

Effect of image processing in digital chest radiograph on pulmonary nodules detection

WANG Ke-yang¹, HE Wen^{1*}, HE Qian¹, WANG Tao², ZHAO Li-qin¹,

LI Xiao-qiang¹, LI Chen³, LI Hui¹, XIAO Guo-wen¹

(1. Department of Radiology, Beijing Friendship Hospital Affiliated to Capital Medical University,

Beijing 100050, China; 2. Department of Radiology, Guizhou Province Public Hospital,

Guiyang 550009, China; 3. Department of Radiology, Wuan Chinese Medical Hospital, Wuan 056300, China)

[Abstract] **Objective** To evaluate the effect of multiscale processing in digital chest radiography on pulmonary nodules detection. **Methods** Fifty normal cases and fifty small nodule patient cases confirmed by chest CT were selected. Each case had been taken a chest radiograph obtained with a digital radiography system, and the acquired image was processed by three types of multiscale processing with different structure preference values. Three groups of different experienced radiologists independently reviewed and recorded the results of pulmonary nodules detection. All observations were evaluated by the receiver operating characteristic (ROC) analysis. **Results** The mean area under the ROC curve (A_z) values of default images, high-pass images and low-pass images were 0.739 ± 0.019 , 0.697 ± 0.020 , 0.789 ± 0.017 ($P < 0.05$), respectively. Among the three kinds of different processing images, the A_z value of low-pass was highest. The high-pass images had the lowest A_z value and highest false negative rate, and the false positive rate of default images was highest. **Conclusion** Multiscale processing in digital chest radiography affects the pulmonary nodules detection. The low-pass processing increased the relevance rate of the pulmonary nodules detection, while the high-pass processing increased the omission rate.

[Keywords] Digital radiography; Image processing; Multiscale processing; Pulmonary nodule; Receiver operating characteristic curve

胸部 DR 影像后处理对肺结节检出的影响

王克扬¹, 贺文^{1*}, 何茜¹, 王涛², 赵丽琴¹, 李晓强¹, 李晨³, 李辉¹, 肖国文¹

(1. 首都医科大学附属北京友谊医院放射科, 北京 100050; 2. 贵州省人民医院放射科, 贵州 贵阳 550009;

3. 河北省武安市中医院放射科, 河北 武安 056300)

[摘要] **目的** 评价 DR 影像多频域后处理方式对肺内结节检出的影响。**方法** 选取经胸部 CT 证实的 50 例有肺内结节和 50 例正常者的 DR 正位胸片, 采用多频域后处理得到标准、高通过及低通过 3 组图像, 由低、中、高年资医师各 2 名进行评价, 评价结果用受试者工作特征 (ROC) 曲线进行统计分析。**结果** 标准、高通过及低通过 3 组图像 ROC 曲线下面积分别为 0.739 ± 0.019 , 0.697 ± 0.020 , 0.789 ± 0.017 ($P < 0.05$), 三组中, 低通过组结节检出率最高, 高通过组结节检出率最低、假阴性率最高, 标准组假阳性率最高。**结论** DR 影像多频域后处理对肺结节的检出有影响, 低频增强处理可以提高肺结节的检出率, 高频增强处理漏诊率增加。

[关键词] 数字化放射影像; 图像后处理; 多频域后处理; 肺结节; ROC 曲线

[中图分类号] R563; R814 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2007)11-1727-03

数字化放射影像 (digital radiography, DR) 系统的一个特点是具有数字影像后处理 (digital image processing) 功能, 通过

调节图像动态范围、细节对比度、空间分辨率和图像噪声, 使诊断信息得以突出显示^[1]。目前较先进的多频域后处理 (multiscale processing) 方法可以对不同频率带的结构分别增强, 并具有抗噪声及兼容临床通用标准算法等特点^[2]。

一些研究表明, 改变数字图像的重建参数可提高肺结节的显示效果, 显著影响放射医师对病灶的发现。既往的研究中, 图像空间频率处理的技术多采用较简单的非锐化遮盖方法^[3], 而多频域后处理技术对肺结节检出的影响, 目前报道较

[作者简介] 王克扬 (1983 -), 男 (回族), 北京人, 在读硕士。研究方向: 胸部影像诊断。E-mail: ke7ke@sina.com

[通讯作者] 贺文, 首都医科大学附属北京友谊医院放射科, 100050。

E-mail: hewen1724@sina.com

[收稿日期] 2007-05-12 **[修回日期]** 2007-08-12

少,本文目的在于评价多频域后处理对肺结节检出的影响。

1 资料与方法

1.1 病例选择 本研究收集自 2006 年 4 月至 2007 年 5 月经胸部 CT 检查证实的 50 例肺内结节患者及 50 例正常者的胸部后前位 DR 片。具体纳入标准如下:①结节直径 5 ~ 15 mm;②非纵隔、心影及横膈重叠处结节;③实际结节数量不超过 6 个;④患者无明显严重呼吸系统疾病,如肺间质性病变的病史;⑤排除外来物和正常变异的干扰。以上病例均在 2 周内经 CT 检查证实。CT 阳性者 50 例,男性 20 例,女性 30 例,年龄 31 ~ 74 岁,平均 52.5 岁;CT 阴性者 50 例,男性 26 例,女性 24 例,年龄 29 ~ 78 岁,平均 53.5 岁。结节平均直径 9.9 mm,其中直径 5 ~ 9 mm 的结节 28 个,直径 10 ~ 15 mm 者 34 个。左肺上叶 20 个结节,左肺下叶 5 个结节,右肺上叶 16 个结节,右肺中叶 6 个结节,右肺下叶 15 个结节。

1.2 检查设备 所有后前位 DR 胸片均采用 Philips 公司 DR 系统 digital diagnosis realease 1.3 (141 kV,0.89 mAs,Exposure index 250, Imaging plate 43 cm × 43 cm, Matrix size 3000 × 3000, Gray level 14 bit) 获得及后处理;胸部 CT 采用 GE 公司 8 排螺旋 CT (Lightspeed Ultrafast CT) 扫描,层厚及层间距 5 mm;图像经 EBM 公司的图像存档和传输系统 (picture archiving and communication system, PACS) 存储和输出,在 Barco 公司高分辨率双屏显示器上进行观察。

1.3 图像后处理 采用 DR 系统随机配置的多频域处理软件 (UNIQUE),通过选择不同的 Structure preference 值,对每例病例的胸部后前位 DR 图像进行空间频率处理,得到标准、高通过、低通过图像各 1 幅。标准图像采用厂家出厂时设置的后处理参数: Density 1.0, Gamma 2.0, Structure preference 0.0, Structure boost 2.0, Noise compensation 0.0;高通过图像,处理参数: Density 1.0, Gamma 2.0, Structure preference 0.4, Structure boost 2.0, Noise compensation 0.0;低通过图像,处理参数: Density 1.0, Gamma 2.0, Structure preference -0.4, Structure boost 2.0, Noise compensation 0.0。

1.4 图像观察及数据采集 100 例病例的研究资料按空间频率处理方式分为标准组、高通过组、低通过组 3 组,各组 100 幅图像。邀请 2 名低年资医师 (从事放射工作少于 10 年)、2 名中年资医师 (从事放射工作 10 ~ 20 年) 及 2 名高年资医师 (从事放射工作 20 年以上) 对图像进行评价,记录所有可疑结节的检测结果,包括所在区域、数量、大小、特征及重叠情况等,采用国际上常用的 5 分法对每个结节评分^[4,5],即 1 分 (肺内结节明显不存在),2 分 (肺内结节可能不存在),3 分 (无法判定),4 分 (肺内结节可能存在),5 分 (肺内结节明显存在)。在正式阅片前通过预阅片,使每位观察者熟悉评分方法及判定模式。将结节组与正常组胸片图像随机混合,每位观察者一次完成一组图像的评价,每组图像评价完毕后间隔 1 周时间再进行另一组图像的评价。以 CT 结果作为金标准,应用受试者操作特性曲线 (receiver operating characteristic, ROC) 对结果进行统计分析^[8]。

1.5 统计学处理 使用 SPSS 10.0 软件分别计算标准组、高通过组和低通过组的 ROC 曲线下面积 (A_z 值),分析不同频

率后处理对肺结节检测的影响。3 组间的 ROC 曲线下面积差异通过两样本配对 t 检验进行评价, $P \leq 0.05$ 为差异有显著统计学意义。

2 结果

100 例病例中,CT 证实 50 例存在肺内结节,共观察到 62 个结节。其中单个结节 43 例,2 个结节 5 例,3 个结节及 6 个结节各 1 例。其中标准组图像平均检出 51.2 个 (82.5%),高通过图像组平均检出 49.0 个 (79.0%),低通过图像组平均检出 51.8 个 (83.6%)。标准组、高通过组及低通过组 ROC 曲线下平均面积的比较见表 1 及图 1。其中低通过组的 ROC 曲线下平均面积大于标准组 ($P < 0.05$),而标准组又大于高通过组 ($P < 0.05$)。低通过组的真阳性率最高 (82.5%),假阳性率最低 (36.0%);标准组假阳性率最高 (43.0%);高通过组的假阴性率最高 (21.0%),同时真阳性率最低 (79.0%)。

表 1 多频域后处理对三组图像肺结节观察的统计分析结果

统计指标	标准组	高通过组	低通过组
灵敏度* (%)	82.5	79.0	83.6
特异度* (%)	57.0	57.7	64.0
假阴性率 (%)	17.5	21.0	16.4
$A_z \pm SE^{**}$	$0.739 \pm 0.019^{\#}$	$0.697 \pm 0.020^{\#}$	$0.789 \pm 0.017^{\#}$

注: * 灵敏度即真阳性率,特异度即 1 - 假阳性率; ** $A_z \pm SE$ 即 ROC 曲线下面积 $\pm$ 标准误; $^{\#}P < 0.05$,任意两组间有明显统计学差异

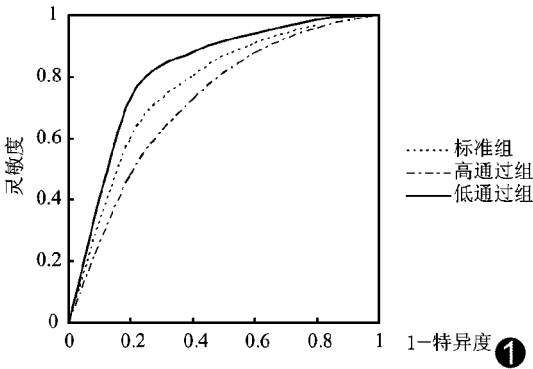


图 1 标准组、高通过组与低通过组 ROC 曲线的比较

不同年资观察者的标准组、高通过组及低通过组的 ROC 曲线下平均面积见表 2。其中低通过组平均 A_z 值仍最大,高通过组仍最小;低通过组的假阳性率在所有观察者中均为最低。同一观察者三组图像间的 ROC 曲线下平均面积有显著差异 ($P < 0.05$)。不同年资观察者三组间的 ROC 曲线下平均面积有显著差异 ($P < 0.05$)。

表 2 低、中、高年资医师组检测肺结节的平均 A_z 值

组别	低年资组	中年资组	高年资组
标准组	0.749 ± 0.031	0.707 ± 0.034	0.766 ± 0.032
高通过组	0.668 ± 0.034	0.699 ± 0.034	0.722 ± 0.034
低通过组	0.789 ± 0.029	0.788 ± 0.030	0.795 ± 0.031

注:不同年资三组间的 ROC 曲线下平均面积有显著差异, $P < 0.05$

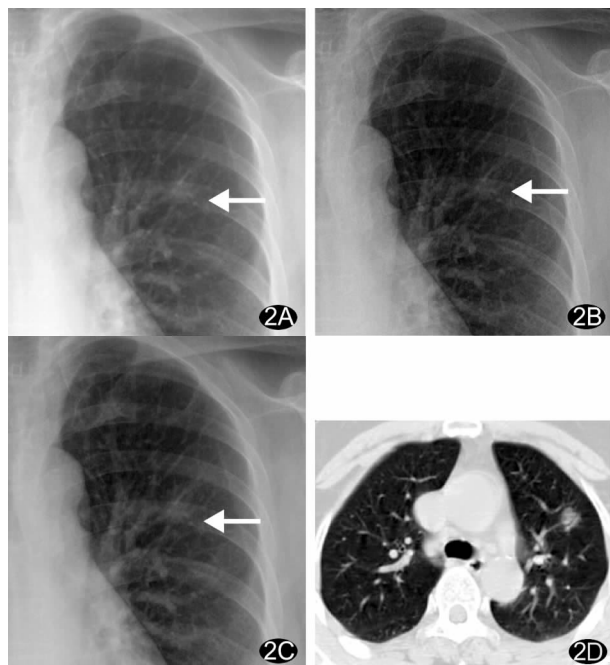


图2 肺癌 胸部 CT(D)示位于左肺上叶,直径 10 mm; A. 为标准图像; B. 为高通过图像; C. 为低通过图像,与图 A、B 比较结节显示效果最好

3 讨论

本研究通过采用 DR 系统多频域后处理软件参数中不同的 Structure Preference 值对一次曝光获得的胸部后前位 DR 片进行后处理,观察不同后处理参数对肺内结节检出的影响,并用 ROC 曲线进行分析。三组图像中, A_z 值及真阳性率以低通过组最高,高通过组最低,标准组居中;假阴性率(漏诊率)及假阳性率(误诊率)以低通过组最低;假阴性率以高通过组最高;假阳性率以标准组最高。低通过图像对肺内结节显示效果最好,灵敏度及特异度最高;而高通过图像对肺内结节的显示效果最差,结节容易漏检;与低通过及高通过图像相比,标准图像的检出的假阳性增加。结果表明数字化图像后处理影响肺内结节的检出。

DR 图像的空间频率是影响肺结节显示效果的重要因素之一,DR 图像中高空间频率对应图像的细节与轮廓的锐利度,而低空间频率包含的是物体密度整体的变化,例如,肺结节与其周围结构之间的密度差异或骨骼与关节软组织之间的密度差异。与常规 X 线图像相比,数字 X 线图像空间分辨率及对比度较低,对细节显示不如普通图像,恰当的后处理可有助于弥补这种不足^[1,3]。改变图像空间频率是图像后处理的方法之一,而多频域后处理是常用的改变图像空间频率后处理技术的一种,将其原始图像分解为高频带及低频带信号,再将其中的低频带信号反复地分解,最后将分解出的图像增强后合成最终图像^[2,6,7]。Structure Preference 为多频域后处理软件的一个影响图像频率特性的参数。默认处理 SP 值是参照放射科医师对模拟胶片影像的观片经验来设置的。在调整 $|SP| \leq 0.2$ 时,图像对比改变不大;当 $|SP| \geq 0.6$ 时,图像组织间对比与观片经验相差甚远,放射科医师难于接受,故取折中

设置 $|SP|$ 值为 0.4。本文中选择的 SP 值为 -0.4 时,得到低通过图像,由于采用此数值时增强空间频率相对低的结构,增强了肺结节的整体结构,平滑结节边缘,增加结节与周围组织对比,降低细小结构的锐利度,因而表现为高的 A_z 值及真阳性率,低的假阴性率(漏诊率)及假阳性率(误诊率)。选择 SP 值为 0.4 时,得到高通过图像,此时增强空间频率相对高的结构,结节内部细微结构得到增强,肺血管边缘锐化,同时噪声增加,结节与周围组织对比度降低,表现为低的 A_z 值及真阳性率,高的假阴性率;选择 SP 值为 0.0 时,得到标准图像,图像中高的及低的空间频率得到相同的增强,比高、低通过图像的对比度低, A_z 值、真阳性率及假阴性率在三组间居中。

对观察者而言,中、低年资医生组所受影响较高年资医生大。在对三组图像进行评价时,低年资医生低通过组图像的 A_z 值为 0.789,标准组图像为 0.749,两者间有显著性差异($P < 0.05$);中年资医生低通过组图像的 A_z 值为 0.707,标准组图像为 0.788;高年资医生低通过组图像的 A_z 值为 0.766,标准组图像为 0.795,中、低年资医生 A_z 值低通过图像与标准组图像的差值大于高年资医生。其原因,可能与高年资医生阅片经验丰富有关。

需要注意的是,胸片通常作为肺癌的筛查手段,更关注的是假阴性率的降低,本组数据中假阳性率在 30% ~ 40% 之间,可能受此因素的影响。

本实验结果表明,改变图像的频率特征影响肺结节的检出,但最优化的频率特征参数尚需要进一步研究得出。

【参考文献】

- [1] Prokop M, Schaefer-Prokop CM. Digital image processing[J]. Eur Radiol, 1997, 7(3): S73-S82.
- [2] Stahl M, Aach T, Dippel S. Digital radiography enhancement by non-linear multiscale processing[J]. Med Phys, 2000, 27(1): 56-65.
- [3] Prokop M, Schaefer CM, Oestmann JW, et al. Improved parameters for unsharp mark filtering of digital chest radiographs[J]. Radiology, 1993, 187(2): 521-526.
- [4] Porrello C, Alifano M, Forti Parri SN, et al. Surgical treatment of stage I lung cancer: results and prognostic factors[J]. J Cardiovasc Surg, 2002, 43(5): 723-727.
- [5] Shah R, Sabanathan S, Richardson J, et al. Results of surgical treatment of stage I and II lung cancer[J]. J Cardiovasc Surg, 1996, 37(4): 169-172.
- [6] Stahl M, Aach T, Buzug TM, et al. Noise-resistant weak-structure enhancement for digital radiography[C]. Proc SPIE, 1999, 3661.
- [7] Höppner S, Maack I, Neitzel U, et al. Equalized contrast display processing for digital radiography[C]. Bellingham, Wash, USA: Proc SPIE, 2002: 4681, 617.
- [8] Obuchowski NA. Receiver operating characteristic curves and their use in radiology[J]. Radiology, 2003, 229(1): 3-8.