

新一代基于模型的迭代算法在胸部低剂量 CT 筛查中的应用

左秀娟, 贺太平, 张开元, 贾永军, 马光明, 王咪

【摘要】 目的:探讨新一代基于模型的迭代重建(MBIRn)中肺特异性设置(MBIR NR40 和 MBIR RP20)在低剂量胸部 CT 图像质量的临床应用价值。**方法:**前瞻性搜集胸部 CT 低剂量筛查患者 30 例, 采用肺和标准算法 ASIR40%、MBIRn 中的肺特异性设置(MBIR NR40 和 MBIR RP20)3 种算法重建图像, 比较 3 组图像的客观质量(感兴趣区 CT 值、信噪比)以及 MBIR NR40 和 MBIR RP20 相对于标准算法 ASIR40% 的噪声降低率和 SNR 提高率。在肺算法 ASIR40%、MBIR NR40 和 MBIR RP20 评价肺内结构, 在标准算法 ASIR40%、MBIR NR40 和 MBIR RP20 评价纵隔结构, 由两名放射科医师采用双盲法阅片对图像质量进行主观评价。**结果:**与标准算法 ASIR40% 相比, MBIR NR40 和 MBIR RP20 两种算法的图像肌肉噪声分别较 ASIR40% 降低 80.78%、37.27%, 脂肪噪声分别较 ASIR40% 降低 69.27%、23.69%, 差异具有统计学意义($P < 0.05$)。MBIR NR40 和 MBIR RP20 两种算法图像肌肉 SNR 分别较 ASIR40% 组提高 81.80%、37.64%, 脂肪 SNR 分别较 ASIR40% 组提高 72.98%、24.95%, 差异具有统计学意义($P < 0.05$)。三种算法图像在主观噪声、肺内血管及支气管清晰度、纵隔内血管及淋巴结中评分均有统计学差异, 其中 MBIR NR40 主观噪声最低, 纵隔内结构显示最清晰, MBIR RP20 肺内血管及支气管显示最清晰。**结论:**在低剂量胸部 CT 条件下, 与 ASIR40% 相比, MBIR 组能明显提高图像质量, 其中 MBIR RP20 显示肺部结构最优。MBIR NR40 可明显降低图像噪声, 提高纵隔内结构显示清晰度。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 计算机模拟; 统计计算; 辐射剂量

【中图分类号】 R814.42; R319; R195 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2018)10-1082-05

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.10.021

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application value of a new generation model-based iterative algorithm in low dose chest CT screening

ZUO Xiu-juan, HE Tai-ping, ZHANG Kai-yuan, et al. Department of Radiology, Honghui Hospital, Xi'an Jiaotong University, Shanxi 710054, China

【Abstract】 Objective: To investigate the clinical value of lung specific settings (MBIR NR40 and MBIR RP20) in low-dose chest CT image quality in a new generation of model-based iterative reconstruction (MBIRn). **Methods:** The objective image quality the three groups (the value of CT in the region, the signal-to-noise ratio) and MBIR NR40 and MBIR RP20 relative to ASIR40% noise reduction rate and the increase rate of SNR were compared. And pulmonary structure was evaluated in lung algorithm of ASIR40%, MBIR NR40 and MBIR RP20, the mediastinal structure was evaluated in the standard algorithm of ASIR40%, MBIR NR40 and MBIR RP20. The subjective quality of the images was evaluated via double blind scanning method by two radiologists. **Results:** Compared with the standard algorithm ASIR40%, the image muscle noise of MBIR NR40 and MBIR RP20 decreased by 80.78% and 37.27%, and the image fat noise was 69.27% and 23.69% lower than ASIR40%, respectively. The difference was statistically significant ($P < 0.05$). The SNR of MBIR NR40 and MBIR RP20 were increased by 81.80% and 37.64%, respectively, and the SNR of fat was increased by 72.98% and 24.95%, respectively; and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). Among them, MBIR NR40 has the lowest subjective noise, the most clear structures in the mediastinum and the most clear blood vessels and bronchi in the lungs of MBIR RP20. **Conclusion:** MBIR NR40 can sig-

作者单位: 712046 陕西咸阳, 陕西中医药大学附属医院; 710054 西安, 西安市红会医院(左秀娟); 712046 陕西咸阳, 陕西中医药大学附属医院(贺太平、张开元、贾永军、马光明、王咪)

作者简介: 左秀娟(1992-), 女, 陕西铜川人, 硕士研究生, 住院医师, 主要从事胸部和神经系统影像诊断研究工作。

通讯作者: 贺太平, E-mail: 983891399@qq.com

nificantly reduce image noise and improve the clarity of the structure display in the mediastinum.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Computer simulation; Statistical computing; Radiation dosage

随着多层螺旋 CT 技术的不断的改进与完善, CT 平扫已成为胸部早期筛查最常用的检查方法。然而, CT 检查的辐射剂量显著高于传统的 X 线检查, 这就在一定程度上限制了 CT 的应用。随着辐射剂量不断降低, 图像噪声会越来越大, 图像质量不断下降以致于无法满足诊断要求。新一代的多模型迭代重建技术(model-based iterative reconstruction, MBIR)在极低剂量的条件下可以显著降低图像噪声, 改善图像质量^[1]。本研究的目的是比较采用自适应性统计迭代算法(adaptive statistical iterative reconstruction, ASIR)和 MBIR_n 中肺特异性设置(MBIR NR40 和 MBIR RP20)3 组低剂量胸部 CT 图像的质量, 探讨新一代基于模型的迭代重建(MBIR_n)中肺特异性设置(MBIR NR40 和 MBIR RP20)在低剂量胸部 CT 图像质量的临床应用价值。

材料与方法

1. 一般资料

前瞻性搜集 2016 年 4—12 月查体患者 30 例, 其中男 17 例, 女 13 例。年龄 31~77 岁, 平均年龄(57.8±14.9)岁, 中位年龄 40 岁, 所有患者的体质量指数(BMI)在正常范围(18.5 kg/m²≤BMI<25 kg/m²)。

2. 检查方法

采用 GE Discovery CT750 HD(HDCT)扫描机行胸部 CT 平扫, 自动管电流调制技术, 管电压为 120 kVp, 噪声指数(noise index, NI)为 28 HU, 旋转时间 0.6 s, 螺距 1.375, 层厚 5 mm。

3. 图像处理与分析

由能谱 CT 扫描结束后, 分别采用 ASIR40% 和 MBIR_n 中肺特异性设置(MBIR NR40 和 MBIR RP20)3 种重建算法对原始数据进行重建, 层厚为 0.625 mm。

客观评价: 分别在胸廓入口层面、气管隆突下层面和上腹肝门层面进行测量标准算法 ASIR40% 和 MBIR NR40 和 MBIR RP20 三组图像中背部肌肉、皮下脂肪 CT 值和标准差(standard deviation, SD), SD 代表图像噪声, 感兴趣区(region of interest, ROI)大小为 50~200 mm², 计算背部肌肉、皮下脂肪的信噪比(signal noise ratio, SNR), SNR=CT 值/SD 值。计算 MBIR_n 中的肺特异性设置(MBIR NR40 和 MBIR RP20)相对于 ASIR40% 的噪声降低率和 SNR 提高率。噪声降低率=(SD ASIR 40% - SDMRIR_n)/

SDASIR40%, n = NR40 或 RP20, SNR 提高率=(SNRMRIR_n - SNR ASIR 40%)/SNRMRIR_n, n = NR40 或 RP20。各参数重复测量 3 次, 取均值。

主观评价: 由两名副高级及以上职称放射科医生分别在肺算法 ASIR40%、MBIR NR40 和 MBIR RP20 评价肺内结构, 在标准算法 ASIR40%、MBIR NR40 和 MBIR RP20 评价纵隔结构, 评分标准分为: ①主观图像噪声, 分为 5 级(1 分=噪声过重, 完全无法接受, 2 分=噪声较重, 但尚可接受, 3 分=中等噪声, 4 分=噪声较轻, 5 分=噪声较微); ②肺内结构(支气管及肺血管)和纵隔内结构(血管和淋巴结)清晰度分为 5 级(1=无法接受的可视程度, 2=欠佳的可视程度, 3=可接受的可视程度, 4=超过平均水平, 5=出色的可视)[2]。

4. 电离辐射剂量记录

容积 CT 剂量指数(CT dose index of volume, CTDI)、剂量长度乘积(dose length product, DLP)算有效剂量(effective dose, ED), ED=DLP×k, 其中 k 为胸部扫描转换因子(0.014)^[3]。

5. 统计学方法

采用 SPSS22.0 统计软件分析, 计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示, 对数据行单样本 K-S 检验检验其正态性, 对数据采用 leven 检验方差齐性。各重建算法的客观参数呈正态分布且方差齐时采用单因素方差分析, 两两比较采用 LSD-t 检验比较, 否则采用 Kruskal Wallis 非参数检验。主观结果的一致性检验采用 wilcoxon 符号等级检验。以 P<0.05 为差异有统计学意义。

结果

1. 电离辐射剂量

本组低剂量胸部扫描 CTDI_{vol} 为(1.84±1.74) mGy, DLP 为(66.25±61.50) mGy/cm, 平均有效电离辐射为(0.88±0.86) mSv。

2. 图像质量定量分析

三组薄层重建图像背部肌肉、皮下脂肪的 SD 和 SNR 见表 1、2。3 组图像中 ASIR40% 噪声最大, SNR 最低; MBIR NR40 图像噪声最低, SNR 最高。MBIR_n 中的肺特异性设置(MBIR NR40 和 MBIR RP20)相对于 ASIR40% 的噪声降低率和 SNR 提高率(图 1)。

3. 图像质量定性分析

两名副高及以上职称放射科医生对 30 例肺部

CT平扫病例采用ASIR40%、MBIR NR40和MBIR-RP20 3种重建算法所得图像的定性评价具有良好一致性,重建算法影响图像噪声、图像对比度、细微结构可视程度见表3:ASIR40%噪声最大,部分解剖细节不能显示;MBIR NR40主观噪声最低,纵隔内结构显示最清晰,MBIR RP20肺内血管及支气管显示最清晰(图2)。

讨论

近年来,CT辐射剂量存在的潜在危害越来越受到关注,尤其对于体检患者。图像质量与电离辐射剂量有关,采用较高的辐射剂量可以获得高质量的图像,但当噪声非常低时,继续增大辐射剂量,所得到的图像质量改善并不明显^[4]。由于肺和纵隔具有良好的天然密度对比,胸部就成为低辐射剂量螺旋CT最佳应用部位^[5]。美国CT的检查数量只占有X线成像

技术的11%,但其所带来的辐射剂量却占有所有医疗成像辐射剂量的2/3以上。据测算,常规胸部CT辐射剂量大约是胸部X线片的10~100倍^[6]。本研究前瞻性搜集低辐射剂量胸部CT平扫的体检患者30例(噪声指数28),比较自适应统计迭代重建(ASIR)、新一代基于模型的迭代重建(MBIRn)中肺特异性设置(MBIR NR40和MBIR RP20)3种重建技术在胸部低辐射剂量CT筛查图像质量。

自适应统计迭代算法ASIR技术利用系统噪声模型消除图像噪声,考虑到焦点、体素和探测器的实际几何大小,通过对X线生成和检测过程进行精确的数学模型建立,在迭代计算的过程中反复加以校正,降低了图像噪声,弥补滤波反投影法(filtered back projection,FBP)的不足,同时可降低辐射剂量,已被临床认可并得到广泛应用^[7]。ASIR的权重设置可以将FBP数据和ASIR数据按不同比例加权融合,从0%到100%不等(间距10%)的混合图像。文献报道随着0%ASIR~100%ASIR权重不断增加,图像的噪声、伪影均依次减少,图像分辨率不断提高,图像主观质量评分曲线呈抛物线形态,其中以40%~60%ASIR重建图像质量评分最高^[8]。本研究采用ASIR40%权重进行研究。

①

MBIR是对体素、X射线光子初始位置和探测器几何因素进行模拟,真实地还原射线发射、吸收和信号采集的全过程,通过迭代方法从每一个独立数据点的水平将统计噪声和光学模糊效应从原始数据空间中不断去除,比FBP和ASIR更能反映CT系统的真实情况,在重建图像上更为准确地还原扫描信息。孙记航等^[9]搜集80kVp下41例儿童患者的CTA进行MBIR、30%ASIR及FBP重建,得出MBIR图像质量明显高于ASIR及FBP图像。Miéville等^[10]对20例平均11.4岁患有肺囊性纤维化的儿童研究发现,MBIR在一个很小的辐射剂量的情况下仍能保持低的图像噪声和高的信噪比,同时MBIR还能观察到胸膜下血管和肺裂这些FBP不能观察到的微小结构。以上研究均是基于初始版本

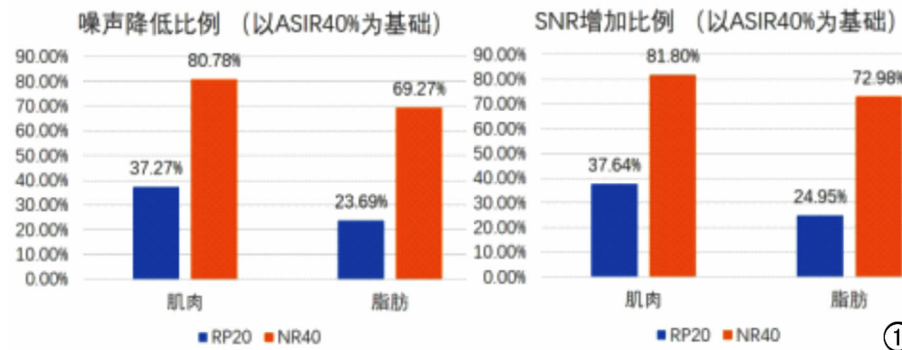


图1 两种重建算法相对于ASIR40%的噪声降低率和SNR提高率(%)

表1 三种重建算法在胸廓入口、气管隆突下和上腹部背部肌肉、皮下脂肪平均噪声的比较

重建算法	ASIR40%	MBIR NR40	MBIR RP20	F/Z值	P值
气管隆突下					
肌肉	49.54±10.50	9.83±3.11	29.97±4.59	77.58 [#]	0.000
脂肪	34.38±6.89	11.20±4.96	27.84±5.26	61.23 [#]	0.000
胸廓入口					
肌肉	44.47±13.01	8.67±1.93	28.75±3.58	74.59 [#]	0.000
脂肪	33.00±9.12	11.81±8.82	27.43±7.92	48.52 [*]	0.000
上腹部					
肌肉	51.75±7.62	9.52±1.85	32.92±4.55	78.09 [#]	0.000
脂肪	41.68±7.44	10.51±6.33	27.96±5.15	179.85 [*]	0.000

注: * 单因素方差分析; [#] 非参数检验; 3种重建算法两两比较(P<0.05)。

表2 三种重建算法在胸廓入口、气管隆突下和上腹部SNR的比较

重建算法	ASIR40%	MBIR NR40	MBIR RP20	F/Z值	P值
气管隆突下					
肌肉	1.13±0.27	6.25±1.97	1.89±0.37	74.52 [#]	0.000
脂肪	-4.23±1.06	-14.18±5.01	-5.21±1.23	57.45 [#]	0.000
胸廓入口					
肌肉	1.32±0.41	6.91±1.86	2.01±0.38	71.17 [#]	0.000
脂肪	-4.06±2.40	-13.97±3.82	-5.34±1.08	57.18 [#]	0.000
上腹部					
肌肉	0.87±0.18	5.13±1.36	1.44±0.35	74.35 [#]	0.000
脂肪	-3.36±0.80	-14.94±4.93	-4.98±1.10	63.97 [*]	0.000

注: * 单因素方差分析; [#] 非参数检验; 3种重建算法两两比较(P<0.05)。

表 3 三种算法重建图像质量主观评分比较

组别	低剂量各重建图像评分分布人数			ASIR40%与 MBIRRP20		MBIRRP20与 MBIR NR40	
	ASIR40%	MBIR NR40	MBIRRP20	Z 值	P 值	Z 值	P 值
主观图像噪声(0/1/2/3/4/5)							
医师甲	(0/4/26/0/0)	(0/0/0/3/22/5)	(0/0/0/17/11/2)	-4.905	0.00 [#]	-3.022	0.00 [#]
医师乙	(0/6/24/0/0/0)	(0/0/0/5/20/5)	(0/0/0/16/12/2)	-4.872	0.00 [#]	-2.711	0.00 [#]
肺内结构(支气管及肺血管)清晰度(0/1/2/3/4/5)							
医师甲	(0/2/17/11/0/0)	(0/0/0/22/7/1)	(0/0/0/6/21/3)	-4.505	0.00 [#]	-3.800	0.00 [*]
医师乙	(0/3/20/7/0/0)	(0/0/0/19/9/2)	(0/0/0/7/19/4)	-4.560	0.00 [#]	-2.746	0.00 [*]
纵隔内结构(血管和淋巴结)清晰度(0/1/2/3/4/5)							
医师甲	(0/2/6/22/0)	(0/0/1/17/9/3)	(0/0/8/16/6/0)	-1.438	0.00 [#]	-2.484	0.00 [#]
医师乙	(0/2/10/18/0/0)	(0/0/4/14/9/3)	(0/0/7/15/8/0)	-2.879	0.00 [#]	-1.890	0.00 [#]

MBIR 的研究,新一代基于模型的重建算法 MBIRn 支持重建 25 种类型的图像;标准,降噪设置 5(noise reduction, NR 5),降噪设置 40(noise reduction 40, NR 40),提高空间分辨率的 resolution preference MBIR 分别代表空间分辨率的 5% 和 20% 等^[11]。本研究表明 MBIR 可显著降低图像噪声,提高信噪比,更清晰显示扫描范围内的细节结构和病变边缘特征,并以 MBIR-RP20 和 MBIR-NR40 评估了新版本的 MBIR 的图像质量。MBIR-NR40 为 MBIR 中降噪能力最强的设置,但却牺牲少量空间分辨率。对于图像噪声,本研究显示与 ASIR40% 相比,MBIR NR40 和 MBIR RP20 两种算法图像肌肉 SNR 分别较 ASIR40% 组提高 440.71%、58.41%,脂肪 SNR 分别较 ASIR40% 组提高 264.84%、30.99% (P 均 < 0.05)。MBIR NR 40 的噪声最低,SNR 最高。在主观评价上,MBIR RP20 的对细微结构可视程度比 MBIR NR 40 和 ASIR40%

更敏锐,对肺内末梢小血管及支气管、淋巴结边缘情况显示最佳,与 Yasaka 等^[11] 研究结果基本一致。

本研究的不足之处在于①样本量较小,可能存在选择偏倚,在今后的研究中将加大样本量;②尚未研究 MBIR 及不同扫描层厚对图像质量的影响,这些将在后续研究中加以改进和完善;③虽然主观评价采用盲法和随机化,但各种重建算法图像存在一定程度的特点,这可能导致观察者评分偏见;④MBIR 技术重建时间较长,目前尚未常规应用于临床^[12]。

综上所述,在低剂量胸部 CT 扫描的条件下,相比 ASIR40% 组,MBIR 组能明显提高图像质量,具有进一步降低扫描剂量的潜力,其中 MBIR NR40 主观噪声最低,纵隔内结构显示最清晰,MBIR RP20 肺内血管及支气管显示最清晰。

参考文献:

[1] 张超,李小虎,丁倩芸,等.迭代重建技术在临床低剂量腹部 CT 扫

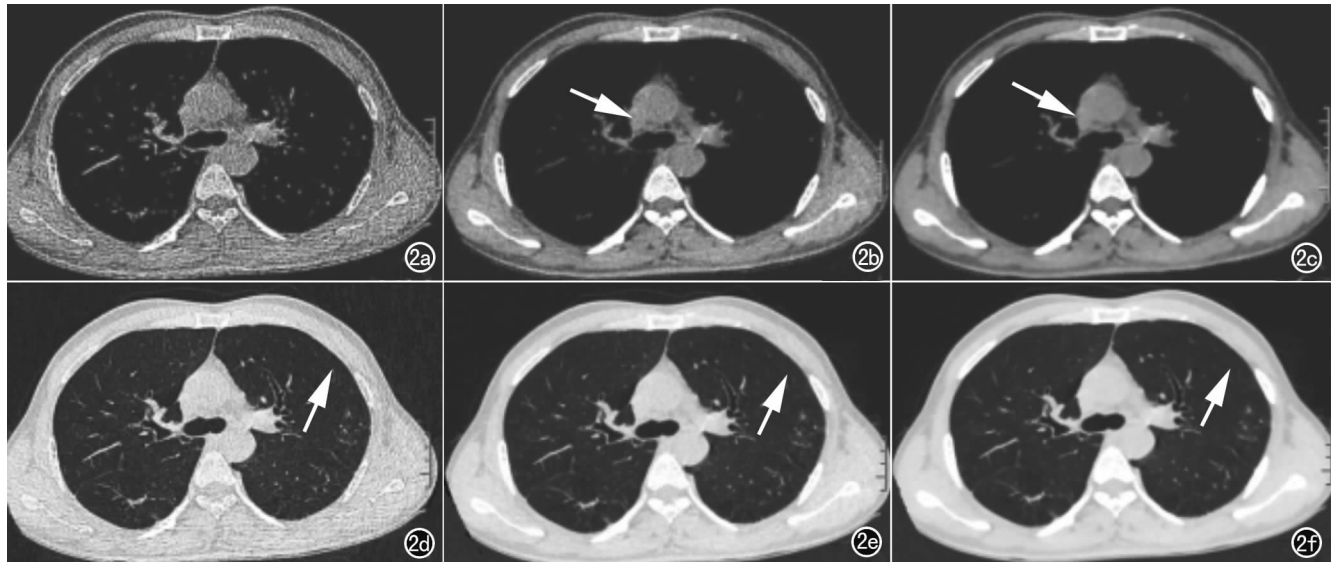


图 2 男,43 岁,体检未见明显异常,图示为 3 种重建算法获得薄层轴面图像(层厚均为 0.625mm),用软件的 compare 功能保证 3 幅图像在同一层面,箭示纵隔下淋巴结,肺血管远端细小分支。a) ASIR40% 肺窗。噪声最大,图像颗粒感强,SNR 最低,纵隔内淋巴边缘显示不清; b) MBIR RP20 肺窗。噪声较低,SNR 较高,纵隔内淋巴结边缘隐约可见; c) MBIR NR40 肺窗。噪声最小,图像细腻、光滑,SNR 最高,纵隔内淋巴结的边缘清晰可见; d) ASIR40% 纵膈窗。胸膜下血管显示不清; e) MBIR RP20 纵膈窗。胸膜下血管清晰可见; f) MBIR NR40 纵膈窗。胸膜下血管隐约可见。MBIR RP20 组具有最高空间分辨率,MBIR NR40 组具有最小噪声及最大 SNR。

- 描中的应用进展[J]. 中国临床医学影像杂志, 2014, 25(2): 117-119.
- [2] 何健, 周科峰, 杨尚文, 等. ASIR 或 MBIR 算法重建颈部 CT 图像质量总是优于 FBP 吗? [J]. 医学影像学杂志, 2014, 24(3): 424-428.
- [3] 沈合松, 王馨华, 罗明月, 等. 640 层 CT 医学冠状动脉造影 AIDR 3D 重建算法的图像质量及辐射剂量评价[J]. 重庆医学, 2015, 44(10): 1358-1361.
- [4] 李锋坦, 李东, 张云亭. 管电压对 CT 值测量、辐射剂量及图像质量影响的模型研究[J]. 中华放射学杂志, 2013, 47(5): 458-461.
- [5] 范丽, 刘士远, 蒋涛, 等. 2013 年度呼吸系统 CT 研究进展[J]. 肿瘤影像学, 2013, 22(4): 343-349.
- [6] Jackson FI. Rights, roles, and relationships in radiology[J]. Radiology, 1987, 165(1): 288-289.
- [7] 董继伟. CT 迭代重建技术原理及其研究进展[J]. 中国医学装备, 2016, 13(10): 128-133.
- [8] 赵晶, 徐飞, 李晓璐, 等. 不同水平的自适应统计迭代重建 (ASiR) 算法在能谱 CT 门静脉成像中的图像质量比较[J]. 临床放射学杂志, 2016, 35(2): 282-287.
- [9] 孙记航, 于彤, 段晓岷, 等. 基于模型的迭代重建算法优化低管电压儿童胸部 CTA 图像质量[J]. 中国医学影像技术, 2015, 31(2): 302-305.
- [10] Miéville FA, Berteloot L, Grandjean A, et al. Model-based iterative reconstruction in pediatric chest CT: assessment of image quality in a prospective study of children with cystic fibrosis[J]. Pediatr Radiol, 2013, 43(5): 558-567.
- [11] Yasaka K, Katsura M, Hanaoka S, et al. High-resolution CT with new model-based iterative reconstruction with resolution preference algorithm in evaluations of lung nodules: Comparison with conventional model-based iterative reconstruction and adaptive statistical iterative reconstruction[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(3): 599-606.
- [12] 葛东泉, 耿海. 低剂量 CT 迭代重建技术及低浓度对比剂的应用进展[J]. 放射学实践, 2015, 30(10): 1001-1004.

(收稿日期: 2017-08-30 修回日期: 2018-03-19)

《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, 创刊至今已 33 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。