# ・CT 低剂量影像学专题・ 迭代重建对肺肿块低剂量 CT 灌注成像参数的影响

董健,高莉,王霄英,邱建星,许玉峰,王鹤,郭小超,蒋学祥

【摘要】目的:探讨自适应统计迭代重建(ASIR)算法对低剂量 CT 首次通过法肺肿块灌注成像参数的影响。方法: 28 例肺肿块患者行首次通过法低剂量 CT 灌注成像检查,所得原始数据采用滤波反投影(FBP)和 30% ASIR 两种方法进 行重建(重建层厚 2.5mm),测量两种算法重建图像上主动脉 CT 值、图像噪声及肺肿块灌注成像参数,包括表面通透性 (PS)、平均通过时间(MTT)、血流量(BF)和血容量(BV),采用配对 t 检验分析两种重建算法所测量的各参数值的差异。 结果:FBP和 30% ASIR 重建算法比较:主动脉 CT 值分别为(35.32±2.39)和(35.54±2.71)HU,差异无统计学意义 (P=0.617);FBP 组图像噪声(51.60±5.34)明显高于 30% ASIR 组(40.42±3.10),差异有高度统计学意义(P<0.01)。 两种重建算法测量的各项灌注参数(PS、MTT、BV和 BF)值差异均无统计学意义(P>0.05)。结论:在低剂量 CT 首次通 过法肺肿块灌注成像中,30% ASIR 算法测量的各项参数与 FBP 重建算法相比无明显差异,但图像噪声明显降低。

【关键词】 体层摄影术,X线计算机;迭代重建算法;灌注成像;肺肿瘤;辐射量

【中图分类号】R814.42, R734.2 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2013)03-0280-04

Functional parameters of pulmonary tumors in low-dose perfusion CT with different reconstruction techniques: comparison of ASIR and FBP DONG Jian, GAO Li, WANG Xiao-ying, et al. Department of Radiology, Peking University First Hospital, Beijing 100034, P. R. China

**[Abstract] Objective**: To compare the difference of filtered back projection (FBP) and adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) in functional parameters of first-pass perfusion CT in pulmonary tumors with volume helical shuttle scan. **Methods**: Twenty-eight consecutive patients with pulmonary tumors underwent first-pass perfusion CT with volume helical shuttle technique. All the raw data had been reconstructed with different reconstruction techniques; FBP and 30% ASIR, the slice thickness being 2.5mm. The CT values of aorta and image noise were recorded for both groups. The Parametric maps for the permeability surface (PS), blood flow (BF), blood volume (BV) and mean transit time (MTT) were calculated. Paired samples t test was used to analyze the difference. **Results**: Compared with FBP reconstruction technique, 30% ASIR demonstrates lower image noise [(51.60±5.34) vs (40.42±3.10), P<0.01], with no statistical difference in CT values of aorta [(35.32±2.39)HU vs (35.54±2.71)HU, P=0.61]. All the functional parameters of CT perfusion between two groups, including PS, MTT, BV and BF, showed no statistical difference (P>0.05). **Conclusion**: Application of ASIR demonstrates no influence in functional parameters acquired from CT perfusion with volume helical shuttle technique, though the noise is lower than FBP.

**[Key words]** Tomography, X-ray computed; Iterative reconstruction method; Perfusion imaging; Pulmonary neoplasms; Radiation dose

肺癌在导致人类死亡的各类肿瘤疾病中占第一位,CT灌注成像在鉴别肺部肿块的性质和评价疗效方面都有重要价值<sup>[1-3]</sup>,然而因辐射剂量较高而难于广泛应用于临床。随着合理使用低剂量(as low as reasonably acceptable,ALARA)原则的提出,如何在满足临床诊断的前提下,合理降低受检者所受辐射剂量成为研究热点。近年来,低剂量 CT 研究取得较大进展。已有研究表明,与传统滤波反投影(filtered back projection,FBP)重建算法相比,自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction,ASIR)算法可以有效降低噪声,解决低剂量 CT 导致的图像质

作者单位:100034 北京,北京大学第一医院医学影像科 作者简介:董健(1980-),男,山东潍坊人,博士,主要从事体部影 像诊断研究工作。 通讯作者:王霄英,E-mail: cjr. wangxiaoying@vip.163.com 量下降的问题<sup>[4-7]</sup>,而 ASIR 对低剂量肺肿块 CT 灌注 参数的影响尚未见报道。因此,本研究采用低剂量 CT 方案进行肺肿块灌注扫描,分析比较 FBP 和 ASIR 两种不同算法所得灌注功能参数,进而探讨 ASIR 对 低剂量 CT 肺肿块病变灌注参数的影响。

## 材料与方法

#### 1. 一般资料

本研究经医院伦理委员会批准,所有受检者均签 署知情同意书。2012年1月-6月因肺肿块入在本院 行低剂量 CT 灌注成像检查的患者 32例,男18例,女 14例,年龄 37~84岁,平均 61.4岁。入组标准:①初 诊周围性肺肿块,即将行穿刺活检或手术者;②年龄> 35岁;③无对比剂过敏、心肺功能衰竭;④扫描范围内 无起搏器、金属植入物等降低图像质量者。4 例患者 因屏气不佳排除,最终纳入研究者共28 例,男17 例, 女11 例,年龄37~76 岁,平均62.5 岁。28 例受检者 共31 个结节纳入本研究,肿块最大径2.4~7.2 cm, 平均(4.0±1.12) cm。所有结节均为恶性,其中鳞癌 11 例、腺癌15 例、小细胞肺癌4 例、肉瘤1例。

2. 仪器与方法

采用 GE Discovery CT750 HD 64 层螺旋 CT 扫 描仪。扫描前对受检者进行憋气训练,采用容积穿梭 技术进行首次通过法动态灌注 CT 扫描,扫描范围包 括整个肿块。采用 Madred 高压注射器以 5 ml/s 流率 自肘前静脉注射 20 ml 碘普罗胺(300 mg I/ml)以及 20 ml 生理盐水,注射同时启动扫描,连续扫描 30 s,其 后分别在 45、60、75 和 120 s 这 4 个时间点采集,扫描 参数:80 kVp,10~200 mA,噪声指数设定为 20,层厚 10 mm,间隔 10 mm,螺距 1.75,0.5 s/r。

3. 图像分析

所有图像均传输至 GE AW 4.5 工作站,分别采 用 FBP 和 30% ASIR 算法进行重建,重建层厚 2.5 mm, 重建间隔 2.5 mm, 测量肺肿块最大径并记 录。选取扫描层面的主动脉划取兴趣区,记录其 CT 值,测量3次后取均值,并将3次测量所得CT值的标 准差的平均值作为图像噪声(noise, NI)。采用 GE AW 4.5 工作站软件包 CT perfusion 4 进行分析,以 主动脉作为输入动脉,自动进行图像重建和伪彩色处 理得到功能参数分布图,取同层功能参数图采用 GE AW 4.5 工作站自带软件 Histogram 划分兴趣区,所 得灌注参数包括表面通透性(permeability surface, PS)、血流量(blood flow, BF)、血容量(blood volume, BV)和平均通过时间(mean transit time, MTT)。记 录所有受检者剂量报告中的 CT 剂量指数(volumetric CT dose index, CTDIvol)和剂量长度积(dose-length product, DLP),转换系数为0.017。

4. 统计分析

采用 SPSS 16.0 统计软件进行统计学分析。采用

配对样本 t 检验分析两种重建方法所 得主动脉 CT 值及图像噪声的差异, 以及灌注功能参数 PS、BF、BV、MTT 的统计学差异。取 P < 0.05 为差异 有统计学意义。

#### 结果

FBP和 30%ASIR 图像上(图 1) 主动脉 CT 值分别为(35.32±2.39) 和(35.54±2.71) HU,差异无统计学 意义(P=0.61);FBP 组图像噪声明 两组获得的低剂量 CT 灌注功能参数 PS、MTT、 BV、BF 结果及比较见表 1,两组间各灌注功能参数无 明显差异(图 2)。

表1 FBP与 ASIR 图像上灌注参数测量结果

指标	FBP	30 % ASIR	P值
$PS[ml/(100g \cdot min)]$	26.1 $\pm$ 3.74	26.2±4.14	0.66
BV(ml/100g)	14.8 $\pm$ 5.26	14.7 $\pm$ 5.43	0.52
$BF[ml/(100g \cdot min)]$	77.8 $\pm$ 22.3	78.2 $\pm$ 22.4	0.16
MTT(s)	$16.8 \pm 4.89$	$16.9 \pm 4.9$	0.66

辐射剂量:本组灌注扫描方案的 CTDIvol 值 45.8~111.0 mGy, DLP 值 392~932 mGy•cm,最终 受检者辐射剂量为 6.66~15.84 mSv。

### 讨 论

CT 灌注成像在鉴别肺部肿块的性质、评价其治 疗效果方面具有重要价值。然而,使用常规条件行 CT 灌注成像会使受检者所受辐射剂量明显增高,因 此临床中采用低剂量 CT 灌注扫描方案成为必 然<sup>[8-10]</sup>。低剂量 CT 灌注扫描技术是在 ALARA 原则 的基础上,采用多种低剂量扫描方案,应用于 CT 灌注 扫描中,最终在能够满足灌注扫描的前提下合理降低 扫描剂量。既往研究表明,使用低剂量 CT 灌注扫描 方案可以完成肺肿块的灌注检查,但其图像噪声明显 升高<sup>[11-12]</sup>。本研究中,应用多项低剂量扫描技术:降低 管电压至 80 kVp,采用自动管电流调节技术,将管电 流设定在 20~200 mA,采用大螺距 1.75 以减少扫描 时间,同时应用 ASIR 算法进行重建,以期降低图像噪 声。结果表明,低剂量 CT 灌注技术的应用并未改变 所得灌注参数值,而辐射剂量降低。

随着低剂量 CT 技术的成熟和发展,受检者可以 在较低的辐射剂量条件下,获得能够满足诊断的图像 质量。尤其是近年来 ASIR 重建技术的普及应用,进 一步降低了图像噪声,提高了图像质量。Romagnoli



图 1 FBP与 30% ASIR 图像比较,主动脉 CT 值分别为 32.93 和 34.26 HU, 无明 显差异, FBP 图像噪声则明显高于 ASIR 图。a) FBP 图; b) ASIR 图。



等<sup>[13]</sup>研究表明,ASIR 重建方法的应用可以有效降低 辐射剂量。Desai<sup>[14]</sup>报道在腹部 CT 检查中,应用 ASIR 重建算法可降低 10%~24%的噪声。Lee 等<sup>[5]</sup> 研究证实,对儿童受检者进行低剂量检查时,应用 30%ASIR 重建可以降低 55%的辐射剂量且确保图像 质量无明显差异。在本研究中,30%ASIR 组所得图 像噪声明显低于 FBP 组,表明 ASIR 重建方法的应用 明显降低了图像噪声。

FBP 算法是一种传统的解析重建算法,广泛应用 于 CT 和 PET 中。FBP 算法的数学模型是将射线源 设定为一个点,对所采集数据进行理想化处理,进而将 所得数据用于重建图像。在此过程中,忽略了射线源 和探测器的形状及大小,也并未考虑量子噪声对投影 数据的影响。ASIR 算法将射线源和探测器设定为非 点源,将所得数据作为综合投影与实际测量投影相比 较,并将两者差异作为量子噪声进行统计,据此建立系 统噪声模型,在整个过程中通过迭代重建分析所得数 据并进行多次校正,按不同比例加权融合进行迭代方 法运算,达到不同程度降低噪声的效果。Marin 等<sup>[15]</sup> 在腹部 CT 检查中,应用低管电压 80 kVp、高管电流 675 mA的方法进行扫描,应用ASIR技术进行重建, 图像噪声明显减低。此外,多项研究表明降低 CT 辐 射剂量 32%~65%进行 CT 检查,并采用 ASIR 算法 重建图像后,其图像质量不受影响[5,16-18]。

本研究中应用 ASIR 算法进行图像重建后,与传 统 FBP 算法相比,主动脉 CT 值无明显差异。分析原 因,可能为 ASIR 重建算法模型与 FBP 算法模型相 似,因此并未改变组织的 CT 值。既往研究中,低剂量 CT 灌注方案的应用虽然降低了辐射剂量,但图像噪 声升高,对于传统的 FBP 重建算法而言,当辐射剂量 降低时,量子噪声对投影数据的影响增大,进而使重建 所得图像噪声增大,故其应用受到限制。而本研究中, 应用 ASIR 算法进行图像重建,降低了图像噪声,并进 一步探讨其对动态灌注功能参数的影响。研究结果显 示,30% ASIR 与 FBP 算法所得灌注功能参数无显著 差异,其原因可能为采用 ASIR 重建算法虽然降低了 图像噪声,但由于其模型与传统 FBP 相似,测量的组 织 CT 值并无明显差异,因此对动态灌注参数的影响 无统计学意义。

本研究存在以下局限性:首先,本研究仅对于 ASIR 重建比例为 30%进行比较,进一步研究中应设 定不同间隔比例的 ASIR 进行分析;其次,入组病例最 终病理结果均为恶性,无良性病灶,ASIR 对于良性病 例的灌注参数的影响是否与恶性组相同,需要进一步 扩充病例进行研究;第三,本研究中低剂量 CT 灌注扫 描采用自动管电流调节技术,噪声指数设定为 20,可 否进一步优化噪声水平,有待于进一步研究。

总之,30%ASIR 算法与传统 FBP 算法相比,降低

# 了低剂量 CT 灌注肺肿块扫描所得图像的噪声,提高 了图像质量,而对灌注参数则无明显影响。

#### 参考文献:

- [1] Hegenscheid K, Behrendt N, Rosenberg C, et al. Assessing early vascular changes and treatment response after laser-induced thermotherapy of pulmonary metastases with perfusion CT: initial experience[J]. Am J Roentgenol, 2010, 194(4): 1116-1123.
- [2] 朱天照,唐光建,蒋学祥.低剂量螺旋 CT 肺结节扫描与常规剂量 CT 的对照研究[J].中华放射学杂志,2004,38(4):428-431.
- [3] Ohno Y,Koyama H,Matsumoto K,et al. Differentiation of malignant and benign pulmonary nodules with quantitative first-pass 320-detector row perfusion CT versus FDG PET/CT[J]. Radiology,2011.258(2):599-609.
- [4] Deak Z,Grimm JM, Treitl M, et al. Filtered back projection.adaptive statistical iterative reconstruction.and a model-based iterative reconstruction in abdominal CT: an experimental clinical study [J]. Radiology, 2013, 266(1):197-206.
- [5] Lee SH, Kim MJ, Yoon CS, et al. Radiation dose reduction with the adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) technique for chest CT in children: an intra-individual comparison[J]. Eur J Radiology, 2012,81(9):938-943.
- [6] Ren Q, Dewan SK, Li M, et al. Comparison of adaptive statistical iterative and filtered back projection reconstruction techniques in brain CT[J]. Eur J Radiology, 2012, 81(10):2597-2601.
- [7] Cornfeld D.Israel G.Detroy E.et al. Impact of adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) on radiation dose and image quality in aortic dissection studies: a qualitative and quantitative analysis[J]. Am J Roentgenol, 2011, 196(3): 336-340.
- [8] Brenner DJ, Hall EJ. Cancer risks from CT scans: now we have data, what next? [J]. Radiology, 2012, 265(2): 330-331.
- [9] Lee KH, Lee JM, Moon SK, et al. Attenuation-based automatic tube voltage selection and tube current modulation for dose reduction at contrast-enhanced liver CT[J]. Radiology, 2012, 265(2): 437-447.
- [10] Sodickson A, Warden GI, Farkas CE, et al. Exposing exposure:

automated anatomy-specific CT radiation exposure extraction for quality assurance and radiation monitoring[J]. Radiology, 2012, 264(2):397-405.

- [11] Tacelli N, Remy-Jardin M, Copin MC, et al. Assessment of nonsmall cell lung cancer perfusion: pathologic-CT correlation in 15 patients[J]. Radiology, 2010, 257(3):863-871.
- [12] Ng CS, Chandler AG, Wei W, et al. Reproducibility of perfusion parameters obtained from perfusion CT in lung tumors[J]. Am J Roentgenol, 2011, 197(1):113-121.
- [13] Romagnoli A, Funel V, Meschini A, et al. Optimisation of lowdose CT with adaptive statistical iterative reconstruction in total body examination[J]. Radiol Med, 2012, 117(8):1333-1346.
- [14] Desai GS, Thabet A, Elias AY, et al. Comparative assessment of three image reconstruction techniques for image quality and radiation dose in patients undergoing abdominopelvic multidetector CT examinations[J]. Br J Radiol, 2013, 86(1021):20120161.
- [15] 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.
- [16] 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[J]. Eur Radiology, 2012, 22(8):1631-1640.
- [17] Katsura M, Sato J, Akahane M, et al. Comparison of pure and hybrid iterative reconstruction techniques with conventional filtered back projection: image quality assessment in the cervicothoracic region[J]. Eur J Radiology, 2013, 82(2):356-360.
- [18] Mitsumori LM, Shuman WP, Busey JM, et al. Adaptive statistical iterative reconstruction versus filtered back projection in the same patient:64 channel liver CT image quality and patient radiation dose[J]. Eur Radiology, 2012, 22(1):138-143.

(收稿日期:2013-01-23 修回日期:2013-02-11)