

·论著·

自适应统计迭代重建技术在 PET/CT 全身扫描中的应用

辛军 赵周社 李红 陆喆 吴文凯 郭启勇

【摘要】 目的 采用自适应统计迭代重建(ASiR)技术提高 PET/CT 全身扫描低剂量 CT 的图像质量。方法 采用 CT 性能模型测量 CT 值准确度和噪声,对模型进行两次扫描,扫描条件分别为:120 kV、120 mA 和 120 kV、300 mA。另随机选取行 PET/CT 扫描的受检者 30 例,按体重静脉注射 ^{18}F -FDG 3.70 MBq, PET/CT 全身扫描条件为:PET 采用三维+飞行时间+点扩展函数重建技术,1.5 min/床位;CT 采用螺旋扫描,120 kV,自动曝光控制技术(30~210 mA,噪声指数 25)。模型图像和患者全身扫描 CT 图像分别按照常规方法和 40% ASiR 方法进行重建。结果 模型和临床研究结果表明,ASiR 方法获得的模型 CT 值标准差较常规 CT 图像重建方法降低了 33.0%($t=27.76$, $P<0.01$),正常组织(脑、肺、纵隔、肝脏和椎体)和病灶(脑、肺、纵隔、肝脏和椎体)CT 值标准差平均分别降低了 21.08%($t=23.35$, $P<0.01$)和 24.43%($t=16.15$, $P<0.01$),而肝脏正常组织和肝脏病灶分别降低了 51.33%($t=34.21$, $P<0.01$)和 49.54%($t=15.21$, $P<0.01$)。结论 采用 ASiR 技术明显降低了 PET/CT 全身扫描低剂量 CT 图像的噪音,提高了 CT 图像质量,使其适用于定量分析研究和临床应用。

【关键词】 肿瘤;正电子发射断层显像术;体层摄影术,X 线计算机;自适应统计迭代重建

Adaptive statistical iterative reconstruction technology in the application of PET/CT whole body scans XIN Jun, ZHAO Zhou-she, LI Hong, LU Zhe, WU Wen-kai, GUO Qi-yong. Department of Radiology, Shengjing Hospital of China Medical University, Shenyang 110004, China
Corresponding author: XIN Jun, Email: xinj@vip.sina.com.cn

【Abstract】 Objective To improve image quality of low dose CT in whole body PET/CT using adaptive statistical iterative reconstruction (ASiR) technology. **Methods** Twice CT scans were performed with GE water model, scan parameters were: 120 kV, 120 and 300 mA respectively. In addition, 30 subjects treated with PET/CT were selected randomly, whole body PET/CT were performed after ^{18}F -FDG injection of 3.70 MBq/kg, Sharp IR+time of flight + VUE Point HD technology were used for 1.5 min/bed in PET; CT of spiral scan was performed under 120 kV using automatic exposure control technology (30~210 mA, noise index 25). Model and patients whole body CT images were reconstructed with conventional and 40% ASiR methods respectively, and the CT attenuation value and noise index were measured. **Results** Research of model and clinical showed that standard deviation of ASiR method in model CT was 33.0% lower than the conventional CT reconstruction method ($t=27.76$, $P<0.01$), standard deviation of CT in normal tissues (brain, lung, mediastinum, liver and vertebral body) and lesions (brain, lung, mediastinum, liver and vertebral body) reduced by 21.08% ($t=23.35$, $P<0.01$) and 24.43% ($t=16.15$, $P<0.01$) respectively, especially for normal liver tissue and liver lesions, standard deviations of CT were reduced by 51.33% ($t=34.21$, $P<0.01$) and 49.54% ($t=15.21$, $P<0.01$) respectively. **Conclusion** ASiR reconstruction method was significantly reduced the noise of low dose CT image and improved the quality of CT image in whole body PET/CT, which seems more suitable for quantitative analysis and clinical applications.

【Key words】 Neoplasms; Position-emission tomography; Tomography, X-ray; Adaptive statistical iterative reconstruction

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2013.05.007

作者单位: 110004 沈阳, 中国医科大学附属盛京医院放射科

通信作者: 辛军(Email: xinj@vip.sina.com.cn)

PET/CT 全身扫描在肿瘤早期诊断、临床分期和疗效评估中均具有重要的作用,并且已被临床广泛接受。但是, PET/CT 全身扫描使患者接受正电

子显像剂产生的 γ 射线辐射的同时又要接受 CT 扫描中 X 射线的辐射, 这就要求 PET 使用的正电子显像剂和 CT 扫描使用的 X 射线剂量均要低于单独的 PET 和诊断 CT 使用的剂量。为了降低正电子显像剂注射剂量、同时保证 PET 图像质量和扫描速度并不降低, 新一代的 PET 采用了全三维采集技术、飞行时间和点扩展函数图像重建技术等^[1]。但是, 对于 CT 扫描主要通过降低扫描剂量来减少对患者的辐射剂量, 这就造成 PET/CT 全身扫描中 CT 图像质量明显不如常规诊断的 CT 图像质量, 全身扫描 PET/CT 图像不能直接用于临床诊断, 同时也不适合用于实体瘤疗效评估 (response evaluation criteria in solid tumours, RECIST) 标准评估肿瘤治疗疗效。为了解决这一问题, 我院采用 CT 低剂量自适应统计迭代重建 (adaptive statistical iterative reconstruction, ASiR) 技术对 PET/CT 扫描中的 CT 图像进行重建^[2-3], 使得 PET/CT 扫描中的 CT 图像具有临床诊断价值, 并能够适用于 RECIST1.1 标准要求。现将研究结果报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

随机选取 2011 年 11 月至 2012 年 6 月行 PET/CT 全身扫描的受检者 30 例, 其中男性和女性各 15 例, 年龄 (58.2 ± 12.8) 岁。其中, 27 例患者经临床确诊, 包括肺癌 10 例、肝癌 3 例、脂肪肝 4 例、结肠癌 4 例、卵巢癌 3 例、骨髓瘤 1 例、胃癌 2 例; 另外 3 例为正常体检者。

1.2 CT 模型扫描和图像重建方法

用于测量 CT 值准确度和噪声的水模由美国 GE 公司生产, 该水模直径 20 cm, 其中充满水。对水模进行两次扫描, 扫描条件分别为: 120 kV、120 mA 及 120 kV、300 mA。CT 性能模型也由美国 GE 公司生产, 该模型中钨丝直径为 0.08 mm, 将其浸入模型水中进行扫描。扫描条件与水模的扫描条件相同。模型的扫描参数设计尽量接近人体 CT 扫描条件, 以便进行对比。对模型图像分别采用常规方法 (视野: 50 cm, 层厚: 3.25 mm, 重建类型: 标准, 窗宽/窗位: 400/40) 和 ASiR 方法进行重建, ASiR 的重建百分比为 40% (即 40%ASiR)^[4-5]。

1.3 患者 PET/CT 全身扫描和图像重建方法

所有患者禁食 6 h, 禁止使用镇静药物, 测量血糖浓度后安静休息。然后按体重静脉注射 3.70 MBq ^{18}F -FDG (^{18}F -FDG 由美国 GE 公司的 MiniTrace 和

TraceLab FX_{FDG} 制备生产, 放化纯度 >99%), 安静休息 60 min 后进行 PET/CT (美国 GE 公司 Discovery Elite 型产品) 扫描。扫描范围从颅顶至大腿中段。PET 扫描条件: 1.5 min/床位, 共 7~8 个床位; CT 扫描条件: 螺旋扫描, 120 kV, 采用自动曝光控制技术 (30~210 mA, 噪声指数 25)。

常规扫描的 PET 图像均采用三维+飞行时间+点扩展函数进行图像重建。CT 图像分别采用常规图像重建方法和 40% ASiR 方法重建。

1.4 图像分析

在 GE 图像处理工作站分别阅读两种方法重建的 CT 图像, 通过视觉确定两种方法发现的 CT 图像的病灶数。正常组织 CT 值和标准差的测量选择直径 3 cm 感兴趣区获得, 病灶的 CT 值和标准差按照病灶的大小进行测量。

1.5 统计学方法

应用 Minitab 12 软件对数据进行分析, 应用 *t* 检验对所得的结果进行统计学分析, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

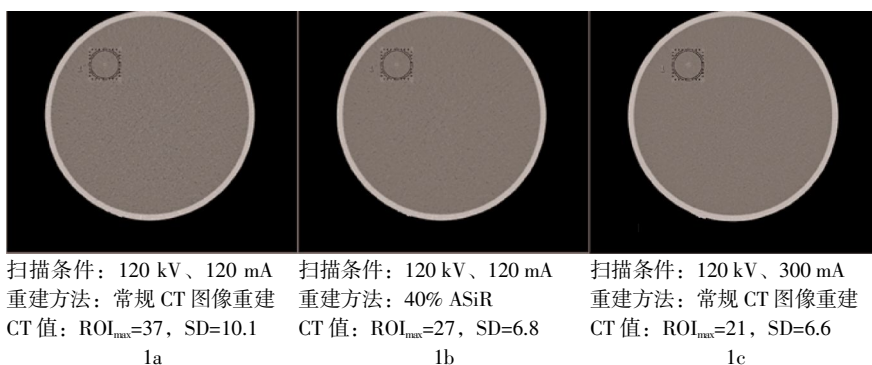
2.1 CT 模型图像重建的结果

由图 1 可见, 采用 120 kV、120 mA 和 40% ASiR 获得的图像噪声与 120 kV、300 mA 和常规重建方法获得的图像噪声基本一致; 模型实验结果表明, 采用 40% ASiR 获得的模型 CT 值标准差较 120 kV、120 mA 常规 CT 图像重建方法降低了 33.0% ($t = 27.76, P < 0.01$)。

由图 2 可见, 40% ASiR 改善了图像质量、提高了信噪比, 但是对模型图像分辨率并无显著改善。

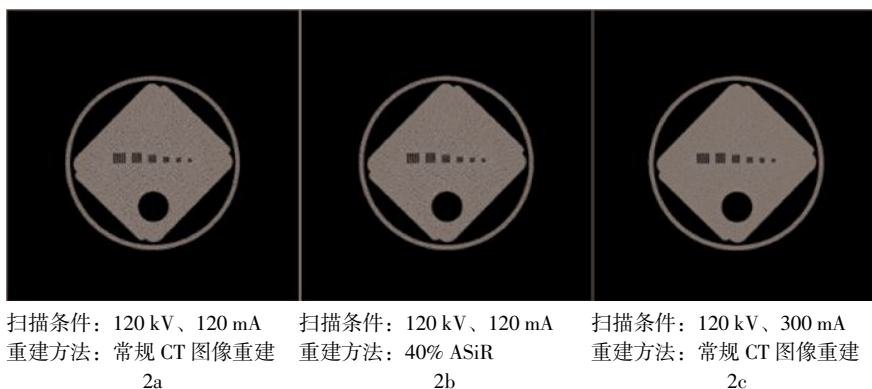
2.2 患者图像重建的结果

由表 1 和图 3 显示, CT 40% ASiR 明显降低了正常脑组织、肺组织、纵隔组织、肝脏组织和腰椎部分 CT 图像噪声, 显著提高了图像质量, 40% ASiR 图像的正常组织 (脑、肺、纵隔、肝脏和椎体) 平均 CT 值标准差较常规 CT 图像重建方法降低了 21.08% ($t = 23.35, P < 0.01$); 同时 40% ASiR 不同程度地改善了病灶组织的脑、肺、纵隔、肝脏和椎体病灶 CT 图像的信噪比, 病灶 (脑、肺、纵隔、肝脏和椎体) 平均 CT 值标准差较常规 CT 图像重建方法降低了 24.43% ($t = 16.15, P < 0.01$); 其中以肝脏病灶最为明显, 正常肝脏组织和肝脏病灶 CT 值标准差分别降低了 51.33% ($t = 34.21, P < 0.01$) 和 49.54% ($t = 15.21, P < 0.01$)。另外, 采用 40%



扫描条件: 120 kV、120 mA 扫描条件: 120 kV、120 mA 扫描条件: 120 kV、300 mA
 重建方法: 常规 CT 图像重建 重建方法: 40% ASiR 重建方法: 常规 CT 图像重建
 CT 值: ROI_{max}=37, SD=10.1 CT 值: ROI_{max}=27, SD=6.8 CT 值: ROI_{max}=21, SD=6.6
 1a 1b 1c

图 1 不同扫描条件和重建方法获得测量 CT 值准确度和噪声的水模图像 图中, ROI_{max}: 感兴趣区最大 CT 值; SD: 标准差; ASiR: 自适应统计迭代重建; 40% ASiR: ASiR 的重建百分比为 40%。



扫描条件: 120 kV、120 mA 扫描条件: 120 kV、120 mA 扫描条件: 120 kV、300 mA
 重建方法: 常规 CT 图像重建 重建方法: 40% ASiR 重建方法: 常规 CT 图像重建
 2a 2b 2c

图 2 不同扫描条件和重建方法获得的 CT 性能模型图像 图中, ASiR: 自适应统计迭代重建; 40% ASiR: ASiR 的重建百分比为 40%。

ASiR 获得的病灶直径大于常规方法。由图 4 可见, 采用 40% ASiR 得到的 CT 图像, 肝脏的病灶边缘可以清晰显示, 以便于显示病灶范围及与 ¹⁸F-FDG PET 图像进行融合。

视觉分析发现, 30 例受检者通过两种图像重建方法获得的 CT 图像发现的病灶数均为 47 个, 两种方法发现的病灶数无差异。

3 讨论

本研究使用 ASiR 技术对 PET/CT 全身扫描中低剂量 CT 图像进行重建, 以恢复 CT 图像质量, 达到提高 PET/CT 临床诊断效能, 并且使获得的 CT 图像能够用于 RECIST 标准的目的。本研究结果表明, 在临床工作中 ASiR 技术对常规 PET/CT 扫描具有重要的价值。

表 1 30 例受检者采用常规 CT 图像重建方法和 40% ASiR 方法的比较 ($\bar{x} \pm s$)

检测部位	例数或病灶数	病灶直径(cm)	常规 CT 图像重建			40% ASiR			
			CT 最大值	CT 平均值	标准差	病灶直径(cm)	CT 最大值	CT 平均值	标准差
脑组织	30	-	87.97±12.35	45.50±5.26	13.60±3.04	-	60.55±8.50 (19.30) ^a	37.40±5.55 (10.57) ^a	7.73±1.90 (23.35) ^a
肺组织	30	-	-334.70±125.10	-722.50±279.20	70.47±20.84	-	-371.20±119.10 (4.81) ^a	-609.10±497.40 (-1.42) ^b	66.78±21.39 (10.02) ^a
纵隔组织	30	-	75.17±12.04	40.10±8.18	10.87±2.15	-	56.62±9.33 (14.21) ^a	38.91±7.87 (2.94) ^c	6.08±2.25 (18.83) ^a
肝脏组织	30	-	102.30±9.53	54.28±6.12	15.78±2.60	-	76.17±8.19 (20.62) ^a	53.30±6.57 (1.86) ^b	7.68±1.43 (34.21) ^a
腰椎	30	-	276.70±61.50	147.15±46.94	35.16±6.46	-	256.70±64.0 (4.43) ^a	149.74±41.86 (-1.04) ^b	26.92±6.29 (16.65) ^a
脑病灶	3	2.67±1.36	74.0±9.17	43.4±9.09	12.80±1.01	2.73±1.67 (-3.05) ^b	57.33±8.39 (2.49) ^b	36.93±5.46 (2.01) ^b	7.53±2.31 (6.51) ^c
肺部病灶	17	2.77±1.75	59.59±16.41	24.82±10.33	15.54±6.25	2.90±1.80 (-3.10) ^b	42.29±13.63 (-8.54) ^a	23.24±11.03 (-1.96) ^b	11.75±10.50 (-2.60) ^c
纵隔病灶	7	2.24±0.80	62.86±9.84	32.34±8.18	10.73±1.74	2.37±0.83 (-1.05) ^b	51.29±16.95 (2.51) ^c	29.27±6.84 (2.86) ^c	10.21±6.99 (0.24) ^b
肝脏病灶	14	3.50±2.33	83.43±19.86	32.38±11.06	17.48±4.91	3.60±2.34 (-2.41) ^a	58.36±14.32 (10.46) ^a	31.83±11.33 (0.91) ^b	8.82±2.91 (15.21) ^a
腰椎病灶	6	1.83±1.05	465.18±198.50	242.1±189.20	72.00±30.30	1.89±0.99 (-1.46) ^b	418.8±212.6 (1.99) ^b	241.0±191.1 (0.39) ^b	63.3±32.2 (47.40) ^c

注: 表中, ASiR: 自适应统计迭代重建; “-”表示无此项数据; 括号中数据为 40%ASiR 与 CT 图像重建比较的 t 值; a 表示 P<0.01; b 表示 P>0.05; c 表示 P<0.05。

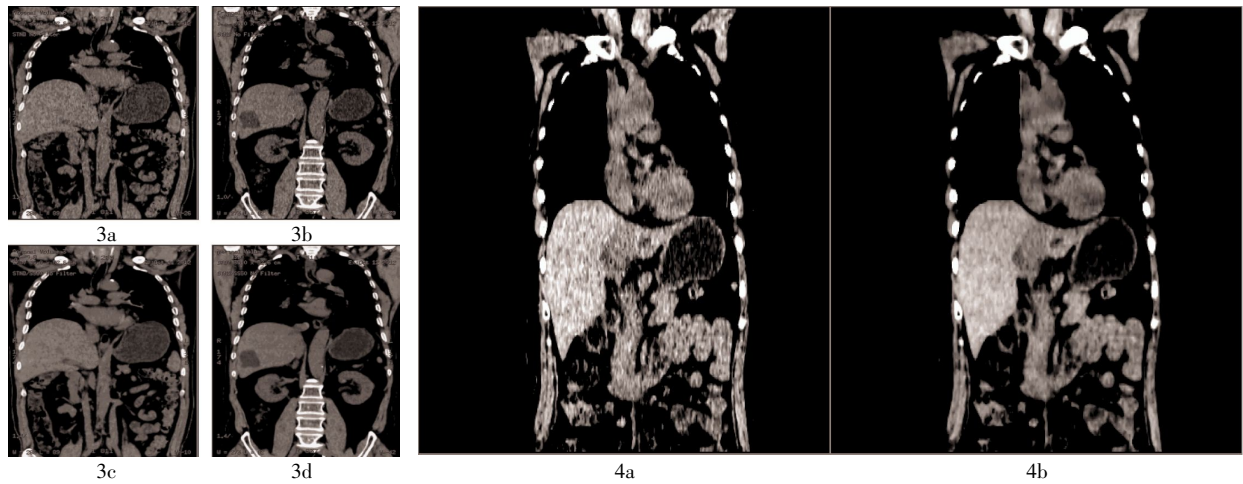


图3 两例受检者腹部低剂量CT扫描图像采用常规和40% ASiR方法得到的重建图像 图中, 3a、3c: 男性, 38岁, 正常体检者; 3b、3d: 男性, 45岁, 肝囊肿患者; 3a、3b: 常规图像重建方法; 3c、3d: 40% ASiR图像。其中, ASiR为自适应统计迭代重建。图4 肝癌患者, 女性, 58岁。¹⁸F-FDG PET/CT全身扫描CT图像采用常规和40% ASiR方法得到的重建图像。图中, 4a: 常规方法重建图像; 4b: 40% ASiR图像。其中, ASiR为自适应统计迭代重建。

其具体表现如下:

(1)采用ASiR技术降低了低剂量CT图像噪音、提高了低剂量CT图像质量,使得低剂量CT图像能够适应于采用RECIST1.1标准评估实体瘤疗效。采用40% ASiR技术明显降低了模型图像噪音水平,使120 mA扫描获得的模型噪音接近300 mA扫描的水平,而CT值并没有明显改变。降低CT图像噪音不但对于提高临床诊断具有价值,而且对于一些半定量、定量分析具有更重要的价值。

(2)采用ASiR技术能够将常规PET/CT扫描中低剂量CT图像恢复到具有临床诊断价值的图像。PET/CT和常规CT扫描不同,PET/CT在进行PET扫描时必须进行CT扫描,因为CT图像首先需要用于对PET成像过程进行精确的校正。这样PET和CT连续、序列化扫描明显增加了受检者射线的吸收剂量^[4]。为此,目前PET/CT使用的规范中要求必须使用低剂量CT扫描,以减少对患者的辐射剂量。但是,低剂量CT图像除了用于对PET图像进行校正外,临床还期望借助同机扫描CT图像提高PET/CT设备整体临床诊断效能。ASiR技术已经广泛应用于CT的临床实践^[5-6],对于降低CT剂量及提高图像质量方面发挥了重要的作用,然而ASiR技术在PET/CT全身扫描中的应用还未见报道,本研究将ASiR技术应用于PET/CT扫描,明显降低了全身CT图像的噪音、显著提高了图像质量,尤其是对腹部肝脏正常组织及病灶边缘的显示更清晰,以方便测量病灶的真实大小,使其适用于RECIST标准。

(3)采用ASiR技术提高了PET/CT的社会效益

和经济效益。常规PET/CT全身扫描过程中的低剂量CT图像存在高噪音,这明显影响CT图像临床诊断的效能。有时为了能提高临床诊断准确率,需要在低剂量CT扫描基础上增加局部诊断CT。这就增加了患者的辐射剂量和临床工作的重复性。采用ASiR技术后有效地解决了这一类临床问题。

本研究结果表明,通过ASiR技术能够有效地降低PET/CT全身扫描中低剂量CT图像噪音、提高临床图像质量。

参 考 文 献

- [1] 辛军,赵周社,陆喆,等.比较TOF-PET和PSF-PET图像重建技术在临床中的应用价值.中国临床医学影像杂志,2012,23(8): 568-571.
- [2] McCollough CH, Bruesewitz MR, Kolfer JM Jr. CT dose reduction and dose management tools: overview of available options. Radiographics, 2006, 26(2): 503-512.
- [3] Gervaise A, Osemont B, Lecocq S, et al. CT image quality improvement using Adaptive Iterative Dose Reduction with wide-volume acquisition on 320-detector CT. Eur Radiol, 2012, 22(2): 295-301.
- [4] Tian J, Yang X, Yu L, et al. A multicenter clinical trial on the diagnostic value of dual-tracer PET/CT in pulmonary lesions using 3'-deoxy-3'-¹⁸F-fluorothymidine and ¹⁸F-FDG. J Med Nucl, 2008, 49(2): 186-194.
- [5] Singh S, Kalra MK, Shenoy-Bhangle AS, et al. Radiation dose reduction with hybrid iterative reconstruction for pediatric CT. Radiology, 2012, 263(2): 537-546.
- [6] Desai GS, Uppot RN, Yu EW, et al. Impact of iterative reconstruction on image quality and radiation dose in multidetector CT of large body size adults. Eur Radiol, 2012, 22(8): 1631-1640.

(收稿日期: 2013-02-24)