

· 超低剂量 CTA 研究专题 ·

70 kV 管电压在头颅 CT 血管成像中的可行性

陈国中, 张龙江, 周长圣, 祁丽, 罗松, 卢光明

【摘要】 目的:探讨 70 kV 管电压在头颅 CT 血管成像中的可行性。**方法:**80 例临床疑似脑血管疾病的患者随机分成 2 组, 其中 40 例患者行新双源 CT 70kV 头颅 CT 血管成像(70kV 组), 另 40 例患者行 120 kV 头颅 CT 血管成像(120 kV 组)。测量每例患者颈内动脉、大脑中动脉 CT 值, 计算信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR)。两名放射医师对所有病例以 4 分法对图像质量进行评分。计算有效剂量(ED)。比较两组间的图像质量及辐射剂量。**结果:**70 kV 组颈内动脉及大脑中动脉的平均 CT 值 $[(511.1 \pm 93.8) \text{ HU}, (459.1 \pm 83.4) \text{ HU}]$ 高于 120 kV 组的 CT 值 $[(289.1 \pm 46.6) \text{ HU}, (260.9 \pm 43.4) \text{ HU}, P < 0.001]$ 。70 kV 组图像噪声 $[(18.3 \pm 2.1) \text{ HU}]$ 高于 120 kV 组 $[(8.7 \pm 1.0) \text{ HU}, P < 0.001]$, 70 kV 组的 SNR 颈内动脉, CNR 颈内动脉及 SNR 大脑中动脉, CNR 大脑中动脉 $(28.3 \pm 6.1, 26.2 \pm 5.9 \text{ 及 } 25.4 \pm 5.3, 23.3 \pm 5.2)$ 低于 120 kV 组 $(33.9 \pm 7.5, 30.1 \pm 7.1 \text{ 及 } 30.7 \pm 7.4, 26.9 \pm 6.9, P < 0.05)$ 。70 kV 组的主观评分 (3.5 ± 0.7) 与 120 kV 组 $(3.6 \pm 0.5, P = 0.22)$ 无显著性差异; 两组读者间一致性为中等(kappa 值 $= 0.54, 0.59, P < 0.001$)。70 kV 组与 120 kV 组 ED 分别为 $(0.2 \pm 0.0), (1.2 \pm 0.1) \text{ mSv} (P < 0.001)$, 辐射量降低了 80%。**结论:**70 kV 管电压在头颅 CT 血管成像中是可行的, 能在降低辐射量的同时保持足够的图像质量。

【关键词】 血管成像; 诊断显像; 辐射量; 体层摄影术, X 线计算机; 头部

【中图分类号】 R814.42; R323.1 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2014)06-0585-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2014.06.002

Feasibility study of cerebral CT angiography using 70kVp tube voltage CHEN Guo-zhong, ZHANG Long-jiang, ZHOU Chang-sheng, et al. Department of Medical Imaging, Jinling Hospital, Medical School of Nanjing University, Nanjing 210002, P. R. China

【Abstract】 Objective: To explore the radiation dose and image quality of cerebral CT angiography using 70kVp tube voltage. **Methods:** Eighty patients with clinically suspected cerebrovascular disease were divided into two groups. One group (40 patients) underwent cerebral CT angiography with 70kVp tube voltage, while the other group (40 patients) underwent conventional tube voltage (120kVp) cerebral CT angiography. The CT values of the internal carotid artery (ICA) and the middle cerebral artery (MCA) in each patient were measured. Signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) in each patient were also calculated. Two observers blindly evaluated the image quality using a 4-point scale. Effective dose (ED) was calculated for each patient. **Results:** The 70kVp group showed higher CT values $[(511.1 \pm 93.8) \text{ HU}, (459.1 \pm 83.4) \text{ HU}]$ than 120kVp group $[(289.1 \pm 46.6) \text{ HU}, (260.9 \pm 43.4) \text{ HU}, P < 0.001]$. Image noise of 70kVp group $[(18.3 \pm 2.1) \text{ HU}]$ was higher than 120kVp group $[(8.7 \pm 1.0) \text{ HU}, P < 0.001]$, the SNRICA, CNRICA and SNRMCA, CNRMCA $(28.3 \pm 6.1, 26.2 \pm 5.9 \text{ vs } 25.4 \pm 5.3, 23.3 \pm 5.2)$ of 70kV group were lower than 120kV group $(33.9 \pm 7.5, 30.1 \pm 7.1 \text{ vs } 30.7 \pm 7.4, 26.9 \pm 6.9; P < 0.05)$. There were no significant differences between the 70kVp group (3.5 ± 0.7) and the 120kVp group $(3.6 \pm 0.5, P = 0.22)$ regarding the mean score. Moderate interreader agreement was found for both groups (kappa values were 0.54 and 0.59, all the P value < 0.001). ED were $(0.2 \pm 0.0) \text{ mSv}$ and $(1.2 \pm 0.1) \text{ mSv}$ for 70kVp and 120kVp groups ($P < 0.001$) respectively, and the average effective dose was decreased by 80% in the 70kVp group. **Conclusion:** The application of 70kVp in cerebral CT angiography is feasible, it can reduce radiation dose without noticeable loss in diagnostic quality.

【Key words】 Angiography; Diagnostic imaging; Radiation dose; Tomography, X-ray computed; Head

CT 血管成像已成为颅内血管疾病的常规检查之一, 大量 CT 检查带来的辐射剂量的不断增加日益受到关注。据报道, 在美国约 1.5%~2.0% 的癌症是由于 CT 检查时产生的辐射造成的^[1]。在不影响头颅 CT 血管成像图像质量的前提下, 尽可能地降低辐射剂量已成为放射科医生的主要研究课题之一。许多降

低剂量的技术相继提出并应用于临床, 包括低管电压、低管电流、自动曝光控制、大螺距、扫描长度的最优化^[2]。降低管电压^[3,4]和降低管电流^[5-7]是最常用的方法。近些年随着计算机硬件的发展, 迭代重建得到广泛的应用。相对于传统的滤过反向投影算法(filtered back projection, FBP)重建算法, 在相同条件下迭代重建技术能够使图像质量明显提高, 因此具有潜在降低辐射剂量的作用, 已在胸部 CT、冠状动脉 CT 血管成像、腹部 CT 等的研究中得到证实^[8-10]。本研究主要

作者单位: 210002 南京, 南京军区南京总医院/南京大学附属金陵医院医学影像科

作者简介: 陈国中(1989-), 男, 江苏南京人, 硕士, 主要从事低辐射剂量头颅 CT 血管成像工作。

通讯作者: 卢光明, E-mail: cjr_luguangming@vip.163.com

探究 70 kV 管电压联合迭代重建技术(sinogram-affirmed iterative reconstruction, SAFIRE)在头颅 CT 血管成像中的可行性。

材料与方法

1. 临床资料

本次前瞻性研究选择本院 2013 年 11 月—2014 年 3 月接受头颅 CT 血管成像检查的患者 90 名。纳入标准:所有疑似脑血管疾病行头颅 CT 血管成像的患者。排除标准:烟雾病患者、严重肾病、孕妇、颈内动脉或大脑中动脉闭塞、颅内动脉瘤术后有弹簧圈残留的患者均不纳入组内。

2. 检查方法

所有患者均采用西门子双源 CT 扫描机(Definition Flash, Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)。扫描参数包括:准直器宽度 $2 \times 64 \times 0.6$ mm,机架转速 0.33 s/r,螺距 1.5。将患者随机分成 A 与 B 组。A 组为实验组,管电压为 70 kV,患者接受碘对比剂(iopromide, Ultravist 300 mg I/mL, Bayer Schering Pharma, Berlin, Germany)。B 组为对照组,管电压为 120 kV,患者亦接受碘对比剂。两组均采用自动管电流调节技术(Care dose 4D),强度均设置为半自动(semi-),同时 A 组 600 mAs, B 组为 300 mAs。碘对比剂通过为 22 规格的导管由肘前静脉注入,流率为 4.0 mL/s,随后以相同流率注入 30 mL 生理盐水。采用团注示踪触发扫描,兴趣区设置在右侧颈内动脉起始处。当 CT 值达到 100 HU 后延迟 3 s 后触发扫描。整个扫描过程约 3~4 s。

3. 图像重建

A 组获得的图像用基于原始数据的 SAFIRE 进行重建,重建水平为 S3 级。B 组获得的图像用 FBP 进行重建。所有重建图像的层厚均为 0.75 mm,层间距均为 0.5 mm。A 组卷积核设为 J30f, B 组卷积核设为 H30f。记录 A 组和 B 组的平均图像重建时间。随后随机分配对图像质量进行双盲评价。

4. 图像质量评价

客观图像质量评价:所有的图像均传至专门的工作站(Multi Modality Workplace; Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany)。由 1 名有 5 年经验的神经放射医师,将兴趣区分别放置在两侧颈内动脉海绵窦段、两侧大脑中动脉 M1 段血管中心,分别测兴趣区内的 CT 值,兴趣区的面积分别为 0.15~0.2 和 0.03~0.06 cm²。每侧血管测 3 次,最后取平均值。随后左右两侧血管 CT 的平均值作为最终数据,进行统计分析。将面积约 1 cm² 兴趣区放置在两侧半卵圆中心水平的脑白质上,避开周围血管结构。同样测量 3 次,最后取平均值。将脑实质 CT 值的标准差(SD)

作为图像噪声,信号噪声比(signal-to-noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)由以下公式计算得出^[4]:

$$\text{SNRa} = \frac{\text{CT 值 a}}{\text{SD}}$$

$$\text{CNRa} = \frac{\text{CT 值 a} - \text{CT 值 b}}{\text{SD}}$$

其中 CT 值 a 是目标血管的平均 CT 值, CT 值 b 是脑实质的平均 CT 值, SD 是脑实质 CT 值的标准差。

主观图像质量评价:通过最大密度投影图像和容积再现图像进行。由两名神经放射医师对 CT 血管成像独立进行评分(分别是有 5 年和 3 年读片经验)。意见不一致时,共同商议确定最后评分。根据噪声大小及线束硬化伪影对各段血管进行评分,采用 4 分法:1 分代表图像很差,图像不能用于诊断;2 分代表图像质量稍差但仍可满足诊断;3 分代表图像满意,可提供足够的诊断信息;4 分代表图像质量非常好。意见不一致时,共同商议确定最后得分^[11]。

辐射剂量评估:计算每例患者的容积剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)和剂量长度乘积(dose-length product, DLP)。有效剂量(effective dose, ED)是由剂量长度乘积(DLP)乘以头颅转换因子(0.0021 mSv/mGy·cm)得到^[4]。

5. 统计分析

采用 SPSS 16.0 软件包分析数据,计量资料数据以均数±标准差表示。对计量资料(CT 值、SNR、CNR、DLP、CTDIvol 及 ED)采用两样本 *t* 检验。两组主观图像质量用 Mann-Whitney 检验。观察者间的一致性采用 Kappa 分析(K 0.75~1.0 为一致性好, K 0.4~0.75 为一致性一般, K 0<0.4 为一致性较差),以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

1. 临床资料

90 例患者中 4 例烟雾病患者, 6 例为颅内动脉瘤术后患者被排除。因此,最终入组患者 80 例。随机分成 A 组(实验组)40 例, B 组(对照组)40 例。A 组患者年龄、身高、体重、体质量指数[(54.6±12.9)岁, (166.1±8.0) cm, (67.6±11.6) kg, (24.4±3.1) kg/m²]与 B 组[(53.7±12.9)岁, (163.4±8.3) cm, (66.3±11.2) kg, (24.6±3.9) kg/m², $P>0.05$]之间差异无统计学意义。A 组的平均图像重建时间为(45±2) s, B 组的为(27±1) s。

2. 图像质量

两组颈内动脉、大脑中动脉及脑实质 CT 值, 图像噪声, CNR 颈内动脉, CNR 大脑中动脉, SNR 颈内动脉及 SNR 大脑中动脉如表 1。

表 1 两组图像质量客观评价比较

位置	70kV 组	120kV 组	t 值	P 值
颈内动脉				
CT 值(HU)	511.1±93.8	289.1±46.6	13.395	<0.001
SNR	28.3±6.1	33.9±7.5	-3.696	<0.001
CNR	26.2±5.9	30.1±7.1	2.717	<0.05
大脑中动脉				
CT 值(HU)	459.1±83.4	260.9±43.4	13.331	<0.001
SNR	25.4±5.3	30.7±7.4	-3.6689	<0.001
CNR	23.3±5.2	26.9±6.9	2.624	<0.05
脑实质				
CT 值(HU)	38.2±2.5	32.4±1.9	11.637	<0.001
噪声(HU)	18.3±2.1	8.7±1.0	26.464	<0.001

注:SNR 信噪比,CNR 对比噪声比。

A 组的颈内动脉平均 CT 值为(511.1±93.8) HU, 大脑中动脉 CT 值为(459.1±83.4) HU。B 组颈内动脉平均 CT 值为(289.1±46.6) HU, 大脑中动脉 CT 值为(260.9±43.4) HU。平均 CT 值增加了 76%。A 组脑实质 CT 值为(38.2±2.5) HU,B 组脑实质 CT 值为(32.4±1.9) HU($P<0.001$)。A 组图像背景噪声[(18.3±2.1) HU]高于 B 组[(8.7±1.0) HU, $P<0.001$],70 kV 组的 SNR 颈内动脉,CNR 颈内动脉及 SNR 大脑中动脉,CNR 大脑中动脉(28.3±6.1, 26.2±5.9 及 25.4±5.3,23.3±5.2)低于 120 kV 组

(33.9±7.5,30.1±7.1 及 30.7±7.4,26.9±6.9; $P<0.05$)。A 组平均分为 3.5±0.7,B 组平均分为 3.6±0.5($P=0.569$,表 2)。A 组及 B 组两名读者一致性检验的 Kappa 值分别为 0.54 及 0.59($P<0.001$),提示读者间一致性中等(图 1、2)。

表 2 两组图像质量主观评价比较

读者	70kV 组	120kV 组	Z 值	P 值
读者 1	3.4±0.7	3.6±0.5	0.78	0.436
读者 2	3.3±0.6	3.3±0.6	1.108	0.268
最终分数	3.5±0.7	3.6±0.5	0.569	0.569

3. 辐射剂量

A 组的 DLP、CTDIvol 及 ED[(118.7±22.6) mGy·cm、(6.6±1.3) mGy 及(0.2±0.0) mSv]均明显低于 B 组[(594.2±63.2) mGy·cm、(33.2±3.1) mGy 及(1.2±0.1) mSv, $P<0.001$,表 3]。分别降低了 80%、80%及 83%。

表 3 两组辐射剂量比较

参数	70kV 组	120kV 组	t 值	P 值
CTDIvol(mGy)	6.6±1.3	33.2±3.1	-50.474	<0.001
DLP(mGy·cm)	118.7±22.6	594.2±63.2	-44.821	<0.001
ED(mSv)	0.2±0.0	1.2±0.1	-44.821	<0.001

注:CTDIvol:CT 容积剂量指数;DLP:剂量长度乘积;ED:有效剂量。

讨 论

本研究结果表明 70 kV 管电压条件在头颅 CT 血管成像中的应用是可行的。与 120 kVp 对照组相比,70 kVp 组图像质量可满足诊断要求,辐射剂量降低了约 80%,血管内 CT 值升高了约 76%。

头颅 CT 降低辐射剂量的方法主要有两种即降低管电压^[3,4]和管电流^[5-7]。以往研究者大部分都是通过降低管电流从而达到降低辐射的目的。本研究通过把管电压设置为 70 kV,从而达到降低辐射剂量的目的。这是因为辐射剂量与管电压的平方呈正相关性,降低管电压能更为明显地减少辐射剂量;另一方面,降低管电压可以使血管内 CT 值明显的升高。这与碘的特征吸收光谱特性有

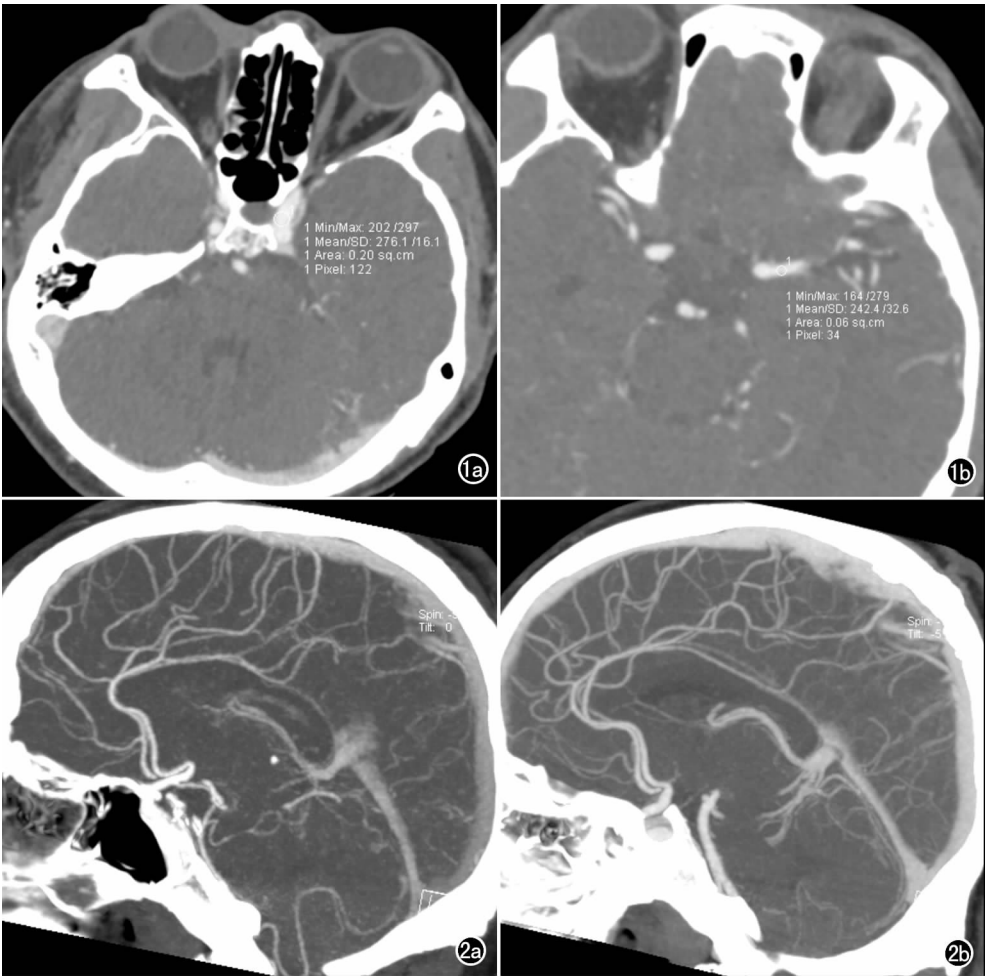


图 1 a) 颈内动脉海绵窦段兴趣区放置位置;b) 大脑中动脉 M1 段兴趣区放置位置。
图 2 a) 70kV 组大脑前动脉的最大密度投影,能清晰显示大脑前动脉的走行与分布;b) 120kV 组。

关^[12]。本研究结果显示 70 kV 组的血管平均 CT 值比 120 kV 组的平均 CT 值明显增加了 76%。本研究采用了自动管电流调节技术(CARE Dose; Siemens Medical Solutions, Forchheim, Germany), 与固定管电流技术相比自动管电流调节技术能够在不影响图像质量, 维持图像噪声不变的情况下, 进一步降低辐射剂量^[13]。其他一些类似的研究也表明低管电压与自动管电流调节的组合应用能有效降低辐射剂量^[14,15]。本研究发现当管电压由 120 kV 降至 70 kV 时, 管电流会略有提高(约 10%), 但并未增加辐射剂量^[16]。

管电压的降低会增加图像噪声, 本研究结果显示相比于 120 kVp 组, 70 kVp 组的噪声值升高了约 110%, 但同时低管电压能够增加血管强化程度, 所以这能在一定程度上弥补噪声对图像的影响, 从而使得 SNR 和 CNR 轻微的减低(分别约 17% 和 13%)。而且两组的主观评分无统计学差异。本研究 70 kV 组采用 SAFIRE 算法, 有研究显示 SAFIRE 算法能够有效降低噪声, 从而改善图像质量^[8-10]。大脑中动脉的 SNR 在 70 kV 组和 120 kV 组之间无差别, SAFIRE 算法的应用应是主要的原因之一。本研究还显示采用 SAFIRE 算法的平均图像重建时间是(45±2) s, FBP 的平均图像重建时间是(27±1) s, 虽然 SAFIRE 算法的图像处理时间上升了近一倍, 但对于临床工作而言, 这不会影响到工作效率。这说明 70 kV 管电压在头颅 CT 血管成像中的应用是可行的。

本研究中存在若干不足: 第一, 对比剂的用量并不是最佳剂量。因为在 CT 扫描过程中, 我们发现头颅大部分静脉已经显影, 这可能跟我们将延迟扫描时间设置为 3 s 有关。由于持续灌注的缘故, 头颅动脉里的对比剂浓度一直是最佳浓度。这说明对比剂的用量可以适当的减少。第二, 本研究患者数量较少。第三, 没有比较 SAFIRE 5 个处理水平(S1-5)的图像质量的差异, 虽然厂商推荐的是 S3 级, 但对于管电压是 70 kV 条件下的图像, 最佳的重建级别仍未确定; 第四, 70 kV 头颅 CTA 诊断颅内动脉病变的准确性还未确立, 进一步与常规血管造影比较的研究仍是需要的。

综上, 70 kV 管电压条件在头颅 CT 血管成像中的应用是可行的, 能提供足够诊断的图像质量的前提下明显降低辐射剂量。

参考文献:

- [1] Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography-an increasing source of radiation exposure[J]. N Engl J Med, 2007, 357(22): 2277-2284.
- [2] 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.
- [3] Zhang WL, Li M, Zhang B, et al. 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): 81-86.
- [4] Cho ES, Chung TS, Oh DK, et al. Cerebral computed tomography angiography using a low tube voltage (80kVp) and a moderate concentration of iodine contrast material; a quantitative and qualitative comparison with conventional computed tomography angiography[J]. Invest Radiol, 2012, 47(2): 142-147.
- [5] Korn A, Bender B, Fenchel M, et al. Sinogram affirmed iterative reconstruction in head CT; improvement of objective and subjective image quality with concomitant radiation dose reduction[J]. Eur J Radiol, 2013, 82(9): 1431-1435.
- [6] Wu TH, Hung SC, Sun JY, et al. How far can the radiation dose be lowered in head CT with iterative reconstruction? Analysis of imaging quality and diagnostic accuracy[J]. Eur Radiol, 2013, 23(9): 2612-2621.
- [7] Korn A, Fenchel M, Bender B, et al. Iterative reconstruction in head CT; image quality of routine and low-dose protocols in comparison with standard filtered back-projection[J]. AJNR, 2012, 33(2): 218-224.
- [8] Moscariello A, Takx RA, Schoepf UJ, et al. Coronary CT angiography; image quality, diagnostic accuracy, and potential for radiation dose reduction using a novel iterative image reconstruction technique-comparison with traditional filtered back projection[J]. Eur Radiol, 2011, 21(10): 2130-2138.
- [9] Prakash P, Kalra MK, Digumarthy SR, et al. Radiation dose reduction with chest computed tomography using adaptive statistical iterative reconstruction technique; initial experience[J]. J Comput Assist Tomogr, 2010, 34(1): 40-45.
- [10] Singh S, Kalra MK, Hsieh J, et al. Abdominal CT; comparison of adaptive statistical iterative and filtered back projection reconstruction techniques[J]. Radiology, 2010, 257(2): 373-383.
- [11] Fraioli F, Catalano C, Napoli A, et al. Low-dose multidetector-row CT angiography of the infra-renal aorta and lower extremity vessels; image quality and diagnostic accuracy in comparison with standard DSA[J]. Eur Radiol, 2006, 16(1): 137-146.
- [12] Huda WI, Lieberman KA, Chang J, et al. Patient size and X-ray technique factors in head computed tomography examinations. I. Radiation doses[J]. Med Phys, 2004, 31(3): 588-594.
- [13] Kalra MK, Maher MM, Toth TL, et al. Comparison of Z-axis automatic tube current modulation technique with fixed tube current CT scanning of abdomen and pelvis[J]. Radiology, 2004, 232(2): 347-353.
- [14] Herzog C, Mulvihill DM, Nguyen SA, et al. Pediatric cardiovascular CT angiography; radiation dose reduction using automatic anatomic tube current modulation[J]. AJR, 2008, 190(5): 1232-1240.
- [15] Kalender WA, Buchenau S, Deak P, et al. Technical approaches to the optimisation of CT[J]. Phys Med, 2008, 24(2): 71-79.
- [16] Iezzi R, Santoro M, Marano R, et al. low-dose multidetector CT angiography in the evaluation of infrarenal aorta and peripheral arterial occlusive disease[J]. Radiology, 2012, 263(1): 287-298.

(收稿日期: 2014-05-01 修回日期: 2014-05-26)