且较低 kVp 可提高图像的对比度,因为低管电压时更能接近碘的 K 缘(33.2 keV),此时,碘的 X 线吸收主要以光电吸收为主^[7]。所谓 K 缘是指碘在 33.2 keV 能

表 1 2 组血管及背景 CT 值比较(HU, $\bar{x} \pm s$)

组别	腹主动脉	腹腔干	肝总动脉	脾动脉	肠系膜上动脉	竖脊肌
A 组($n=27$)	650.64 $\pm$ 82.73	566.42 $\pm$ 54.93	512.82 $\pm$ 104.10	515.09 $\pm$ 60.75	572.41 $\pm$ 51.54	54.25 $\pm$ 7.25
B 组($n=21$)	449.96 $\pm$ 69.45	451.78 $\pm$ 84.71	398.62 $\pm$ 69.24	432.95 $\pm$ 71.52	445.92 $\pm$ 77.47	53.57 $\pm$ 6.94
t 值	8.930	3.933	3.164	3.032	4.709	0.328
P 值	< 0.001	0.001	0.005	0.006	< 0.001	0.745

表 2 2 组背景噪声及腹主动脉的 SNR、CNR 比较($\bar{x} \pm s$)

组别	背景噪声(HU)	腹主动脉 SNR	腹主动脉 CNR
A 组($n=27$)	14.15 ± 2.48	47.50 ± 11.47	43.58 ± 11.15
B 组($n=21$)	13.27 ± 1.21	34.09 ± 5.61	30.01 ± 5.68
t 值	1.614	4.734	3.547
P 值	0.114	<0.001	0.001

表 3 2 名观察者对 2 组右肾动脉的图像质量评分(例)

组别	观察者 1					观察者 2				
	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分
A 组($n=27$)	0	0	2	10	15	0	0	2	9	16
B 组($n=21$)	0	0	1	8	12	0	0	1	9	11

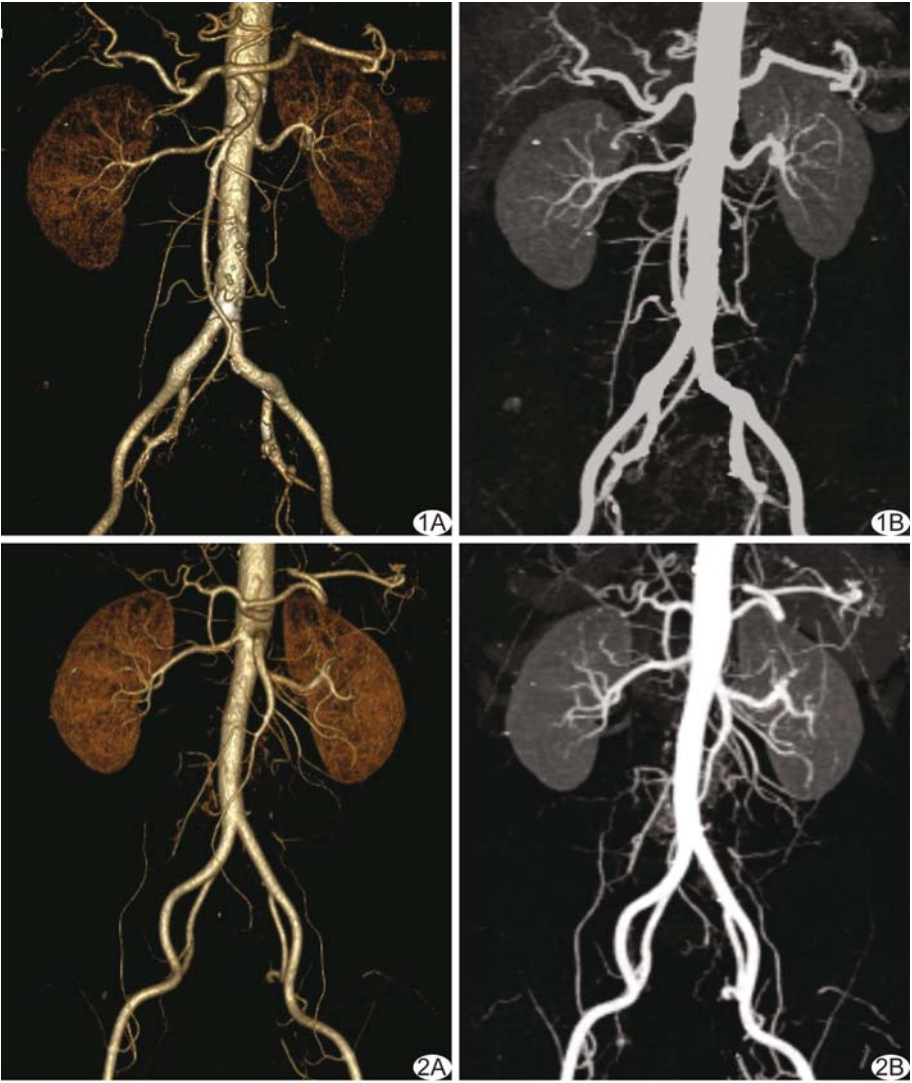


图 1 A 组腹主动脉及其分支 VR (A)、MIP(B)图像 腹主动脉及其分支显示清晰,血管边缘锐利,4 级分支显示清晰,右肾动脉图像质量评分 5 分 图 2 B 组腹主动脉及其分支 VR (A)、MIP(B)图像 腹主动脉及其分支显示清晰,血管边缘锐利,4 级分支显示清晰,右肾动脉图像质量评分 5 分

量水平时其射线吸收系数(衰减系数)显示锐利的锯齿形不连续性,分别在 70 kVp 和 120 kVp 能量下扫描,前者影像的碘密度比后者显著增强^[2],使图像对比度显著增加。根据碘对 X 线的吸收特性,本研究使用每公斤体质量含碘量(mgI)的规范化方法,与对比剂浓度无关。70 kVp 时采用 300 mgI/kg 体质量,120 kVp 时根据既往常规腹部 CTA 对比剂总量采用 1.5 ml/kg 体质量^[8-9],以 350 mgI/ml 换算获得对比剂用量为 525 mgI/kg 体质量,为计算方便,实际工作中采用相近值 500 mgI/kg 体质量。本研究结果证实将腹部 CTA 检查的管电压由常规 120 kVp 降至 70 kVp 时,受检者 CTDI_{vol}降低 73.36%、DLP 降低 74.41%,对比剂摄入量降低 45.05%,此外,A 组图像腹主动脉及其各分支的 CT 值均高于 B 组,且图像质量均满足临床诊断要求^[10]。

3.3 ASiR-V 技术在低 kVp 成像中的价值 低管电压技术在腹部“双低”成像中具有显著优势^[11],但由于光电子流量和能量的降低,可增加图像噪声和硬化伪影效应^[12]。虽然图像噪声可以通过增加管电流和曝光时间得到改善,在更低管电压时(低于 80 kVp),由于医用 X 线高压发生器的原因,增加管电流方案不可行^[13],且管电流的增加,对受检者辐射剂量的降低并不明显。低管电压、低管电流会导致图像噪声太大,软组织对比度进一步降低,影响诊断的准确性,因此,低管电压技术,特别在腹部的应用受到限制。本研究所采用的 ASiR-V 算法是介于 ASiR 和基于模型的迭代重建算法(model-based iterative reconstruction, MBIR)的处理

表 4 2 组 CTDI_{vol}、DLP、ED 及对比剂总碘摄入量比较($\bar{x} \pm s$)

组别	CTDI _{vol} (mGy)	DLP(mGy·cm)	ED(mSv)	对比剂(ml)
A 组(n=27)	1.95±0.17	97.58±12.14	1.46±0.18	46.33±6.43
B 组(n=21)	7.32±0.70	381.36±87.59	5.72±1.31	84.31±10.71
t 值	-25.964	-11.117	-11.117	-15.258
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

模式,具有较 ASiR 更好的图像质量,较 MBIR 更短的图像重建时间,可显著降低图像噪声,提高 CNR,增加空间分辨率,进一步降低辐射剂量。本研究两组均采用 50%ASiR-V,由于 ASiR-V 参与管电流调制,且与 NI 值相匹配,Revolution CT 在 ASiR-V 一定时,会根据受检者的体型自动给出相应的 NI 值,以达到辐射剂量最优化,研究^[14]发现 ASiR-V 与 FBP 相比,辐射剂量可降低 82%,且图像质量保持不变,与本研究结果相一致。

本研究的不足:因本研究旨在探讨腹部动脉血管成像,故未对实质脏器及病灶的显示情况进一步评估。

针对 BMI≤22 kg/m² 的患者,采用 70 kVp 低管电压结合 ASiR-V 技术行腹部 CTA 扫描,可显著提高腹主动脉及其分支的图像对比度和信噪比,同时明显降低辐射剂量及患者摄入总碘量,具有很好的临床推广价值。

[参考文献]

[1] 鲁观春,杨有优. MSCTA 对急性肠系膜上动静脉栓塞的诊断价值. 中国中西医结合影像学杂志, 2014, 12(2):130-132.

[2] Noël PB, Köhler T, Fingerle AA, et al. Evaluation of an iterative model-based reconstruction algorithm for low-tube-voltage (80 kVp) computed tomography angiography. J Med Imaging (Bellingham), 2014, 1(3):033501.

[3] 刘义军,刘爱连,浦仁旺,等. 腹部能谱 CT 血管成像低浓度对比剂扫描方案的可行性. 中华放射学杂志, 2014, 48(10):822-826.

[4] Sahani DV, Kalva SP, Hahn PF, et al. 16-MDCT angiography involving kidney donors at various tube potentials: Impact on image quality and radiation dose. AJR Am J Roentgenol, 2007, 188(1):115-120.

[5] Nakayama Y, Awai K, Funama Y, et al. Abdominal CT with low tube voltage: Preliminary observations about radiation dose, contrast enhancement, image quality, and noise. Radiology, 2005, 237(3):945-951.

[6] Niemann T, Henry S, Faivre JB, et al. Clinical evaluation of automatic tube voltage selection in chest CT angiography. Eur J Radiol, 2013, 23(10):2643-2651.

[7] Marin D, Nelson RC, Schindera ST, et al. Low-tube-voltage, high-tube-current multidetector abdominal CT: Improved image quality and decreased radiation dose with adaptive statistical iterative reconstruction algorithm—initial clinical experience. Radiology, 2010, 254(1):145-153.

[8] He J, Wang Q, Ma X, et al. Dual-energy CT angiography of abdomen with routine concentration contrast agent in comparison with conventional single-energy CT with high concentration contrast agent. Eur J Radiol, 2015, 84(2):221-227.

[9] Xin L, Yang X, Huang N, et al. The initial experience of the upper abdominal, CT angiography using low-concentration contrast medium on dual energy spectral CT. Abdom Imaging, 2015, 40(7):2894-2899.

[10] 余洁,张翱,文兵,等. 低剂量扫描与低浓度对比剂联合迭代重建 CTA 在颈部血管模型中的应用. 中国医学影像技术, 2016, 32(8):1272-1276.

[11] 刘静红,刘爱连,田士峰,等. 低浓度对比剂结合能谱 CT 最佳单能量成像对胆囊动脉的显示能力. 中国医学影像技术, 2014, 30(7):1091-1094.

[12] Huda W. Dose and image quality in CT. Pediatr Radiol, 2002, 32(10):709-713.

[13] Schindera ST, Nelson RC, Mukundan S Jr, et al. Hypervascular liver tumors: Low tube voltage, high tube current multi-detector row CT for enhanced detection—phantom study. Radiology, 2008, 246(1):125-132.

[14] Lim K, Kwon H, Cho J, et al. Initial phantom study comparing image quality in computed tomography using adaptive statistical iterative reconstruction and new adaptive statistical iterative reconstruction v. J Comput Assist Tomogr, 2015, 39(3):443-448.