

论 著

两种基于模型迭代重建算法在腹部低剂量CT中的应用

1. 陕西中医药大学附属医院影像科

(陕西 咸阳 712000)

2. 陕西中医药大学

(陕西 咸阳 712046)

樊秋菊^{1,2} 郭炎兵^{1,2} 张兆国^{1,2}师卫华¹ 张兰欣¹ 谷春雨¹杨创勃^{1,2}

【摘要】目的 以腹部常规剂量40%ASIR重建来评价两种基于模型迭代重建算法(MBIR_{STND}与MBIR_{NR40}) 在低辐射剂量扫描时的图像质量及辐射剂量减低率。**方法** 连续纳入接受腹部增强复查的患者20例,首次检查行常规剂量(NI=10)扫描并ASIR40%重建;复查时,采用低剂量扫描(NI=20),并采用MBIR_{STND}与MBIR_{NR40}重建。客观测量图像噪声值(SD)和CT值,计算SNR、CNR,比较各参数之间差异;由2名医师对通图像进行主观评分,包括图像锐利度、噪声、伪影和诊断接受度,并进行对比分析。记录每例患者每次检查的剂量长度乘积(DLP)和CT剂量指数(CTDI_{vol}),计算剂量减低率。**结果** 对于腹部脏器,低剂量MBIR_{STND} (NI=20)图像与常规剂量40%ASIR (NI=10)在图像噪声(SD)、信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR)方面无统计学差异($P>0.05$),低剂量MBIR_{STND}、MBIR_{NR40}重建比40%ASIR图像有更低伪影和噪声,MBIR_{NR40}图像SNR、CNR最高,主观评价结果更佳($P<0.05$)。低剂量扫描的DLP值和CTDI_{vol}值分别为(95.56 ± 47.17)mGy*cm和(3.04 ± 1.48)mGy,而常规剂量ASIR 40%重建的DLP值和CTDI_{vol}分别为(376.39 ± 160.40)mGy*cm和(12.16 ± 5.18)mGy,辐射剂量减低约75%。**结论** 相比常规剂量扫描(NI=10)ASIR40%重建,低剂量扫描(NI=20)MBIR_{STND}、MBIR_{NR40}重建在扫描辐射剂量降低75%的情况下,能有效降低噪声,提高图像SNR及CNR。

【关键词】 体层摄影术; X线计算机; 低剂量; 迭代重建

【中图分类号】 R816.5

【文献标识码】 A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2019.02.031

通讯作者: 杨创勃

Dose Reduction and Image Quality Improvement Potential in Abdominal CT with Model-based Iterative Reconstruction Algorithm with Two Different Pre-settings

FAN Qiu-ju, GUO Yan-bin, ZHANG Zhao-guo, et al.. Department of Imaging, the Affiliated Hospital of Shaanxi University of Traditional Chinese Medicine, Xianyang 712000, Shaanxi Province, China

[Abstract] Objective To evaluate the dose reduction and image quality potential in abdominal low-dose CT reconstructed with model-based iterative reconstruction (MBIR) with two different pre-settings (MBIR_{STND} and MBIR_{NR40}), in comparison with the state-of-the-art adaptive statistical interactive reconstruction (ASIR) in routine-dose CT. **Methods** Twenty patients underwent two contrast-enhanced abdominal CT scans within two weeks on a 64-slice CT (Discovery CT750HD) with standard-dose (noise index=10HU) and low-dose (noise index=20HU) in the follow-up scan. The routine-dose CT was reconstructed with ASIR40 (40% ASIR and 60% FBP mix) and the low-dose CT was reconstructed with both the ASIR40 and the two types of MBIR algorithms. Two radiologists assessed the images blindly according to the sharpness, image noise, diagnostic acceptability and artifacts with 5-point scoring. Image noise, signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) of abdominal organs relative to erector spinae were assessed. The volume CT dose index (CTDI_{vol}), dose-length product (DLP) and dose reduction rate were also determined. **Results** CTDI_{vol} and DLP for the low-dose CT were (95.56 ± 47.17)mGy*cm and (3.04 ± 1.48)mGy, respectively, compared with (376.39 ± 160.40)mGy*cm and (12.16 ± 5.18)mGy in the routine-dose CT with 75% reduction ($P<0.001$). Low-dose (NI=20HU) MBIR images with MBIR_{STND} setting had similar image noise, SNR and CNR as the routine-dose (NI=10HU) ASIR40 images (all $P>0.05$). On the other hand, the low-dose MBIR images with MBIR_{NR40} setting further improved image quality with higher image quality score, reduced image noise and improved SNR and CNR compared with the routine-dose ASIR40 images (all $P<0.001$). **Conclusion** MBIR significantly reduced image noise and improved SNR and CNR even at 75% dose reduction, compared with the routine-dose, state-of-the-art ASIR images.

[Key words] Tomography, X-ray Computed; Low Dose; Reconstruction

螺旋CT作为临床工作最常见的检查方法,如何在保证图像质量的前提下降低其辐射剂量是近年来影像专业关注的热点问题^[1]。研究^[2-4]表明,与传统滤波反投影算法(filtered back projection, FBP)相比,多种迭代重建(iterative reconstruction, IR)算法能够在保持图像质量的前提下,大幅度降低辐射剂量。目前临床应用的重建算法中,基于模型迭代重建算法(model-based iterative reconstruction, MBIR)是新一代重建算法^[5],相比自适应迭代重建,能够有效提高图像密度分辨率、降低硬化伪影,同时降低辐射剂量。本研究以自适应迭代重建算法40%ASIR为基础,对比新一代基于模型迭代重建算法MBIR_{STND}、MBIR_{NR40}在腹部低辐射剂量扫描时的图像质量优劣及辐射剂量减低率。

1 材料与方法

1.1 一般资料 收集本院2016年9月到2017年8月之间腹部增强病例32例,所有患者均为临床需要腹部增强复查患者,前后两次复查时

间间隔不超过三个月,所有患者签署知情同意书。其中未能复查者及前后因病情进展图像变化较大者予以排除,保留20例患者用于本研究。其中肝脏转移瘤8例,原发性肝癌3例,肝脏结节复查2例,胰腺癌3例,胃癌患者1例,淋巴瘤患者2例,胆囊癌患者1例。男性患者11例,女性患者9例,平均年龄(57.3 ± 13.7)岁(35-80岁),体重(64.4 ± 11.7)Kg(42-78Kg)。

1.2 扫描与重建 所有患者均采用GE Discovery CT750 HD 宝石能谱CT进行扫描,扫描前患者除去腹部金属物品,饮水500-1000mL,进行呼吸、屏气训练。扫描时患者取仰卧位,双手上举置于头顶,吸气后屏气扫描,扫描范围自膈顶至耻骨下缘水平。层厚、层间距均为5.0mm,转速0.6秒/转,螺距1.375:1,准直器宽度 64×0.625 mm,采用120kVp管电压、自动曝光控制技术(Auto mA),预设噪声指数(noise index, NI)控制管电流。造影剂使用碘佛醇350mg/mL,按每公斤体重450mg碘含量计算用量,静脉团注5mL/s,打药后分别在40s、70s、180s进行动脉期、门脉期及延迟期扫描。首次检查时行常规辐射剂量(NI=10)扫描,并40%ASIR算法重建出延迟期0.625mm薄层图像,复查时延迟期采用低剂量(NI=20)方案扫描,分别重建MBIR_{STND}与MBIR_{NR40}薄层图像,然后分别进行对比分析。记录前后两次扫描的剂量长度乘积(DLP)和CT剂量指数(CTDI_{VOL})。

1.3 图像评价

1.3.1 客观评价:将先后两次扫描数据重建薄层图像后,由一名放射医师使用AW4.6工作站,选取肝门、脾门及右侧竖脊肌同一层面、同一位置放置ROI,测量

相应CT值及噪声(SD)值,测量三次取平均值,计算各组重建图像肝脏、脾脏和肌肉的SNR($\text{SNR}_{\text{肝}} = \text{CT值}_{\text{肝}} / \text{SD值}$)、CNR [$\text{CNR}_{\text{肝}} = (\text{肝CT值} - \text{肌肉CT值}) / \text{肌肉SD值}$]。比较常规剂量(NI=10)40%ASIR图像与低剂量(NI=20)MBIR_{STND}、MBIR_{NR40}图像的SD值、SNR及CNR,结果以($\bar{x} \pm s$)表示。

1.3.2 主观评价:由两名高年资放射医师以常规剂量40%ASIR图像为基准,以盲法、随机从图像锐利度、噪声、伪影及诊断接受度对低剂量组重建图像以5分法^[6]进行分别主观评分。1分:低剂量图像明显差于常规剂量图像;2分:低剂量图像略差于常规剂量图像;3分:低剂量图像与常规剂量图像相当;4分:低剂量图像略优于常规剂量图像;5分:低剂量图像明显优于常规剂量图像。当两名医师对评分结果不一致时,由第三位高年资医师进行最终评分。

1.3.3 辐射剂量:保证前后两次扫描范围一致,记录每例患者每次检查的延迟期扫描剂量长度乘积(DLP)和CT剂量指数(CTDI_{VOL}),计算辐射剂量减低率。

1.4 统计学分析 采用SPSS 22.0统计学分析软件,对不同算法重建图像的SD值、SNR和CNR进行单因素方差分析,用LSD-t检验进行两两比较。两名医师评分结果一致性采用Kappa检验, $Kappa \leq 0.4$ 为一致性差; $0.4 < Kappa \leq 0.75$ 为一致性中等; $Kappa > 0.75$ 为一致性好。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。两名医师对不同重建方法的图像的主观评分以中位数(第一百分位数,第三百分位数)表示,结果使用Friedman等级变量分析。

2 结果

2.1 低剂量MBIR_{STND}图像与常规剂量40%ASIR图像之间SD值、SNR和CNR之间差异无统计学意义, $P > 0.05$ 。常规剂量40%ASIR、低剂量MBIR_{STND}、MBIR_{NR40}图像之间SD值依次减低,SNR和CNR依次增高,MBIR_{NR40}图像噪声最小,SNR及CNR值最高,差异具有统计学意义($P < 0.01$)。如表1。

2.2 两名医师对不同重建算法图像质量主观评分一致性好(Kappa值为0.813, $P < 0.001$)。常规剂量40%ASIR主观评分为3(3, 4),低剂量MBIR_{STND}主观评分为3(3, 4),MBIR_{NR40}主观评分为4(4, 5)。常规剂量40%ASIR与低剂量MBIR_{STND}图像主观评分无统计学差异(调整后 $P=1$),常规剂量40%ASIR与MBIR_{NR40}图像主观评分差异具有统计学差异(调整后 $P=0.008$),低剂量MBIR_{STND}与MBIR_{NR40}图像主观评分差异亦具有统计学差异(调整后 $P=0.01$)如图1-4。

2.3 首次常规剂量扫描延迟期DLP为(376.39 ± 160.4)mGy*cm,CTDI_{VOL}为(12.16 ± 5.18)mGy,复查时低剂量扫描DLP与CTDI_{VOL}分别为(95.56 ± 47.17)mGy*cm、(3.04 ± 1.48)mGy, DLP与CTDI_{VOL}分别降低74.6%、74.8%, $P < 0.01$ 。

3 讨论

1990年Naidich等^[7]首先提出低剂量CT扫描,从最开始的优化扫描程序、降低管电压、自动调整管电流等多种单纯降低扫描条件,到目前改进原始数据重建算法,越来越多的低剂量扫描方案及重建算法已被研究出来并投入使用^[8]。例如GE的ASIR、Philips

表1 各种重建算法之间多参数比较

	脏器	NI=10	NI=20		P值		
			ASIR40%	MBIR-STND	MBIR-NR40	MBIR-STND (NI=20)	MBIR-NR40 (NI=20)
						vs ASIR40% (NI=10)	vs ASIR40% (NI=10)
SDn	肝脏	13. 68 ± 3. 05	12. 88 ± 1. 90	6. 12 ± 1. 03	0. 48	< 0. 001	
	脾脏	16. 09 ± 2. 41	13. 54 ± 2. 07	6. 60 ± 1. 24	0. 08	< 0. 001	
	肌肉	14. 72 ± 4. 84	12. 96 ± 2. 89	6. 03 ± 0. 92	0. 22	< 0. 001	
SNR	肝脏	5. 74 ± 1. 45	6. 95 ± 1. 53	11. 56 ± 3. 30	0. 22	< 0. 001	
	脾脏	5. 54 ± 1. 35	6. 78 ± 1. 53	11. 29 ± 3. 18	0. 18	< 0. 001	
	肌肉	4. 56 ± 1. 31	5. 61 ± 1. 37	9. 23 ± 2. 64	0. 19	< 0. 001	
CNR	肝脏	13. 58 ± 3. 87	16. 31 ± 2. 92	26. 96 ± 5. 88	0. 13	< 0. 001	
	脾脏	13. 38 ± 3. 78	16. 14 ± 2. 98	26. 68 ± 5. 79	0. 12	< 0. 001	
	肌肉	12. 40 ± 3. 67	14. 97 ± 2. 75	24. 62 ± 5. 25	0. 12	< 0. 001	



图1-4 患者男, 49岁, 胰头癌致肝内胆管扩张; 图1-3分别为40%ASIR (NI=10)、MBIR-STND (NI=20)、MBIRNR40 (NI=20) 的0.625mm重建冠状位图像。图3噪声最低, 图像细腻, 硬化伪影少, 细节显示清晰, 肝内胆管与肝实质对比良好, 图像质量最佳, 两名医师主观评分均为5分; 图1相比与图2-3噪声较高, 图像硬化伪影较大, 细节显示稍模糊, 图像质量略低; 图2与图1相当, 主观评分均为4分。图4为三种重建算法处理的图像中肝脏的各客观参数比较。

的iDose等, 其作用就是在低辐射剂量扫描条件下利用不同重建算法生成可被临床接受的图像。

MBIR^[9] (商品名VE0) 是GE公司推出的与之匹配的Discovery CT750 HD宝石能谱CT的一套新的重建算法, 其特点是对采集数据进行全方位迭代重建, 不需要与FBP图像混合。该技术不仅结合了数据收集系统内光子和电子噪声统计模型, 还考虑了光学系统模型^[10]。MBIR能对X射线光学系统和信号采集过程进行建模, 对真实信号和噪声进行合理分离, 在降噪的同时最大限度地保留图像的真实性, 可在保持图像空间分辨力的基础上进一步降低辐射剂量^[11]。

但是传统MBIR图像存在随机斑纹状伪影, 可导致部分细小结构边界显示模糊。MBIRN^[12]在传统MBIR基础上增加了纹理增强设置, 在采集空间内对噪声

进行重新平衡分布, 使噪声和空间分辨率更加均匀, 用以解决斑纹状伪影。MBIRN包括例如standard (MBIRSTND)、resolution preference (MBIRRP20/MBIRRP5代表增加空间分辨率20%和5%)、noise reduction (MBIRNR40/MBIRNR5代表减少40%和5%噪声)^[13]。本次研究的是腹部图像, 对空间分辨率要求不高, 而是需要更好的密度分辨率, 因此选择降低噪声最好的MBIRNR40和兼顾空间分辨率与密度分辨率的MBIRSTND做对比。本次研究也证明MBIRNR40在腹部降噪处理上明显优于MBIRSTND重建。

因ASIR重建图像根据比重大小而变化, 比重越大图像蜡状伪影越明显, 因此以腹部最佳ASIR比重40%^[14-15]重建作为对照, 发现低剂量MBIRSTND图像与常规ASIR40%图像在SD值、SNR、CNR上差别不具有统计学意义, 主观评分相仿, 可以等效腹部常规ASIR40%重

建。而低剂量MBIRNR40图像在MBIR基础上增加了40%降噪, 因此较常规剂量ASIR40%、MBIRSTND图像噪声(SD)更低, SNR、CNR更高, 能在辐射剂量降低75%的条件下获得比常规剂量40%ASIR更好的图像质量。

本研究所使用的MBIRN重建, 在重建时间上明显长于可以实时显示图像的FBP和ASIR重建; 不同重建算法图像间有一定特性, 对主观评分结果有一定影响; 受检者病例数目较少, 致使研究样本数较小。

总之, 相较于单纯改变扫描条件的减低辐射剂量的方法, 多迭代重建算法在这方面的作用更突出。ASIR、MBIRN有各自的优势, 在不考虑重建所需时间的情况下, MBIRNR40能够显著降低噪声和提高信噪比。在降低75%辐射剂量的情况下, MBIRSTND可提供等效于常规ASIR40%的图像质量,

MBIR_{NR40}图像质量明显优于常规剂量ASIR40%重建。因此,MBIR_{NR40}、MBIR_{NR40}的重建算法具有进一步降低腹部扫描剂量的潜力。

参考文献

- [1] Jr M F, Bhargavan M, Faulkner K, et al. Radiologic and nuclear medicine studies in the United States and worldwide: frequency, radiation dose, and comparison with other radiation sources-1950-2007. [J]. Radiology, 2009, 253 (2): 520-531.
- [2] 白玫, 郑钧正. 多排(层)螺旋CT的辐射剂量表达及其影响因素探讨[J]. 辐射防护, 2008, 28 (1): 1-12.
- [3] Desai G S, Uppot R N, Yu E W, et al. Impact of iterative reconstruction on image quality and radiation dose in multidetector CT of large body size adults[J]. European Radiology, 2012, 22 (8): 1631-1640.
- [4] Hansmann J, Schoenberg G M, Brix G, et al. CT of urolithiasis: comparison of image quality and diagnostic confidence using filtered back projection and iterative reconstruction techniques [J]. Academic Radiology, 2013, 20 (9): 1162-1167.
- [5] 刘卓, 李超. 多模型迭代重建算法对CT图像质量影响的模型研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2016, 24 (7): 553-556.
- [6] 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]. European Journal of Radiology, 2016, 85 (3): 599-606.
- [7] Naidich D P, Marshall C H, Gribbin C, et al. Low-dose CT of the lungs: preliminary observations [J]. Radiology, 1990, 175 (3): 729-731.
- [8] 杜贺钦, 张镇滔, 吴玉仪等. 双低剂量CT扫描及迭代重建技术对肺癌早期检出和定性的可行性研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2017, 15 (9): 77-79.
- [9] Rampinelli C, Origgi D, Vecchi V, et al. Ultra-low-dose CT with model-based iterative reconstruction (MBIR): detection of ground-glass nodules in an anthropomorphic phantom study [J]. Radiologia Medica, 2015, 120 (7): 611-617.
- [10] Katsura M, Matsuda I, Akahane M, et al. Model-based iterative reconstruction technique for radiation dose reduction in chest CT: comparison with the adaptive statistical iterative reconstruction technique [J]. European Radiology, 2012, 22 (8): 1613-1623.
- [11] 陈学力, 王战. 宝石能谱CT低剂量扫描对早期肺癌诊断的临床价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2018, 16 (3): 30-32.
- [12] Koichiro Yasaka, Masaki Katsura, Shouhei Hanaoka, Jiro Sato, Kuni Ohtomo. 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]. European Journal of Radiology, 2016, 85 (3).
- [13] 贾永军, 于勇, 张喜荣, 等. 新一代基于模型的迭代重建中肺特异性设置在亚mSv胸部CT检查中的应用[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33 (10): 1545-1549.
- [14] Kahn J, Grupp U, Rotzinger R, et al. CT for evaluation of potential renal donors - how does iterative reconstruction influence image quality and dose [J]. European Journal of Radiology, 2014, 83 (8): 1332-1336.
- [15] 赵晶, 徐飞, 李晓璐, 王慧慧, 赵心明. 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.

(本文编辑: 谢婷婷)

【收稿日期】2018-03-12

(上接第 52 页)

- [8] 顾浩, 罗雪微, 石国儿. 磁共振弥散加权成像在前列腺中央腺体癌早期诊断中的价值[J]. 中华内分泌外科杂志, 2017, 11 (2): 147-149.
- [9] 高益萍, 王省白, 万伟荣, 等. 1.5T MR高b值DWI诊断早期前列腺癌的临床价值研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2016, 22 (2): 148-151.
- [10] 王鹏, 白毓, 薛红强. 1.5T磁共振弥散加权成像与表观弥散系数在局限性前列腺癌与慢性炎性反应和良性增生鉴别诊断中的价值[J]. 中国医学装备, 2017, 14 (8): 80-83.
- [11] 岳磊, 刘晓航, 周良平, 等. 双指数DWI对前列腺外周带局限性癌的诊断价值: 与单指数DWI对照[J]. 中国癌症杂志, 2016, 26 (7): 616-622.
- [12] 薛海林, 王利伟, 陈谦, 等. 多b值弥散成像诊断中央区前列腺结节的价值[J]. 中国医疗设备, 2017, 32 (11): 71-73.
- [13] 刘康, 张耀森, 刘永. MR扩散加权成像与表观扩散系数在前列腺肿瘤中的应用比较[J]. 医学影像学杂志, 2016, 26 (5): 885-887.
- [14] 张雪红, 张期莲, 符惠宏, 等. MR弥散加权成像表观弥散系数在前列腺病变诊断中的临床价值[J]. 医学影像学杂志, 2017, 27 (5): 972-974.
- [15] 徐佳佳, 王红, 闵朋, 等. 多b值弥散加权成像ADC值对前列腺癌的诊断价值[J]. 检验医学与临床, 2017, 14 (13): 1861-1863.

(本文编辑: 谢婷婷)

【收稿日期】2018-12-08