

基础研究

DOI: 10.3969/j.issn.0253-3626.2012.07.013

胸部 CT 扫描参数与组织噪声相关性的实验研究

赵 峰,曾勇明,彭盛坤,彭 刚,郁仁强,谭 欢,刘 潇,王 杰

(重庆医科大学附属第一医院放射科,重庆 400016)

【摘 要】目的:探讨胸部 CT 扫描参数变化与不同组织噪声的相关性及图像质量影响的规律。方法:应用 GE BrightSpeed 16 层 CT 机以管电压 120 kV,管电流 300 mA,螺距 0.938 为标准,每次扫描改变一种扫描参数,其它扫描参数不变,以不同管电压(80、100、120、140 kV)、管电流(80、100、120、180、240、300 mA)及螺距(0.562、0.938、1.375、1.75)扫描仿真胸部体模,测量、记录体模不同组织噪声值(CT 值标准差,SD),并进行统计学分析。结果:肺组织不同管电压组(80、100、120、140 kV)的噪声比较差异无统计学意义($F=0.966, P>0.05$),而胸壁软组织、脊柱旁软组织及主动脉噪声 80 kV 组与常规管电压 120 kV 组比较差异有统计学意义, $P<0.05$ 。肺组织、脊柱旁软组织及主动脉噪声不同管电流组(80、100、120、180、240、300 mA)差异均有统计学意义(肺组织 $F=3.28, P<0.05$ 、脊柱旁软组织 $F=11.89, P<0.05$ 及主动脉 $F=196.67, P<0.05$);肺、胸壁软组织、脊柱旁软组织及主动脉噪声 80 mA 组与常规管电流 300 mA 组比较差异有统计学意义, $P<0.05$ 。肺、胸壁软组织、脊柱旁软组织不同螺距组(0.562、0.938、1.35 及 1.75)噪声差异无统计学意义(肺组织 $F=0.23, P>0.05$;胸壁软组织 $F=1.53, P>0.05$;脊柱旁软组织 $F=2.27, P>0.05$);主动脉噪声不同螺距组比较差异有统计学意义($F=9.68, P<0.05$)。结论:降低管电压、管电流,增加螺距时,不同组织噪声逐渐增高,但肺组织的噪声增加不明显,胸部低剂量扫描时能够在保证肺组织图像噪声变化不大的同时降低辐射剂量。

【关键词】体模;噪声;X 线计算机;辐射剂量

【中国图书分类法分类号】R814.42

【文献标志码】A

【收稿日期】2011-12-07

作者介绍:赵 峰(1976-),男,主治医师,硕士,

研究方向:图像处理及辐射剂量优化。

通信作者:曾勇明,男,教授,Email:zeng-ym@vip.sina.com。

基金项目:重庆市卫生局科研基金资助项目(编号:08-2-29)。

参 考 文 献

- [1] Chen C, Sun M Z, Liu S Q, et al. Smad4 mediates malignant behaviors of human ovarian carcinoma cell through the effect on expressions of E-cadherin plasminogen activator inhibitor-1 and VEGF[J]. BMB Reports, 2010, 43(8): 554-560.
- [2] Liu H, Yao Y M, Ding L H, et al. High mobility group box-1 protein acts as a coactivator of nuclear factor of activated T cells-2 in promoting interleukin-2 transcription[J]. Int J Biochem Cell Biol, 2009, 41(3): 641-648.
- [3] Jeanes A, Gottardi C J, Yap A S. Cadherins and cancer: how does cadherin dysfunction promote tumor progression?[J]. Oncogene, 2008, 27(55): 6920-6929.
- [4] Kostova N, Zlateva S, Ugrinova I, et al. The expression of HMGB1 protein and its receptor RAGE in human malignant tumors[J]. Mol Cell Biochem, 2010, 337(1-2): 251-258.
- [5] Pardo M, Garcia A, Thomas B, et al. The characterization of the invasion phenotype of uveal melanoma tumor cells shows the presence of MUC18 and HMG-1 metastasis markers and leads to the identification of DJ-1 as a potential serum biomarker[J]. Int J Cancer, 2006, 119(5): 1014.
- [6] Bao G, Qiao Q, Zhao H, et al. Prognostic value of HMGB1 overexpression in resectable gastric adenocarcinomas[J]. World J Surg Oncol, 2010, 26(8): 52.
- [7] 付 欣, 杜晓琴, 郝 权. 宫颈鳞癌组织高迁移率族蛋白 HMGB1 表达及其临床意义的研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2008, 15(5): 357-359.
- [8] Fu X, Du X Q, Hao Q. Expression of HMGB1 protein in human cervical squamous epithelium carcinoma[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2008, 15(5): 357-359.
- [9] Liu Y, Xie C, Zhang X, et al. Elevated expression of HMGB1 in squamous-cell carcinoma of the head and neck and its clinical significance[J]. Eur J Cancer, 2010, 46(16): 3007-3015.
- [10] Shen X, Hong L, Sun H, et al. The expression of high-mobility group protein box 1 correlates with the progression of non-small cell lung cancer[J]. Oncol Rep, 2009, 22(3): 535-539.
- [11] Zhai B, Yan H X, Liu S Q, et al. Reduced expression of E-cadherin/catenin complex in hepatocellular carcinomas[J]. World J Gastroenterol, 2008, 14(37): 5665-5673.
- [12] Gallo D, Ferlini C, Scambia G. The epithelial-mesenchymal transition and the estrogen-signaling in ovarian cancer[J]. Curr Drug Targets, 2010, 11(4): 474-481.
- [13] 黄德好. 卵巢癌组织 E-cadherin 及 PTEN 表达及其意义研究[J]. 中国现代医生, 2011, 49(4): 61-62.
- [14] Huang D Y. Expressive significance of E-cadherin and PTEN on ovarian cancer[J]. China Modern Doctor, 2011, 49(4): 61-62.

(责任编辑:唐秋姗)

Experiment study of correlation between CT scan parameters and noise of different tissues

ZHAO Feng, ZENG Yongming, PENG Shengkun, PENG Gang, YU Renqiang, TAN Huan, LIU Xiao, WANG Jie
(Department of Radiology, the First Affiliated Hospital, Chongqing Medical University)

【Abstract】Objective: To investigate the correlations between CT scan parameters and noises of different tissues and to discuss the factors influencing the image quality. **Methods:** The anthropomorphic phantom equivalent to human tissue was scanned by 16 slices spiral scanner (GE BrightSpeed) with different voltages (80, 100, 120 kV and 140 kV), tube currents (80, 100, 120, 180, 240 mA and 300 mA) and pitches (0.562, 0.938, 1.375 and 1.75). 120 kV, 300 mA and 0.938 (pitch) were using as the standard. One of the three scanning parameters was changed and other scanning parameters were fixed. The CT value and image noise were recorded and analyzed (Standard derivation, SD). **Results:** There was no statistical difference in noises of the lung among groups of 80, 100, 120, 140 kV ($F=0.966, P>0.05$). There were statistical differences between groups of 80 kV and 120 kV in noises of the chest wall, soft tissue of spine and aorta, $P<0.05$. The noises of different tissues were statistically different among groups of 80, 100, 120, 180, 240 mA and 300 mA (Lung $F=3.28, P<0.05$; soft tissue of spine $F=11.89, P<0.05$; aorta $F=196.67, P<0.05$). There were statistical differences between 80 mA group and 300 mA group in noises of the lung, chest wall, soft tissue of spine and aorta, $P<0.05$. The noises of the lung, soft tissues of chest wall and spine were not statistically different among groups with different pitches (0.562, 0.938, 1.35 and 1.75). (Lung $F=0.23, P>0.05$; chest wall $F=1.53, P>0.05$; soft tissue of spine $F=2.27, P>0.05$). There were statistical differences in noises of aorta among groups with different pitches, $F=9.68, P<0.05$. **Conclusions:** The noises of different tissues are increasing with the decrease of tube voltage, tube current and increase of pitch, but the increase of noise in the lung is not obviously. The chest scan with low dose can reduce the radiation dose and keep the image quality without obviously increasing the noise in the lung.

【Key words】 phantom; noise; X-ray computer; radiation dosage

噪声是影响图像质量的重要因素,高噪声将影响图像的密度分辨率和空间分辨率,研究表明噪声是影响微小病灶显示的重要因素^[1,2]。物理实验证实扫描参数中 mA 值、kV 值、层厚、扫描时间、重建算法、重建矩阵、重建视野及螺距对 CT 图像噪声均有较大影响^[3,4]。在胸部 CT 检查中肺组织及部分病变的 X 线衰减较肌肉、骨骼等组织低,因此了解胸部 CT 扫描参数与组织噪声的关系,在保持噪声无明显增大的同时降低患者辐射剂量具有非常重要的意义。本实验利用仿真胸部体模研究胸部 CT 低剂量扫描(降低管电压、管电流,增加螺距)时扫描参数与组织噪声相关性,探讨胸部 CT 扫描参数变化对图像质量影响的规律,为胸部 CT 低剂量扫描的参数优化提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 实验对象

本实验采用日本 Kyoto Kagaku 公司生产的“Lungman N1”型多用途男性胸部仿真体模(大小约 43 cm × 40 cm × 48 cm,胸围 94 cm,重约 18 kg),该体模双臂上举与 CT 扫描时患者体位相同。其仿真软组织及骨骼 X 线衰减性与真人等效。体模内部结构可拆卸,包括肺血管(气管、心脏)、纵隔和部分腹部结构(见图 1)。



A. 躯干 B. 肺血管、纵隔等结构

图 1 Lungman N1 型仿真体模

Fig.1 Simulation chest phantom of Lungman N1

1.2 CT 设备及扫描方法

使用 GE 公司 BrightSpeed 16 排螺旋 CT 及 ADW4.2 图像处理工作站。采用不同管电流、管电压及螺距扫描。A 变化管电压:4 组不同管电压,80、100、120 kV 及 140 kV;管电流 300 mA,螺距 0.938 固定不变。B 变化管电流:6 组不同管电流 80、100、120、180、240 mA 及 300 mA;管电压 120 kV,螺距 (Pitch) 0.938 固定不变。C 变化螺距:4 组不同螺距,0.562、0.938、1.375 及 1.75;管电压 120 kV,管电流 300 mA 固定不变。扫描时改变一种扫描参数,其它扫描参数固定不变,层厚 5 mm, X 线管转速 0.5 s/r;扫描范围:从肺尖至肋弓下缘(每次扫描获得 60 幅横断面图像)。对胸部体模进行 CT 平扫;默认标准重建模式,扫描后存储图像。

1.3 图像选择及噪声测量

仿真胸部体模 CT 横断面图像分为 4 个区:肺尖区(肺上界与主动脉弓之间 1/2 处)、主动脉弓水平区、心脏水平区(主动脉弓与肺下界之间 1/3 处)、肺底区(主动脉弓与肺下界 2/

表 1 不同管电压与不同组织结构图像噪声 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.1 Image noise of different tissues at different tube voltages ($\bar{x} \pm s$)							
组织结构	80 kV	100 kV	120 kV	140 kV	n	F值	P值
胸壁软组织	13.62 ± 5.15 ^a	9.002 ± 4.69	6.33 ± 2.89	5.32 ± 1.34	8	4.019	0.034
脊柱旁软组织	27.67 ± 1.36 ^a	13.85 ± 2.79	10.03 ± 1.34	7.05 ± 1.03	8	69.803	0.001
肺	13.08 ± 11.19	9.03 ± 4.86	7.43 ± 2.51	5.87 ± 1.90	8	0.966	0.337
主动脉	10.99 ± 0.73 ^a	7.16 ± 0.60 ^a	5.46 ± 0.32	4.62 ± 0.08 ^a	4	128.079	0.001

注:a,与对照组(120 kV 组)比较,差异有统计学意义,P<0.05

3处),按分区每区各选择1幅图像。在每幅图像的两侧对应胸壁软组织、脊柱旁软组织、肺及主动脉密度均匀区域取ROI 99 mm² 的感兴趣区,测量、记录各区域 CT 值的标准差(Standard deviation,SD)即为 CT 噪声值。

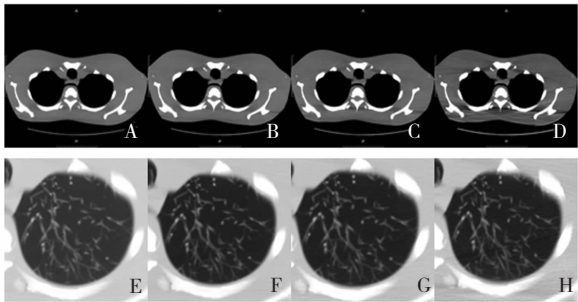
1.4 统计学处理

采用 SPSS 17.0 统计软件进行分析,不同管电压、不同管电流及不同螺距的每组内不同组织结构的 SD 值进行方差分析,分别以常规扫描参数管电压 120 kV、管电流 300 mA 及螺距 0.938 为对照组,采用 Dunnett t 检验进行两两多重比较,P<0.05 有统计学意义。

2 结 果

2.1 不同管电压对组织噪声的影响

不同管电压时测量胸部体模不同组织结构图像噪声(CT 值 SD)见表 1。管电压在 80~140 kV 变化时肺组织、胸壁软组织、脊柱旁软组织及主动脉图像噪声随着管电压增高逐渐降低,但是,肺的噪声不同管电压组间比较差异无统计学意义(P>0.05),胸壁软组织、脊柱旁软组织及主动脉不同管电压组间比较差异均有统计学意义(P<0.05)。以 120 kV 组为对照组,肺的噪声 80、100 kV 及 140 kV 组与 120 kV 组比较无统计学意义(P<0.05);胸壁软组织、脊柱旁软组织及主动脉的噪声 80 kV 组与 120 kV 组的比较,差异有统计学意义(P<0.05)。



A~D分别为管电压 140、120、100、80 kV 纵隔窗肺尖层面,随管电压的降低噪声逐渐明显,80 kV 时软组织噪声及伪影明显;E~H 分别为管电压 140、120、100、80 kV 肺尖层面,随管电压的降低肺噪声变化不明显,80 kV 时在肺野后部噪声略有增加,肺纹理较清晰

图 2 不同管电压体模 CT 图像

Fig.2 Cross-sectional CT images of chest phantom at different tube voltages

2.2 不同管电流对组织噪声的影响

不同管电流时胸部体模不同组织结构图像噪声(CT 值 SD)均随着管电流的增高逐渐降低,胸壁软组织在管电流80~300 mA 组时的噪声比较差异无统计学意义,P>0.05,肺、主动脉及脊柱旁软组织的噪声比较有统计学意义,P<0.05。以常规剂量 300 mA 组为对照组,采用 Dunnett t 检验两两多重比较。肺组织图像噪声 80 mA 组与 300 mA 比较差异有统计学意义(P<0.05);脊柱旁软组织噪声 80 mA 组和 100 mA 组与 300 mA 组比较差异有统计学意义(P<0.05);主动脉噪声随着管电流改变变化较明显,80~180 mA 组与 300 mA 组比较噪声差异均有统计学意义(P<0.05)。见表 2、图 3。

表 2 不同管电流与不同组织结构图像噪声 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 Image noise of different tissues at different tube currents ($\bar{x} \pm s$)				
管电流 (mA)	胸壁软组织	脊柱旁 软组织	肺	主动脉
80	17.64 ± 7.90 ^a	27.58 ± 3.34 ^a	17.92 ± 8.09 ^a	12.02 ± 0.39 ^a
100	15.6 ± 8.38	22.30 ± 7.17 ^a	12.71 ± 6.21	9.87 ± 0.27 ^a
120	10.7 ± 3.93	15.10 ± 4.38	10.22 ± 3.54	8.67 ± 0.15 ^a
180	9.55 ± 5.51	12.02 ± 3.05	7.73 ± 2.23	6.90 ± 0.25 ^a
240	7.18 ± 2.12	10.50 ± 1.89	7.61 ± 2.27	6.09 ± 0.59
300	6.33 ± 2.89	10.03 ± 1.34	7.43 ± 2.51	5.46 ± 0.32
n	8	8	8	4
F值	2.68	11.89	3.28	196.67
P值	0.056	0.001	0.028	0.001

注:a,与对照组(300 mA)比较,差异有统计学意义,P<0.05

2.3 不同螺距对组织噪声的影响

随着螺距的增大胸部组织结构图像的噪声均增大,不同螺距时胸部体模不同组织结构图像噪声结果见表 3。当螺距 0.562~1.75 时肺、胸壁软组织和脊柱旁软组织的噪声无显著变化(P>0.05),主动脉的噪声差异有统计学意义(P<0.05)。螺距 1.75 组与 0.938 组比较,主动脉噪声差异有统计学意义(P<0.05)。

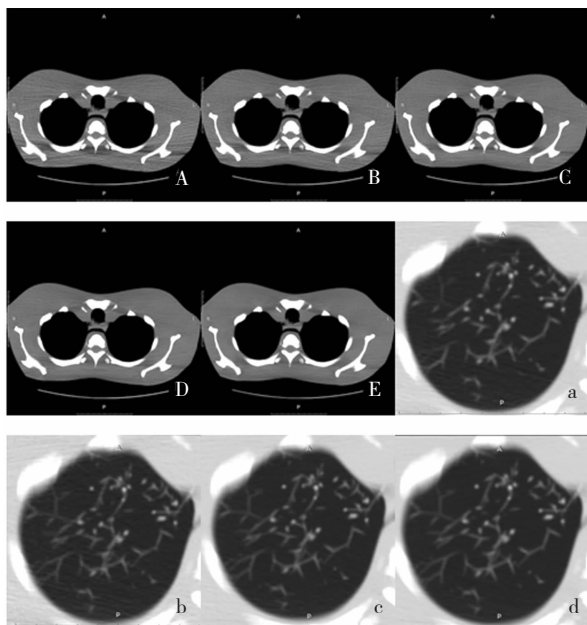
3 讨 论

CT 图像噪声是由于 X 线衰减造成的图像不均匀性,实现低辐射剂量的方法(降低管电压、管电流,增加螺距等)在降低辐射剂量的同时都会增加

表 3 不同螺距与不同组织结构图像噪声 ($\bar{x} \pm s$)Tab.3 Image noise of different tissues at different pitches ($\bar{x} \pm s$)

组织结构	1.75	1.375	0.938	0.562	n	F值	P值
胸壁软组织	13.62 ± 5.15	9.00 ± 4.69	6.33 ± 2.89	5.32 ± 1.34	8	1.53	> 0.05
脊柱旁软组织	27.67 ± 1.36	13.85 ± 2.79	10.03 ± 1.34	7.05 ± 1.03	8	2.27	> 0.05
肺	13.08 ± 11.19	9.03 ± 4.86	7.43 ± 2.51	5.87 ± 1.90	8	0.23	> 0.05
主动脉	10.99 ± 0.73 ^a	7.16 ± 0.60	5.46 ± 0.32	4.62 ± 0.08	4	9.68	< 0.05

注:a,与对照组(0.938组)比较,差异有统计学意义, $P < 0.05$



A~E分别为管电流 80、100、120、180 mA 及 240 mA 纵隔窗肺尖层面,随管电流的增高噪声逐渐降低,80 mA 及 100 mA 时脊柱旁及肩胛骨旁软组织噪声及伪影明显;a~d 分别为管电流 80、100、120、180 mA 肺窗肺尖层面,随管电流的增高肺噪声变化不明显,80 及 100 mA 时在肺野内噪声略有增加,以肺野后部明显,但是肺纹理仍较清晰

图 3 不同管电流体模 CT 图像

Fig.3 Cross-sectional CT images of chest phantom at different tube currents

图像噪声,从而降低图像密度分辨率和空间分辨率。在相同管电流、管电压及螺距时,不同密度组织的噪声不同,图像噪声与探测器接受的有效光子数呈反比,肺组织的 X 线衰减较肌肉、骨骼等组织低,胸部低剂量扫描时受噪声影响相对较小。因此,如何优化扫描方案,在不明显增加图像噪声的同时降低辐射剂量值得关注。

CT 图像噪声通常用均质物质给定区域 CT 值相对于平均值的变异。其大小可用感兴趣区中均质物质的 CT 值的标准偏差来表示。本实验使用等效材料制成的体模进行实验,所测部位为均质区域 CT 值的 SD 值,其能够代表噪声水平。本实验结果显示管电压在 80~140 kV 变化时不同组织图像噪声随着管电压增高逐渐降低,肺组织各管电压组间的噪

声比较差异无统计学意义,胸壁软组织及脊柱旁软组织 80 kV 组噪声及伪影明显增加,与 120 kV 组比较差异有统计学意义, $P < 0.05$ 。当 X 线穿透组织时, X 射线产生衰减,而低能 X 射线更易被吸收,降低管电压时,射线穿透能力降低,因此肌肉软组织随着管电压的降低噪声增加更明显,管电压 100 kV 组与 120 kV 组比较,肌肉软组织及肺组织噪声差异均无统计学意义。目前胸部低剂量 CT 多用降低管电流的方法降低辐射剂量,有研究者^[5-7]认为 100 kV 较 120 kV 图像噪声增加,但图像噪声及图像质量无明显降低。在其他曝光参数不变的情况下,随着管电压的增加患者辐射剂量逐渐增加^[8]。管电压的改变能直接有效的降低辐射剂量,本实验结果显示,当管电压 100 kV 时与 120 kV 比较肺组织、胸壁软组织及脊柱旁软组织噪声差异无统计学意义,管电压 80 kV 组与 120 kV 组比较胸壁软组织及脊柱旁软组织噪声差异有统计学意义,降低管电压至 100 kV 能够保持肺组织噪声变化不大的同时降低辐射剂量。

本研究结果显示管电流在 80~300 mA 时不同组织图像噪声随着管电流的增高逐渐降低。80 mA 组可见脊柱旁及肩胛骨旁软组织噪声及伪影明显,脊柱旁软组织 80 mA 和 100 mA 组与 300 mA 组比较噪声差异有统计学意义, $P < 0.05$ 。管电流降低至 80 mA 时与 300 mA 组比较肺组织噪声差异有统计学意义, $P < 0.05$ 。有研究者^[9-11]观察到图像噪声在肺尖和肺底部最明显,肩胛骨下缘以上的上肺野噪声较下肺野严重,肺野后部较前部严重。在相同扫描条件下图像噪声随不同组织的密度(X 线吸收系数)的增大而增大,密度高的组织噪声较大。当 X 线穿过骨骼等高密度组织后,X 线产生衰减,而低能 X 线更易被吸收,因此,管电流降至 100 mA 时脊柱旁及肩胛骨旁软组织噪声明显增加。由于肺组织密度低,X 线的衰减较低,低剂量扫描时随着管电流的降低肺组织的噪声增加低于较高密度的胸壁软组织和脊柱旁软组织,含气肺组织与肺纹理等肺间质及

肺结节存在很高的天然对比,因此,80 mA 及 100 mA 时在肺野内噪声略有增加,以后部明显,但是肺纹理仍较清晰,胸部扫描管电流为 100 mA 时能够保持肺组织噪声变化不大的同时降低辐射剂量。然而,低剂量扫描肺组织噪声的增加对低密度结节检出率有多大的影响仍需进一步研究。

本研究显示螺距在 0.562、0.938、1.375、1.75 时不同组织图像噪声随螺距的增大逐渐增高,肺组织、胸壁软组织及脊柱旁软组织组间比较差异无统计学意义, $P>0.05$ 。主动脉在螺距 1.75 组与 0.938 组比较差异有统计学意义, $P<0.05$ 。因此螺距在 0.562~1.75 时对不同组织结构图像噪声的影响不大。螺距是扫描机架旋转 360°检查床移动距离与准直器宽度的比值。螺距越大,单位时间内扫描覆盖范围越大,辐射剂量越低,有研究者^[12]发现当螺距增大到 2 时,图像噪声明显增大。有研究者^[13]发现随着螺距的增大,辐射剂量明显降低,而图像噪声无明显增加。本实验结果显示螺距 1.75 与 0.938 比较除主动脉外,其它组织图像噪声差异无统计学意义,因此低剂量扫描时选择较大螺距 1.75 时能够保持肺组织噪声变化不大的同时降低辐射剂量。

综上所述,由于肺组织 X 线衰减系数低,含气肺组织与肺纹理等肺间质及肺结节存在很高的天然对比,实验证实,降低管电压、管电流或增加螺距时,肺组织的噪声增高不明显,因此胸部扫描采用低剂量技术能够保证肺组织噪声变化不大的同时降低辐射剂量。本文通过固定管电流方法探讨胸部 CT 扫描参数与图像噪声变化的相关性,优化胸部低剂量扫描方案,然而图像噪声对肺内小病变的检出有无影响,有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Swense S J, Jett J R, Hartman T E, et al. Lung cancer: interobserver agreement on interpretation of pulmonary findings at low-dose CT screening[J]. Radiology, 2008, 246(1): 265-272.
- [2] Diederich S, Wormanns D, Semik M, et al. Screening for early lung cancer with low-dose spiral CT: prevalence in 817 asymptomatic smokers[J]. Radiology, 2002, 222(2): 773-781.
- [3] 刘景鑫, 杨海山. 螺旋 CT 图像噪声影响因素的实验分析[J]. 中华放射学杂志, 2000, 34(1): 9-12.
- [4] Liu J X, Yang H S. Helical CT image noise: experimental study of influencing factors[J]. Chinese Journal of Radiology, 2000, 34(1): 9-12.
- [5] 余晓镔, 林意群, 杨金城, 等. 不同螺距对螺旋 CT 图像噪声影响的实验研究[J]. 中国医学物理学杂志, 1999, 16(4): 218-219.
- [6] Yu X E, Lin Y Q, Yang J C, et al. Study of different pitch action on image noise in spiral CT[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 1999, 16(4): 218-219.
- [7] Christoph M, Patrick S, Stefan P, et al. Image quality and radiation exposure at pulmonary CT angiography with 100- or 120-kVp protocol: prospective randomized study[J]. Radiology, 2007, 245(2): 577-583.
- [8] Kim M J, Park C H, Choi S J, et al. Multidetector computed tomography chest examinations with low-kilovoltage protocols in adults: effect on image quality and radiation dose[J]. J Comput Assist Tomogr, 2009, 33(3): 416-421.
- [9] 沈进, 阎岚, 韩丹. 100 kV 管电压结合电流自动调节技术肺静脉成像的临床应用[J]. 中国医学科学院学报, 2010, 32(6): 704-708.
- [10] Shen J, Yan L, Han D. Clinical application of pulmonary vein imaging using tube voltage of 100 kV with current automatic regulation technology[J]. Chinese Medical Sciences Journal, 2010, 32(6): 704-708.
- [11] 李华锋, 宋少娟. 医用 X 射线管电压与辐射剂量的关系探讨[J]. 中国辐射卫生, 2010, 19(2): 171-172.
- [12] Li H F, Song S J. Study of the relationship between the voltage of medical X-ray tube and the radiation dose[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2010, 19(2): 171-172.
- [13] 江一峰, 叶剑定, 丁晓毅, 等. 胸部低剂量 CT 图像噪声和伪影分析[J]. 中华放射学杂志, 2010, 44(1): 37-40.
- [14] Jiang Y F, Ye J D, Ding X Y, et al. Image noise and artifact in chest low-dose CT[J]. Chinese Journal of Radiology, 2010, 44(1): 37-40.
- [15] 胡蓉慧, 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): 604-608.
- [16] Hu R H, Song G Y, Han D, et al. Evaluation of pulmonary nodules using low dose spiral CT[J]. Radiologic Practice, 2005, 20(7): 604-608.
- [17] Diederich S, Lenzen H, Windmann R, et al. Pulmonary nodules: experimental and clinical studies at low-dose CT[J]. Radiology, 1999, 213(1): 289-298.
- [18] 陈伟, 李文政, 唐友林. 螺旋 CT 图像噪声的评价[J]. 放射学实践, 2003, 18(7): 535-536.
- [19] Chen W, Li W Z, Tang Y L. Assessment of image noise in spiral CT[J]. Radiologic Practice, 2003, 18(7): 535-536.
- [20] Stephan B, Hatem A, Paul S, et al. Computed tomography of the lung in the high-pitch mode: is breath holding still required[J]? Invest Radiol, 2011, 46(4): 240-245.

(责任编辑: 关蕴良)