

## Impact of computer-aided detection system on the nodules of pulmonary in digital chest radiography of image multiscale processing

XU Yan, HE Wen\*, WANG Ke-yang, LI Juan, MA Da-qing

(Department of Radiology, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China)

**[Abstract]** **Objective** To evaluate the impact of a available computer-aided detection (CAD) system with an interactive lung nodules analysis software on detecting the pulmonary nodules on digital chest radiograph with image processing. **Methods** Totally 248 normal subjects and 30 patients with pulmonary nodules confirmed by chest CT were enrolled. Philips UNIQUE software was used to process these images in high-frequency and low frequency. Two experienced chest radiologists (10+ years of experience) read these imaging pictures combined with the relating CT images to mark the location of all nodules with consensus, then stored the diagnostic reports of the marked nodules as golden standard in the CAD. Then CAD system read these images. Two radiologists evaluated the false-positive and sensitivity detection of lung nodules of CAD system on the multiscale processing. **Results** There were 715, 585 and 286 false-positive nodules respectively on 248 subjects in low frequency, routine frequency and high frequency imagings with an average of 2.88, 2.36 and 1.15 false-positives area ( $P < 0.05$ ). There were 38 lung nodules in 30 digital chest radiographies, the CAD system detected 33, 30 and 28 nodules respectively in low-pass images, standard images and high-pass images, the detection sensitivity was 86.84%, 78.95% and 73.68%, respectively, and the area under the ROC curve was 0.722, 0.670 and 0.618, respectively. **Conclusion** The prophase experimental results indicate the image multiscale processing of digital chest radiograph does not impact the detectivity of this CAD system, but there are a tendency to increase gradually in detection with false-positive in low-frequency, routine-frequency and high-frequency, and there is a tendency to descend gradually in the detection sensitivity with three multiscale processing images.

**[Key words]** Lung neoplasms; Digital radiograph; Multiscale processing; Diagnosis, computer-assisted; Receiver operating characteristic curve

DOI:10.13929/j.1003-3289.2015.02.002

## 多频域后处理图像对计算机辅助检测数字胸片上肺结节能力的影响

徐岩, 贺文\*, 王克扬, 李娟, 马大庆

(首都医科大学附属北京友谊医院放射科, 北京 100050)

**[摘要]** **目的** 评价多频域后处理数字胸片图像对计算机辅助检测系统输出结果的影响。 **方法** 选择经 CT 证实正常 248 名受检者的 DR 后前位胸片和 30 例有肺结节的 DR 后前位胸片, 并应用 Philips UNIQUE 软件对其进行高频、低频处理。由 2 名 10 年以上经验的放射科医生结合 CT 图像阅读胸片, 二人意见达成一致后, 在数字化胸片上标记结节位置, 保存标记结果并将其作为金标准。然后由 CAD 系统阅读后处理图像, 由 2 名医师评价 CAD 系统在后处理图像上肺结节检测的假阳性区域和敏感度。 **结果** CAD 系统在 248 例低频、常规和低频图像上分别显示了 715、585 和 286 个可疑区域, 平均每例检出的假阳性区域分别为 2.88 个、2.36 个和 1.15 个, 3 组图像检测的假阳性区域及组间差异均具有统计学意义。30 例 DR 图像上共有 38 个金标准结节, CAD 系统在低频、常规和高频图像上分别检测到 33、30、28 个结节, 其检测

**[基金项目]** 2014 年首都医科大学基础-临床科研合作基金。

**[第一作者]** 徐岩(1975—), 女, 黑龙江佳木斯人, 博士, 副主任医师。研究方向: 医学影像诊断研究。E-mail: doctorxy08@126.com

**[通信作者]** 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]** 2014-09-19 **[修回日期]** 2014-12-18

敏感度分别为 86.84%、78.95%和 73.68%，ROC 曲线下面积分别为 0.722、0.670 和 0.618，3 组图像之间检测的差异无统计学意义。结论 高频、低频和常规图像模式对 CAD 系统检测能力无明显影响，但其在低频、常规和低频图像中检测的假阳性有逐渐增高的趋势，肺结节检测敏感度有逐步下降的趋势。

[关键词] 肺肿瘤；数字影像；多频域后处理；诊断，计算机辅助；受试者工作特征曲线

[中图分类号] R734.2；R814.4 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2015)02-0165-04

数字胸片和计算机辅助检测系统的出现掀起了放射学领域的一场革命，从根本上改变了放射科医师阅片的程序和诊断结果，为肺癌的早期发现创造了良好的条件。目前数字胸片已成为放射科检查的主要工具，可用于多种疾病的检测和诊断，其仍是肺结节检测的首选方法。数字胸片是二维影像，多种解剖结构的互相重叠会影响肺结节检出率和诊断准确率。研究<sup>[1-2]</sup>显示，临床上会有 19%~26%的肺癌被漏诊，而大部分最先进的数字化摄影技术仍存在肺结节漏诊问题<sup>[3]</sup>。最新出现的计算机辅助检测系统(computer-aided detection, CAD)可降低肺结节的漏诊率。目前关于数字胸片的 CAD 研究都是将 CAD 作为放射科医师的第二读者，即由放射科医师来判定接受或拒绝 CAD 的标记结果。Xu 等<sup>[4-5]</sup>研究发现，CAD 系统能够提高读者对于先前胸片漏诊的肺结节的检测敏感度；而 Meziane 等<sup>[6-7]</sup>认为 CAD 系统仅在降低了诊断特异度后，其检测敏感度才会有所增加。面对这些争议，一些学者认为只有提高 CAD 检测的真阳性(true-positive, TP)和假阳性(false-positive, FP)结果才能够提高 CAD 的检测性能。随着数字化胸片摄影设备的不断更新，各个厂家已开发了各种后处理技术，可突出显示部分图像的细节，从而提高诊断准确率，但后处理图像是否会影响 CAD 系统肺结节检测的敏感度，目前国内外相关研究较少。本研究旨在评价多频域后处理数字化图像对 CAD 系统输出结果的影响，以期找到一个能够提高 CAD 肺结节检测敏感度的多频域后处理方案。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2012 年 4 月—2013 年 6 月在首

都医科大学附属北京友谊医院接受健康体检的、CT 证实为正常 DR 后前位胸片的 248 例和含有肺结节 DR 后前位胸片的 30 例受检者。数字胸片入选标准包括：肺内不具有弥漫性肺疾病，每张胸片内的结节总数<6 个，结节为实性或部分实性结节(排除钙化结节及磨玻璃密度结节)，结节直径 6~20 mm。选取放射科有 10 年以上胸部放射诊断经验的医师 2 名，评价 CAD 系统在多频域后处理图像上检测肺结节的假阳性率和敏感度。

1.2 仪器与方法

1.2.1 仪器 采用 Philips Digital Diagnosis Release 1.3 数字化摄片机和 Philips UNified Image Quality Enhancement 多频域后处理软件。所有 DR 胸片采集的参数相同：管电压 140 kV，管电流 80 mAs，成像板 43 cm×43cm。应用本机所配置的 UNIQUE 后处理软件对获得原始数字胸片影像进行多频域后处理，获得 3 组图像(图 1)：A 组，常规图像；B 组，高频图像；C 组，低频图像，3 组图像的参数设置见表 1。CAD 软件系统为 EDDA 公司 IQQA™-Chest V 2.0 胸片解读分析(智能/交互式定性定量分析)系统。

1.2.2 研究方法 首先由 CAD 系统阅读经过 U NIQUE 软件进行后处理的 248 名受检者的正常 DR

表 1 3 组数字影像多频域后处理参数设置

不同组别	密度	Gamma	结构偏好	结构增强	噪声补偿
常规图像	1.6	2.1	0.0	2.0	0.2
高频图像	1.6	2.1	0.6	2.0	0.2
低频图像	1.6	2.1	-0.6	2.0	0.2

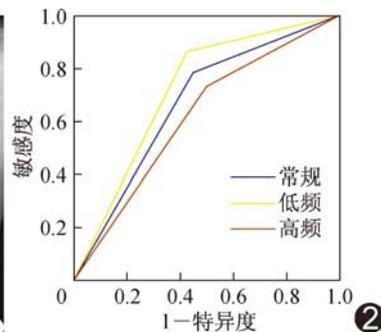
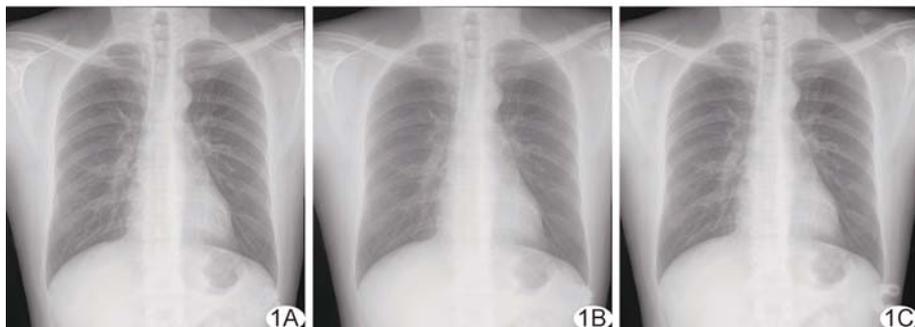


图 1 3 组多频域后处理图像 A. 常规图像；B. 高频图像；C. 低频图像

图 2 3 组多频域后处理图像的 ROC 曲线

后前位胸片,由 2 名放射科医师评判该系统在数字化后处理图像上的假阳性率;然后选择经 CT 证实的 30 例肺结节患者的 DR 后前位胸片,进行 3 组图像后处理,由 2 名放射科医生结合 CT 图像阅读胸片,二人意见达成一致后,应用手动或计算机提供的实时交互式分割功能在数字化胸片上标记结节的位置,保存标记结果并将

其作为金标准;最后由 CAD 系统阅读 3 组多频域后处理图像,由 2 名放射科医师评价 CAD 系统在后处理图像上肺结节检测的敏感度。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 17.0 统计学软件中的重复测量方差分析评价 CAD 系统在 3 组多频域后处理图像检测的假阳性之间差异。应用 MedCalc 14.8.1 软件中的 ROC 曲线分析 CAD 系统在后处理数字图像上肺结节检测的敏感度,并绘制 ROC 曲线。以  $P < 0.05$  为差异具有统计学意义。

## 2 结果

2.1 CAD 系统在多频域后处理图像上检测肺结节的假阳性 CAD 系统在 248 例低频、常规和高频无异常病变的数字图像上分别检出了 715、585 和 286 个可疑区域,平均每例检出假阳性区域 2.88 个、2.36 个、1.15 个,3 组差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),两两比较差异均有统计学意义( $P$  均  $< 0.017$ )。假阳性主要分布在正常解剖结构部位(肺血管区、肋骨重叠区、肩胛骨区)、与正常解剖结构不相关的区域(乳头、纵隔、心影后及膈下)。

2.2 CAD 系统在多频域后处理图像上肺结节检测的敏感度 在 30 例有肺结节的 DR 图像上,放射科医师确定金标准结节共 38 个,肺结节直径 6.82 ~ 19.63 mm[平均(13.91 ± 3.07)mm]。CAD 系统在低频、常规和高频图像上分别检测到 33、30、28 个结节,其肺结节检测敏感度分别为 86.84% (30/38)、78.95% (30/38) 和 73.68% (28/38),ROC 曲线下面积分别为 0.722、0.670 和 0.618(图 2),3 组的组间差异均无统计学意义。

## 3 讨论

随着数字化胸片技术的不断成熟,因其收费价格合理,图像质量能够满足临床诊断,目前已广泛应用于临床,并成为肺癌筛查的基本影像诊断手段。但其也具有一定的诊断限度,如对肋骨、纵隔、心脏、横膈等部

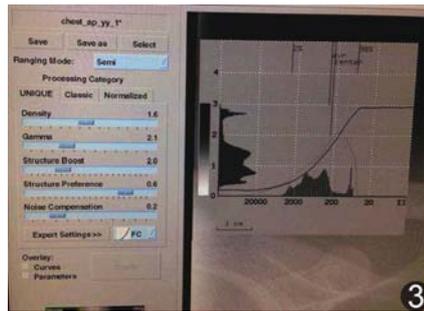


图 3 UNIQUE 后处理软件参数设置界面图

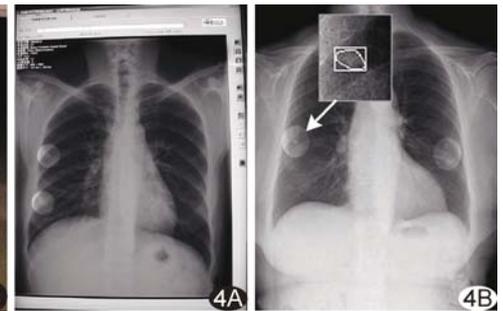


图 4 IQQA™-Chest V 2.0 胸片解读分析系统

A. 影像解读界面; B. 结节标记功能

位曝光不足,而对位于其中或邻近的异常改变显示不佳或被遗漏。如何增强上述部位的显示、提高结节的对比,是目前所面临的挑战。DR 系统最终得到的图像质量与图像后处理软件的性能、后处理参数的设置密切相关,但人们并没有认识到图像后处理软件在 DR 系统中的应用价值。

DR 系统后处理软件大体上分成二部分,图像处理和系统管理/控制,其中图像处理部分主要是图像前、后处理功能,前者主要包括图像校正,后者主要是对图像信息进行取舍、增减。影像接受器采集到的原始数据,经过设定的后处理方案,对其中的信息进行了空间域和频率域的处理,改变图像的特征,以影像科医生的视觉习惯和经验的主观标准作为认可标准,进行处理、显示。目前常用的后处理软件采用的是非锐化掩模和多频段处理的算法,以后者更为灵活和适用于临床。但不同的设备的图像后处理效果不同<sup>[8-9]</sup>,这种后处理效果的不一致性,已经在很大程度上限制了数字胸片的应用。改变图像后处理模式,也会对某种特定的病灶显示能力有很大影响,如经过低频处理的图像,对低密度肺结节的发现能力有所提升,而高频增强图像会对索条病灶的显示能力有所提升<sup>[10-12]</sup>,但是这种高频、低频增强的后处理参数及效果难以标准化和统一。

本文的多频域后处理软件采用 Philips UNified Image Quality Enhancement,它采用多频算法将图像分解为多幅不同频率的图像,改善了图像所有结构的显示。同时通过非线性增强,改善了图像弱对比结构的显示,避免了图像高对比结构的边缘因过度增强而产生的伪影。并通过限制高频图像的低剂量区域的增强,可有效避免图像噪声的增加,因此图像各个部分的细微结构均可清晰显示,不同图像密度区域具有相同的细节对比度,并与图像的大体对比度和亮度无关。高频图像滤过了部分低频波段(图像亮度/灰度变换平缓的地方,即对整幅图像的强度的综合度量),增强了

相对高的空间频率;低频图像滤过了部分高频波段(图像亮度/灰度变化剧烈的地方,主要是对图像的边缘和轮廓的度量),增强了相对低的空间频率,通过调节 UNIQUE 部分参数,可以突出显示需要重点观察的病灶(图 3)。因此如何选择一个最佳的后处理限定模式,以利于病变的显示是放射科医师所面临的一个严峻挑战,同时数字胸片后处理客观标准的缺位,对数字胸片的广泛应用和质量控制产生瓶颈式影响。

本研究的 CAD 软件系统为 EDDA 公司 IQQA™-Chest V 2.0 胸片解读分析(智能/交互式定性定量分析)系统,由 CAD 系统服务器和 workstation 两部分组成。DR 胸片的数据通过使用 DICOM 协议的网络系统从 DR 机传送到 CAD 系统服务器,CAD 系统通过从肺实质中分割血管、纵隔和胸壁的方法来接收和分析 X 线胸片;CAD 系统 workstation 由使用者操作,检查结果在监视器上显示,辅助放射科医师对数字化 X 线胸片影像中的肺部结节进行显示、辨认、分析及汇总报告(图 4)。随着 CAD 算法的不断改进,CAD 系统诊断准确率和特异度不断提高<sup>[13-15]</sup>,使得 CAD 系统在肺癌筛查中的应用越来越广泛<sup>[16]</sup>,但是数字胸片的不同处理模式会影响 CAD 系统的检测性能,而使其在肺结节的检测中应用受限。因此本研究对数字胸片的多频域后处理参数进行量化,应用统计学分析方法比较在不同后处理模式下 CAD 系统检测性能。

本研究结果显示,高频图像、低频图像和常规图像模式对 CAD 系统肺结节检测的能力无明显影响,但其在低频图像上检测的敏感度为 86.84%,平均每例的假阳性区域为 2.88 个,高频图像检测敏感度为 73.68%,平均每例的假阳性区域为 1.15 个,与国外文献<sup>[17]</sup>报道相近,可见 CAD 系统在低频图像检出肺结节的检测敏感度和每例平均假阳性区域均高于高频图像。笔者认为低频影像增强了结节边缘的显示及结节与周围背景的对比度,更利于 CAD 系统检测,同时又使肺内的正常结构(如肺血管等)得到增强,而使 CAD 系统检测的假阳性率增高;高频图像增强结节边缘的同时也增加了图像的噪声,降低了结节与周围背景的对比度,因此影响了 CAD 系统对肺结节的识别,使得检测敏感度和假阳性率有所降低。

本研究的局限性在于多频域后处理参数设置模式较少,仅探讨了 Structure Preference 变化所致后处理图像,因此,需要进一步研究更多的后处理参数模式对 CAD 系统的影响,以期找到一种提高 CAD 系统肺结节检测敏感度、降低假阳性率的最好后处理模式。

## [参考文献]

- [1] Wu MH, Gotway MB, Lee TJ, et al. Features of non-small cell lung carcinomas overlooked at digital chest radiography. *Clin Radiol*, 2008, 63(5):518-528.
- [2] Brady A, Laoide Ró, Mccarthy P, et al. Discrepancy and error in radiology: Concepts, causes and Consequences. *Ulster Med J*, 2012, 81(1):3-9.
- [3] de Hoop B, Schaefer-Prokop C, Gietema HA, et al. Screening for lung cancer with digital chest radiography: Sensitivity and number of secondary work-up CT examinations. *Radiology*, 2010, 255(2):629-637.
- [4] Xu Y, Ma DQ, He W. Assessing the use of digital radiography and a real-time interactive pulmonary nodule analysis system for large population lung cancer screening. *Eur J Radiol*, 2012, 81(4):E451-E456.
- [5] Kligerman S, Cai L, White CS. The effect of computer-aided detection on radiologist performance in the detection of lung cancers previously missed on a chest radiograph. *J Thorac Imaging*, 2013, 28(4):244-252.
- [6] Meziane M, Obuchowski NA, Lababede O, et al. A comparison of follow-up recommendations by chest radiologists, general radiologists, and pulmonologists using computer-aided detection to assess radiographs for actionable pulmonary nodules. *AJR Am J Roentgenol*, 2011, 196(5):W542-W549.
- [7] Lee KH, Goo JM, Park CM, et al. Computer-aided detection of malignant lung nodules on chest radiographs: Effect on observers' performance. *Korean J Radiol*, 2012, 13(5):564-571.
- [8] Lo WY, Hornof WJ, Zwingerberger AL. Multiscale image processing and antiscatter grids in digital radiography. *Vet Radiol Ultrasound*, 2009, 50(6):569-576.
- [9] Brettle D, Carmichael F. The impact of digital image processing artefacts mimicking pathological features associated with restorations. *Br Dent J*, 2011, 211(4):167-170.
- [10] Schalekamp S, van Ginneken B, Karssemeijer N. Chest radiography: New technological developments and their applications. *Semin Respir Crit Care Med*, 2014, 35(1):3-16.
- [11] Pötter-Lang S, Schalekamp S, Schaefer-Prokop C, et al. Detection of lung nodules. New opportunities in chest radiography. *Radiology*, 2014, 54(5):455-461.
- [12] He Q, He W, Wang KY, et al. Effect of multiscale processing in digital chest radiography on automated detection of lung nodule with a computer assistance system. *J Digit Imaging*, 2008, 21(1):S164-S170.
- [13] Shiraishi J, Li Q, Appelbaum D, et al. Computer-aided diagnosis and artificial intelligence in clinical imaging. *Semin Nucl Med*, 2011, 41(6):449-462.
- [14] Chen S, Suzuki K, MacMahon H. Development and evaluation of computer-aided diagnostic scheme for lung nodule detection in chest radiographs by means of two-stage nodule enhancement with support vector classification. *Med Phys*, 2011, 38(4):1844-1858.
- [15] Shi ZH, Si CJ, Feng Y, et al. A new method based on MTANNs for cutting down false-positives: An evaluation on different versions of commercial pulmonary nodule detection CAD software. *Biomed Mater Eng*, 2014, 24(6):2839-2846.
- [16] Mazzone PJ, Obuchowski N, Phillips MA, et al. Lung cancer screening with computer aided detection chest radiography: Design and results of a randomized, controlled trial. *PLoS One*, 2013, 8(3):e59650.
- [17] Schalekamp S, van Ginneken B, Koedam EA, et al. Computer-aided detection improves detection of pulmonary nodules in chest radiographs beyond the support by bone-suppressed images. *Radiology*, 2014, 272(1):252-261.