

• CT 低剂量影像学专题 •

迭代重建在前列腺 CT 成像中的应用研究

刘婧, 王霄英, 许玉峰, 邱建星, 曹会志, 胡晓煜, 蒋学祥

【摘要】 目的:探讨迭代重建在前列腺 CT 检查中的临床应用价值。**方法:**接受腹部 CT 增强扫描的男性患者 4 例入组,对增强图像进行滤波反投影重建(FBP)、30%、50%、80%及 100%自适应统计迭代重建(ASIR)和基于模型的迭代重建(MBIR),对这 6 种图像的噪声、图像质量、前列腺对比噪声比(CNR),使用方差分析进行统计学分析。**结果:**MBIR 图像的噪声最低,主观评分最高,且前列腺外周带的 CNR 最高,与其它图像相比差异有统计学意义($P < 0.05$)。**结论:**MBIR 有提高前列腺图像质量、进一步显示更多解剖细节的潜在价值。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 前列腺病变; 迭代重建; 辐射剂量

【中图分类号】 R814.42; R737.21 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2013)03-0284-04

Application of iterative reconstruction in CT imaging of the prostate LIU Jing, WANG Xiao-ying, XU Yu-feng, et al. Department of Radiology, Peking University First Hospital, Beijing 100034, P. R. China

【Abstract】 Objective: To explore the value of adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) and model-based iterative reconstruction (MBIR) in improving prostate imaging. **Methods:** Four male patients receiving abdominal CT examination with contrast enhancement were enrolled. The enhanced images were reconstructed with filter back projection, 30%, 50%, 80% and 100% ASIR and MBIR algorithm respectively. And the image noises were measured. Contrast-to-noise ratio (CNR) of prostate was assessed. Image quality was assessed using a 6-point scale. **Results:** The image noise of MBIR was the lowest, and the image quality and the CNR of peripheral zone were the highest. **Conclusion:** MBIR has potential ability in improving image quality of the prostate in the future.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Prostate diseases; Iterative reconstruction; Radiation dose

随着 CT 检查的广泛应用及 CT 技术的发展,如何降低放射剂量而不降低图像质量或者在同等剂量条件下如何提高图像质量是目前的研究热点^[1]。以往研究常用优化扫描参数、使用滤器、调节 X 线束或尽量减少暴露范围等方法^[2-4]。近几年,利用重建算法来提高图像质量或降低剂量逐渐受到关注^[5-7],如自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction, ASIR)技术和基于模型的迭代重建算法(model-based iterative reconstruction, MBIR)。

利用 ASIR 及 MBIR 降低噪声,提高图像质量的研究并不少^[6-9],但尚未见其应用于观察前列腺结构及包膜的研究。众所周知,前列腺的最佳检查手段应为 MRI,而 CT 软组织分辨力限制了对前列腺细微结构的观察。MBIR 的出现为 CT 观察软组织带来了希望。本研究主要是通过比较图像噪声、前列腺中央腺体及外周带的对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)及图像质量的主观评分,来探讨新的迭代重建算法是否能提高对前列腺图像质量。

材料与方法

本研究中所有患者均知情同意,研究方案经医院伦理委员会审批同意。研究对象为 2012 年 3 月在本院行腹部增强 CT 扫描的连续病例。本研究共入组 4 例男性患者,年龄 29~67 岁,平均(45±15)岁。

使用 GE Discovery CT750 HD 64 排 CT 机。入组病例首诊原因均为泌尿系症状(如尿频、尿急拟诊前列腺增生及泌尿系结石),扫描范围均自双肾上腺上方至会阴水平。常规腹部增强扫描方式,参数为 0.6 s/r, 0.625 mm×64 i, 螺距 1.0~1.5, 120 kVp, 自动毫安,扫描层厚及层间距均为 5 mm。增强扫描优维显 300(碘普罗胺)80~100 ml,注射流率 3~4 ml/s。

CT 扫描结束后,分别采用滤波反投影重建(filter back projection, FBP)、MBIR 30%、50%、80%及 100%ASIR 三种算法对原始数据进行重建,每例患者共获得 6 组层厚为 1.25 mm 的薄层图像。将所有图像传至 GE AW 4.4 工作站,进行图像分析和测量,使用 Compare 软件保证所观察的图像在同一层面上。

由 1 位放射科医师测量图像噪声和 CNR。在右侧盆腔上方空气及右侧盆腔脂肪密度均匀的区域分别放置椭圆形兴趣区,面积为 50 mm²,以被测密度的标准差(standard deviation, SD)作为图像噪声,空气及

作者单位: 100034 北京,北京大学第一医院医学影像科(刘婧、王霄英、许玉峰、邱建星、胡晓煜、蒋学祥);200001 上海,GE 中国 CT 研究中心(曹会志)

作者简介: 刘婧(1983-),女,重庆人,博士,住院医师,助理研究员,主要从事影像新技术的临床应用工作。

通讯作者: 胡晓煜, E-mail: huerjia2000@hotmail.com

盆腔脂肪噪声分别用 SD1 及 SD2 表示。另外,在中央带、外周带及右侧髂腰肌分别置放类圆形 ROI,测量 CT 值(分别用 ROIc、ROIp、ROIi 表示),平均面积为 35 mm²。各参数均在连续层面上重复测量 3 次,取平均数作为最终结果。中央腺体、外周带和中央腺体-外周带计算公式如下:

$$CNR_c = \frac{ROI_c - ROI_i}{SD_2} \tag{1}$$

$$CNR_p = \frac{ROI_p - ROI_i}{SD_2} \tag{2}$$

$$CNR_{p-c} = \frac{ROI_p - ROI_c}{SD_2} \tag{3}$$

由 2 位放射科医师(分别具有 12 年和 5 年 CT 诊断经验)在 AW 4.4 工作站上采用单算法分别独立完成图像质量的主观评分。6 分:图像质量优良、结构清晰,即前列腺中央腺体与外周带分界清晰,前列腺内细小结构如钙化灶或结节显示清楚、完整,外周带边缘显示清晰;5 分:图像质量良好,结构较清晰,即前列腺中央腺体与外周带分界尚可辨,前列腺内细小结构如钙化灶或结节显示清楚、完整,外周带边缘显示比较清晰;4 分:结构轻度模糊、但不影响诊断,即前列腺中央腺体与外周带分界不能分辨,前列腺内细小结构如钙化灶显示比较清楚,结节显示欠清,外周带边缘显示比

较模糊;3 分:结构中度模糊、诊断轻度受影响即前列腺中央腺体与外周带分界不能分辨,前列腺内细小结构如钙化灶尚可,结节显示不清,外周带边缘显示不清;2 分:图像质量差、不太可能做出可靠解释和判断,即前列腺中央腺体与外周带分界不能分辨,前列腺外形显示模糊;1 分:图像质量太差,不可能做出可靠解释和判断。图像主观评分为 4~6 分者认为符合诊断要求;图像主观评分为 1~3 分者认为不符合诊断要求。

所有数据统计学分析均采用 SPSS 16.0 软件,使用方差分析法,统计学显著性水平为 α=0.05。

结 果

采用 FBP、30%、50%、80%、100%ASIR 和 MBIR 重建算法所得 6 组薄层重建图像的噪声、前列腺 CNR 均数及图像质量评分见表 1。本组中所有数据均服从正态分布,使用方差分析进行两两比较,结果见表 2。

6 组重建图像中 FBP 及 30%、50%ASIR 图像噪声偏大,主观评分偏低(图 1、2);其中,FBP 图像的空气噪声最大,与其它图像的空气噪声相比差异均有统计学意义(P<0.05);

表 1 FBP、ASIR 和 MBIR 重建图像的噪声、前列腺 CNR 及图像质量评分

重建算法	空气噪声	脂肪噪声	CNRc	CNRp	CNRc-p	主观评分
FBP	19.38±8.37	27.26±2.16	0.26±0.16	0.50±0.26	0.39±0.36	4.13±0.25
30%ASIR	12.01±1.4	27.24±3.11	0.34±0.29	0.49±0.37	0.26±0.15	4.13±0.25
50%ASIR	9.830±.77	22.33±3.36	0.57±0.56	1.04±0.25	0.82±0.53	4.63±0.25
80%ASIR	6.96±0.67	17.61±4.50	0.3±0.49	0.78±0.55	1.69±1.03	4.88±0.25
100%ASIR	7.46±0.56	12.06±0.86	1.08±1.04	1.42±1.04	1.7±1.03	4.88±0.25
MBIR	2.11±0.43	10.63±0.54	0.81±0.66	1.64±0.54	1.06±0.54	5.38±0.25

注: CNRc 为前列腺中央腺体对比噪声比; CNRp 为前列腺外周带对比噪声比; CNRc-p 为前列腺中央腺体-外周带对比噪声比。

表 2 FBP、ASIR 和 MBIR 重建图像的噪声、前列腺 CNR 及图像质量评分统计分析

分析指标	P 值					
	空气噪声	脂肪噪声	CNRc	CNRp	CNRc-p	主观评分
与 FBP 比较						
30%ASIR	0.008	0.991	0.850	0.986	0.767	1.000
50%ASIR	0.001	0.024	0.475	0.194	0.340	0.011
80%ASIR	<0.001	<0.001	0.919	0.488	0.531	<0.001
100%ASIR	<0.001	<0.001	0.069	0.034	0.007	<0.001
MBIR	<0.001	<0.001	0.207	0.010	0.140	<0.001
与 30%ASIR 比较						
50%ASIR	0.389	0.025	0.597	0.189	0.217	0.011
80%ASIR	0.056	<0.001	0.93	0.477	0.360	<0.001
100%ASIR	0.082	<0.001	0.098	0.032	0.004	<0.001
MBIR	0.001	<0.001	0.279	0.010	0.081	<0.001
与 50%ASIR 比较						
80%ASIR	0.262	0.029	0.538	0.531	0.737	0.174
100%ASIR	0.350	<0.001	0.243	0.353	0.056	0.174
MBIR	0.006	<0.001	0.571	0.148	0.578	<0.001
与 80%ASIR 比较						
100%ASIR	0.844	0.012	0.083	0.129	0.028	1.000
MBIR	0.066	0.003	0.244	0.045	0.376	0.011
与 100%ASIR 比较						
MBIR	0.045	0.484	0.537	0.584	0.157	0.011

FBP 的盆腔脂肪噪声也最大,除了与 30% ASIR 图像相比差异无统计学意义之外,与其它图像的脂肪噪声相比差异均有统计学意义($P < 0.05$)。FBP 及 30% ASIR 图像的主观评分最低(图 1、2),且与其它图像主观评分相比差异均有统计学意义($P < 0.05$)。

80%、100% ASIR 和 MBIR 图像的噪声偏小,主观评分也偏高;其中,MBIR 图像的空气噪声最低,除了 80% ASIR 图像之外,与其它图像的空气噪声相比差异均有统计学意义($P < 0.05$);MBIR 图像的盆腔脂肪噪声也最低,除了 100% ASIR 图像之外,与其它图像的脂肪噪声相比差异均有统计学意义($P < 0.05$);MBIR 图像的主观评分最高,且与其它图像的主观评分相比差异有统计学意义($P < 0.05$),MBIR 图像比 ASIR 图像可以看到更多解剖细节(图 1、2)。

中央腺体的 CNR:FBP 图像最低,100% ASIR 图像最高,各图像均值差异均无统计学意义;外周带的 CNR:FBP 图像最低,MBIR 图像最高,并且 MBIR 图像与 FBP、30% 及 80% ASIR 图像相比均值差异有统计学意义($P < 0.05$);中央腺体-外周带的 CNR:30% ASIR 图像最低,100% ASIR 图像最高、且与其它 ASIR 图像相比差异有统计学意义($P < 0.05$)。

讨论

目前,MBIR 和 ASIR 都是比较前沿的低剂量成像技术,尤其是 MBIR。因其复杂、庞大的重建技术尚未在临床上得到普及。然而,从为数不多的一些研究中可以看出,MBIR 以其显著的降噪特点且不降低图

像分辨力的优势得到了普遍认可^[8-9]。MBIR 用于重建的模型有很多,包括焦点模型、三维体素模型、探测器单元模型、系统噪声模型等,它对每一个体素都进行精确描述,考察其受到特定大小的 X 线点光源照射后激活探测器单元的情况。因此,许多研究者认为 MBIR 对这种空间位置差异的精确描述比 ASIR 更能反映 CT 系统的真实情况,即 MBIR 重建图像能更准确地反映扫描信息^[9-10]。在本研究中,男性盆腔的 MBIR 图像噪声最小,其中空气噪声降至了 2 左右,与 ASIR 重建图像相比噪声显著降低且具有统计学意义,这说明 MBIR 具有降低男性盆腔扫描剂量及提高图像质量的潜在价值。

在图像质量主观评分中,MBIR 也是高于 FBP 和其它 ASIR 重建图像。虽然 100% ASIR 也显著降低了图像噪声,提高了图像分辨力,且其前列腺的 CNR 为最高,但是从图像上(图 1、2)可以看出 MBIR 图像可以显示前列腺更多的解剖细节,如中央腺体的结节、中央腺体与外周带的分界以及钙化灶等能更清楚显示。

而在 CNR 的对比中,MBIR 并没显示出明显的优势,有可能与本组病例数较少以及样本的偏待性有关。在这 4 例患者中,有 2 例为青年男性,前列腺未看到明显增大以及钙化表现,可以推断前列腺腺体增生结节较少,腺体比较均匀,而其它 2 例为老年男性患者,前列腺腺体体积增大,中央腺体亦可见结节样强化,因此腺体均匀度较差,病例的不一致可能导致对测量结果有所影响。另外,本组病例也缺乏 MRI 作为对照,否则就

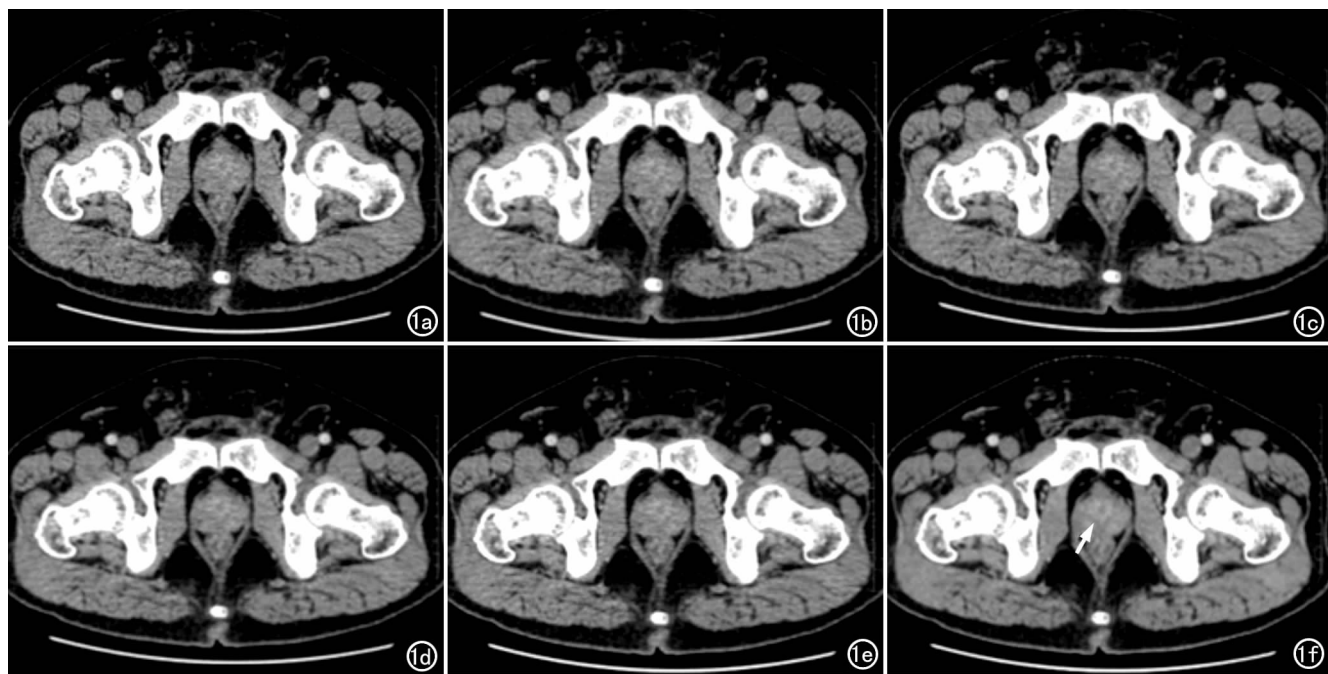


图 1 同一例患者同一解剖层面不同算法重建图像显示前列腺解剖结构,从 a) 图到 f) 图中央腺体与外周带的分界显示逐渐清晰(箭)。a) FBP; b) 30% ASIR; c) 50% ASIR; d) 80% ASIR; e) 100% ASIR; f) MBIR。

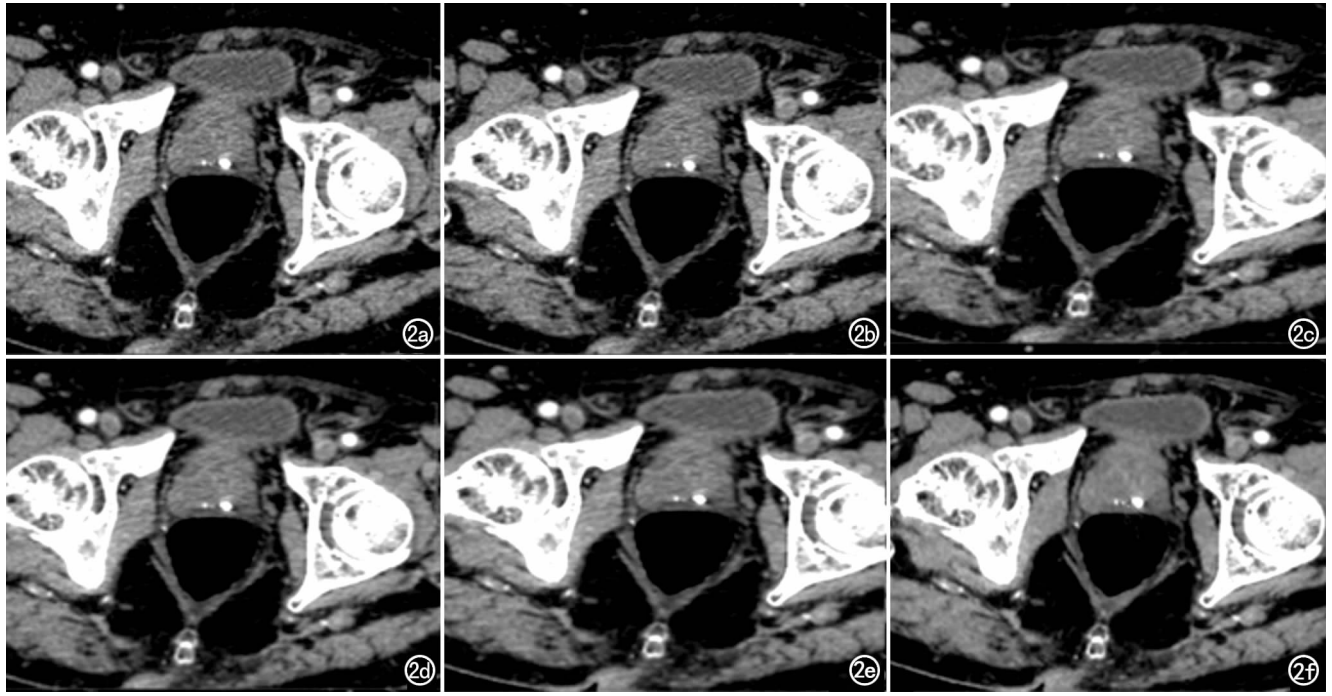


图 2 同一例患者同一解剖层面不同算法重建图像,从 a) 图到 f) 图可以看到钙化显示逐渐清晰。a) FBP; b) 30% ASIR; c) 50% ASIR; d) 80% ASIR; e) 100% ASIR; f) MBIR。

能使 MBIR 显示解剖细节更佳更有说服力,这也是将来研究的方向。

另外,MBIR 有自身的缺点:如计算量大,对重建的计算机要求也非常高,耗时较长,因此尚未能在临床上广泛开展^[9-10]。相比之下,ASIR 重建方法简便易行,是目前降低剂量常用方法之一,也在临床上得到了普遍应用。

总之,ASIR 和 MBIR 都比常规重建方法提高了前列腺 CT 检查的图像质量,MBIR 对解剖结构的显示似乎更佳。因此,MBIR 有两方面的潜在研究方向:首先,使用 MBIR 技术,有可能在低剂量 CT 扫描的情况下,保持与常规 CT 扫描相同的图像质量,为低剂量 CT 的研究提供了有效的工具;其次,在不降低辐射剂量的情况下,用 MBIR 重建的 CT 图像可观察到更多解剖细节,为增加前列腺 CT 图像软组织对比度提供了可能的工具。

参考文献:

- [1] Pearce MS, Salotti JA, Little MP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study [J]. Lancet, 2012, 380 (9840): 499-505.
- [2] Kalra MK, Maher MM, Toth TL, et al. Strategies for CT radiation dose optimization [J]. Radiology, 2004, 230(3): 619-628.
- [3] Heyer CM, Mohr PS, Lemburg SP, et al. Image quality and radiation exposure at pulmonary CT angiography with 100-or 120kVp protocol: Prospective randomized study [J]. Radiology, 2007, 245 (2): 577-583.

- [4] Kalra MK, Wittram C, Maher MM, et al. Can noise reduction filters improve low-radiation-dose chest CT images? Pilot study [J]. Radiology, 2003, 228(1): 257-264.
- [5] Sagara Y, Hara AK, Pavlicek W, et al. Comparison of low-dose CT with adaptive statistical iterative reconstruction and routine-dose CT with filtered back projection in 53 Patients [J]. AJR, 2010, 195 (3): 713-719.
- [6] Prakash P, Kalra MK, Kambadakone AK, et al. Reducing abdominal CT radiation dose with adaptive statistical iterative reconstruction technique [J]. Invest Radiol, 2010, 45(4): 202-210.
- [7] Kambadakone AR, Chaudhary NA, Desai GS, et al. Low-dose MDCT and CT enterography of patients with Crohn disease: feasibility of adaptive statistical iterative reconstruction [J]. AJR, 2011, 196(6): 743-752.
- [8] Pickhardt PJ, Lubner MG, Kim DH, et al. Abdominal CT with model-based iterative reconstruction (MBIR): initial results of a prospective trial comparing ultralow-dose with standard-dose imaging [J]. AJR, 2012, 199(6): 1266-1274.
- [9] 吴瑶媛, 王万勤, 刘斌, 等. FBP、ASIR 和 VEO 三种重建算法对常规剂量胸部 CT 图像质量的影响 [J]. 中国医学影像学杂志, 2012, 28(3): 575-578.
- [10] 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 [J]. Radiology, 2010, 254(1): 145-153.

(收稿日期: 2013-01-23 修回日期: 2012-2-15)