

## · 人工智能与医学影像专题 ·

## 实习医师以共同阅片和第二阅片者模式使用计算机辅助检测系统在低剂量 CT 中的应用研究

胡琼洁, 陈冲, 王玉锦, 胡玉娜, 潘月影, 杨朝霞, 艾涛, 孙子燕, 管汉雄, 夏黎明

**【摘要】 目的:**评估使用计算机辅助检测(CAD)系统辅助在低剂量胸部 CT 图像中,以第二阅片者模式和共同阅片模式对实习医生肺结节检出的敏感性和读片时间的影响。**方法:**前瞻性纳入 60 例胸外恶性肿瘤患者,接受 2 次连续低剂量胸部 CT 扫描。3 名实习生以盲法和随机顺序独立地对低剂量胸部 CT 图像进行三次阅片,一次使用共同阅片模式,第二次不使用 CAD,第三次使用第二阅片模式。记录真阳性率(TP),假阳性率(FP)和阅读时间。以 3 名高年资胸部放射科医师(>20 年)检出的肺结节(包括对 CAD 检出结节认可)的一致意见为真结节参照标准。**结果:**共同阅片模式(259 s)的阅读时间明显短于不使用 CAD 的阅读时间(341 s,  $P < 0.01$ )和第二阅片模式(363 s;  $P < 0.01$ )。低剂量胸部 CT, CAD 作为共同阅片者(CR)的敏感性(67.36%)显著高于不使用 CAD 的敏感性(40.83%,  $P < 0.001$ ),而与 CAD 作为第二阅片者(SR)的敏感性(68.34%;  $P > 0.05$ )无统计学差异。CAD 作为 CR 的 FP 率(5.31/CT)高于无 CAD 的 FP 率(3.28/CT,  $P < 0.0001$ ),而与 CAD 作为 SR 的 FP 率(5.23/CT,  $P > 0.05$ )无统计学差异。使用 CAD 在共同阅片模式下的 FOM 明显高于不使用 CAD 的 FOM(分别为 0.59 和 0.44,  $P < 0.001$ ),使用 CAD 在第二阅片模式的平均 FOM 值为 0.60,与共同阅片模式无统计学意义( $P = 0.675$ )。**结论:**在低剂量 CT 图像,使用 CAD 显著提高实习医师对包括小结节在内的肺结节诊断敏感性;并且以共同读片模式使用 CAD 显著地缩短了实习医师的阅片时间。

**【关键词】** 体层摄影术, X 线计算机; 辐射剂量; 肺结节; 计算机辅助检测

**【中图分类号】** R814.42; R734.2; R05 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)10-1022-08

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.10.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**A computer-aided detection (CAD) system on low-dose chest CT images in concurrent-reader and second-reader modes: influence on interns** HU Qiong-jie, CHEN Chong, Wang Yu-jing, et al. Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

**【Abstract】 Objective:** To assess the value of a computer-aided detection (CAD) system in second-reader(SR) and concurrent-reader(CR) models for the detection of pulmonary nodules and time efficiency for interns on low-dose chest CT images. **Methods:** A total of 60 patients with extra-thoracic malignancies, who underwent low-dose CT scan, were prospectively included. 3 interns independently evaluated images of 60 patients in a blinded and randomized manner thrice, once with CR twice without CAD, and third with SR in the images of low-dose chest CT. True positive rates (TP), false positive rates (FP) and reading times were recorded. Free-response receiver operating characteristic analysis was also used for the statistical analysis. The consensus reading of CT images by three senior chest radiologists (>20 years) and those obtained using the CAD system served as the reference standard. **Results:** Reading times were significantly shorter in CR mode (259s) than those without CAD (341s,  $P < 0.01$ ) and in SR mode (363s;  $P < 0.01$ ). Sensitivity of reading with CAD as CR (67.36%) was significantly higher than reading without CAD (40.83%,  $P < 0.001$ ) and not statistically different in CAD as SR (68.34%;  $P > 0.05$ ) in the low-dose setting. The FP rates using CAD as CR (5.31/CT) were higher than without CAD (3.28/CT,  $P < 0.0001$ ), while not statistically different in CAD as SR

作者单位: 430030 武汉, 华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科

作者简介: 胡琼洁(1982-), 女, 湖北黄冈人, 博士, 主治医师, 主要从事胸部影像诊断工作。

通讯作者: 夏黎明, E-mail: cjr\_xialiming@vip.163.com

基金项目: 武汉市科技厅重点项目“人工智能深度学习对肺结节检测的多维度分析与智能影像学组学(2018060401011326)”

(5.23/CT,  $P > 0.05$ ). The FOM for the 3 interns in the CR mode was statistically significant better than that without CAD (0.59 vs 0.44, respectively;  $P < 0.001$ ), and the average FOM value in the SR mode was 0.60, giving not statistically different between the CR and SR modes ( $P = 0.675$ ). **Conclusion:** CAD benefited interns in the low-dose settings including small nodules, which both significantly improved diagnostic performance and shortened the reading times.

**【Key words】** Tomography, X-ray computed; Radiation dosage; Pulmonary; Computer-aided detection

肺是恶性肿瘤转移的第三大常见部位,仅次于淋巴结和肝脏。大约 1/3 的患者在疾病过程中会发生肺转移。早期识别肺部转移对于患者至关重要,可通过更积极和多学科综合治疗的方法,如肺转移瘤的切除术或放疗等,治疗后患者可长期存活甚至治愈<sup>[1-3]</sup>。计算机断层扫描(CT),而非胸部 X 线摄影检查,是评估肺转移、随访和监测治疗反应的最有效且安全的检查手段<sup>[4]</sup>。此外,这类患者需要反复多次接受胸部 CT 检查,其累计辐射剂量增加,低剂量计算机断层扫描(low dose CT, LDCT)被推荐用于此类患者。

随着胸部 CT 在健康体检及肿瘤患者随访复查中越来越广泛的应用,影像科医生的工作量与日俱增。目前我国医学影像数据年增长率约 30%,而放射科医师数量增长率约 4%,两者严重的不匹配意味着放射科医师处理影像数据的压力越来越大,承担巨大的负荷。同时,为了最大限度提高肺结节的检出率和病灶细节的显示,LDCT 筛查需要在薄层、不同对比度的 CT 图像(层厚 1~1.25 mm)上进行观察,加上至少 3 种图像对比(肺窗、纵隔窗、骨窗),每个患者所需观察的图像将近 1000 幅,进一步增加了影像医师的工作负担,容易产生视觉疲劳,降低了工作效率和诊断准确性,导致对肺结节的漏检和误判<sup>[5]</sup>。研究表明胸外恶性肿瘤患者肺结节 CT 漏诊约 1/3,其中约 20%的结节是恶性的<sup>[6]</sup>。大部分漏诊肺结节常因体积较小而被漏诊。特别对于刚接触影像的实习学生而言,CT 漏诊率更高。

研究表明使用计算机辅助检测系统(computer-aided detection, CAD)明显提高肺结节检出的敏感性<sup>[7-11]</sup>。Awai 等<sup>[7]</sup>阐述了在标准剂量 CT 扫描中,使用 CAD 的肺结节的检出率高于不使用 CAD 的检出率。Doo 等<sup>[11]</sup>研究表明使用体模 CAD 对于肺结节检出率明显提高。目前尚缺乏 CAD 对低剂量 CT 肺部结节检出率影响,特别是详细的临床研究的相关报道。Zhao 等<sup>[5]</sup>发现 CAD 在肺癌筛查中具有重要价值,可提高肺结节检测的敏感性。可改善评估低剂量肺癌筛查 CT 的阅片者的一致性和随访建议,在排除小结节的情况下<sup>[12,13]</sup>。有两篇文献在标准剂量胸部 CT 中探讨 CAD 对胸外恶性肿瘤患者肺结节的检出率<sup>[14,15]</sup>,

并未见关于 CAD 在低剂量胸部 CT 对胸外恶性肿瘤患者检测结节敏感性的报道。本研究我们假设基于卷积神经网络(CNN)的人工智能 CAD 系统对于实习医生在低剂量两种 CT 扫描剂量中对肺结节的诊断性能显著提高,包括对胸外恶性肿瘤患者的小结节。评估 CAD 对亚实性肺结节检出的敏感性相关研究相对较少<sup>[16]</sup>,因此本研究根据结节密度特征(实性,亚实性和钙化结节)、结节直径( $< 4$  mm,  $4 \sim 8$  mm,  $> 8$  mm)和结节分布(胸膜下或非胸膜下)分别比较肺结节检测的敏感性。

使用 CAD 发现肺结节的阅片模式主要有 3 种:包括第一阅片者,第二阅片者(second-reader, SR)和共同阅片者(concurrent-reader, CR)。研究表明使用 CAD 作为第二阅片者花费的时间更长,因为需要阅片两次<sup>[17]</sup>。许多研究表明了第二阅片者模式的有效性<sup>[7-10,18-23]</sup>,而迄今仅有少数关于胸部 CT 共同阅片模式的相关研究。先前的研究中 CAD 共同阅片模式的评估结果不一致。如,一项研究中表明共同阅片模式,肺结节检测的灵敏度从 56.5% 提高到 66.5%<sup>[24]</sup>,但另一项研究中<sup>[17]</sup>使用 CAD 共同阅片模式诊断的敏感性无显著性差异。Beyer 等<sup>[17]</sup>发现 CAD 共同阅片模式可以显著减少阅片时间,Matsumoto 等<sup>[24]</sup>研究未发现 CAD 共同阅片模式对阅片时间的影响。此外,尚未见 CAD 共同读片模式在低剂量胸部 CT 情况下对肺结节检测影响的相关报道。我们假设,CAD 的共同读片模式提高肺结节诊断敏感性或减少阅片时间。

本研究系统地评价实习医师使用 CAD 作为第二阅片者和共同阅片者在低剂量胸部 LDCT 肺结节检出中的作用。

## 材料与方法

### 1. 资料

本前瞻性研究获得华中科技大学同济医学院附属同济医院伦理委员会的批准,并且所有受试者签署了书面知情同意书。2017年7-12月,共招募了129名胸外恶性肿瘤患者,这些患者计划进行胸部多层螺旋CT检查以监测或者评价肺转移情况。招募受试者时排除年龄 $< 18$ 岁和孕妇。本研究排除了肺肿块

>100 mm 或肺疾病如严重肺气肿、急性肺部感染、胸腔积液、肺结核或肺结节病的患者。60 名患者被纳入研究。其中,104 例(88.89%)检测出肺结节,13 例(11.11%)未检测出肺结节。

## 2. CT 扫描方法

所有患者均以仰卧位吸气末屏气时扫描。采用 64 排探测器 CT 扫描(Discovery CT750 HD, GE Healthcare)。扫描参数:准直器宽度  $64 \times 0.625$  mm;螺距 1.375:1;图像矩阵  $512 \times 512$ 。行低剂量 CT (BMI  $\geq 22$ :120 kVp,  $n=88$ ; BMI  $< 22$ :100 kVp,  $n=41$ ;20 mAs; NI = 30) 平扫。层厚、层间距分别为 1.25 mm、1.25 mm,使用 ASIR 60% 及标准重建方式。

## 3. CAD 软件

使用 CAD 系统(推想公司)CAD 标记,该系统使用卷积神经网络(CNN)模型。将 CAD 应用于标准剂量和低剂量胸部 CT。软件识别的候选病灶用圆圈标记。每个病变仅一个层面上显示 CAD 标记(即显示病变的最大直径层面)。

## 4. 检测

阅读疲劳是影响观察者结节诊断敏感性的一个重要因素。并且不同医生诊断敏感性存在差异。为此,随机选择 60 例用于研究在低剂量胸部 CT 中,实习医师在 3 种不同阅片模式下肺结节检测的敏感性。3 名实习医师指定为观察员 A、B、C(工作年限小于 1 年)。3 名实习生在没有 CAD 的情况下独立读片,8 周后以 CR 模式读片,6 周后以 SR 模式读片。观察者以 1 到 4 共 4 级对每个标记结节的进行评级,其中 4 代表最高置信度(确定是结节),得分 1 代表最低置信度(可能不是结节)<sup>[25]</sup>。他们根据自己的需要调整窗宽、窗位、放大和缩小、和使用最大密度投影(MIP)厚片图像。记录真阳性率(TP)和假阳性率(FP)和读取时间。通过检测的结节数除以结节总数来计算 TP 比率。FP 率计算为每个 CT 图像中假阳性结节的个数。此外,要求 3 名读片者手动测量结节的平均直径。采用 FROC (free-response receiver operating characteristic) 解析(JAFROC 4.2.1, www.devchakraborty.com)分析了独立读片、CR 模式和 SR 模式下的检出性能<sup>[25-28]</sup>。肺结节参考标准是由 3 个没有参与读片研究的胸部放射科医师(20 年以上经验)所达成的共识

确定:3 名医生阅片 2 次,两次阅片之间间隔 3 个月。所有高年资胸部放射科医师都认同的 CAD 检出的结节亦纳入参考标准。在研究之前,所有观察者都接受了使用 CAD 系统的培训。此外,根据结节最长直径( $< 4$  mm,  $4 \sim 8$  mm,  $> 8$  mm),结节性质(实性,亚实性和钙化结节)和位置(胸膜下或非胸膜下)对肺结节检测的敏感性进行了总体比较和每个亚组的比较。

## 5. 数据分析

应用 SPSS 18.0 统计学软件进行数据分析。使用 Kolmogorov-Smirnov 检验验证独立读片,第二读片 SR 模式,共同读片 CR 模式下低剂量 CT 图像真阳性率,假阳性率以及读片时间是否满足正态分布。符合正态分布用配对  $t$  检验或方差分析来比较正态变量,不满足正态分布使用 Wilcoxon 秩和检验或 K-W 检验。FROC 曲线下面积使用 ANOVA 方法。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

### 1. 患者特征

首批参加研究受试者 81 例,其中女 44 例,男 37 例,平均年龄( $50.63 \pm 9.54$ )岁,年龄范围 29~78 岁;BMI( $23.82 \pm 1.5$ ) $\text{kg}/\text{m}^2$ ,BMI 范围 22~28 $\text{kg}/\text{m}^2$ ;采用 120 kVp 的低剂量 CT 扫描。第二批参加研究受试者 36 例,其中女 18 例,男 18 例,平均年龄( $48.53 \pm 13.25$ )岁,年龄范围 22~76 岁,BMI( $20.58 \pm 0.87$ ) $\text{kg}/\text{m}^2$ ,BMI 范围(18.5~22) $\text{kg}/\text{m}^2$ ;采用 100 kVp 的低剂量 CT 扫描。经初步分析,第二批参加研究的 36 例受试者的辐射剂量更低。随机选取 60 个病例纳入本次研究。诊断参考标准:低剂量 CT (LDCT)图像共 338 个结节(98.48%)。

### 2. 阅片者检测结果

3 名观察者在独立阅读、CR 和 SR 模式下的阅读时间如表 1。低剂量 CT 图像,CR 模式[( $259 \pm 168$ ) s] 阅读时间明显短于独立阅片模式[( $341 \pm 206$ ) s,  $P < 0.0001$ ]和 SR 模式[( $363 \pm 165$ ) s,  $P < 0.0001$ ]。

低剂量 CT, CAD 作为 CR 模式的平均敏感度(67.36%)显著高于不使用 CAD 的平均敏感度(40.83%,  $P < 0.001$ ),而与 CAD 作为 SR 模式的平均敏感度(68.34%,  $P > 0.05$ )无统计学差异。在亚组分

表 1 低剂量 CT:无 CAD、共同阅片和第二阅片模式检测结节所用时间

实习医师	UR	CR	SR	P1	P2	P3
1	478 $\pm$ 133s	351 $\pm$ 182s	485 $\pm$ 175s	$< 0.0001$	0.802	$< 0.0001$
2	169 $\pm$ 66s	133 $\pm$ 70s	231 $\pm$ 70s	0.014	$< 0.0001$	$< 0.0001$
3	377 $\pm$ 237s	292 $\pm$ 147s	374 $\pm$ 117s	0.061	0.943	$< 0.0001$
1~3 平均	341 $\pm$ 206s	259 $\pm$ 168s	363 $\pm$ 165s	$< 0.0001$	0.207	$< 0.0001$

注:UR=无 CAD 模式(unaided reading mode),SR=第二读片者模式(second-reader mode);P1:UR vs CR; P2:UR vs SR; P3:CR vs SR。

表2 低剂量CT无CAD模式、共同阅片和第二阅片者模式结节检测结果(真阳性率和假阳性率)

实习 医师	敏感度						假阳性率					
	UR	CR	SR	P1	P2	P3	UR	CR	SR	P1	P2	P3
1	29.59%	65.09%	72.49%	<0.0001	<0.0001	0.948	1.4/ct	4.7/ct	4.43/ct	<0.0001	<0.0001	1.000
2	38.17%	64.79%	63.02%	0.013	0.002	0.307	2.83/ct	4.58/ct	4.63/ct	0.005	0.005	0.860
3	54.73%	72.19%	69.53%	0.029	0.058	0.531	5.6/ct	6.68/ct	6.63/ct	0.030	0.035	0.310
1~3 平均	40.83%	67.36%	68.34%	<0.0001	<0.0001	0.480	3.28/ct	5.31/ct	5.23/ct	<0.0001	<0.0001	0.215

注:UR=无辅助模式(unaided reading mode), SR=第二读片者模式(second-reader mode);P1:UR vs CR; P2:UR vs SR; P3:CR vs SR。

表3 低剂量CT:无CAD,共同阅片模式和第二阅片者模式肺结节检出结果

阅片 模式	结节密度			结节最大横径(mm)			结节位置	
	实性	亚实性	钙化	≤4	4~8	≥8	胸膜下	非胸膜下
UR	41.87%	27.93%	50.00%	37.40%	64.37%	97.87%	41.85%	40.16%
CR	67.50%	63.96%	71.67%	65.24%	82.76%	100.00%	61.65%	71.06%
SR	67.26%	63.96%	91.67%	66.01%	86.21%	100.00%	65.66%	70.08%
P1	<0.0001	<0.0001	0.017	<0.0001	0.001	0.157	<0.0001	<0.0001
P2	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.157	<0.0001	<0.0001
P3	0.952	1.000	0.001	0.605	0.366	1.000	0.048	0.628

注:UR=无辅助模式(unaided reading mode), SR=第二读片者模式(second-reader mode);P1:UR vs CR; P2:UR vs SR; P3:CR vs SR。

析中,对于<8 mm的结节,CR模式的平均敏感性高于不使用CAD( $P<0.001$ )。CAD作为CR模式的FP率(5.31/CT)高于不使用CAD(3.28/CT,  $P<0.0001$ ),而与CAD作为SR模式的FP率(5.23/CT,  $P=0.263$ )无统计学差异(表2、3)。

观察者平均的JAFROC FOM在CR模式下为0.59(95%置信区间:0.53,0.65),在无CAD模式下为0.44(95%置信区间:0.37,0.52),差异有显著性差异( $P<0.0001$ );SR模式的平均FOM值为0.60(95%置信区间为0.51,0.69),CR模式与SR模式的FOM值无统计学差异(表4,图1、2,  $P=0.675$ )。

表4 结节检测的结果:FOM

实习 医师	UR	CR	SR	P1	P2	P3
1	0.41	0.61	0.63	<0.0001	<0.0001	0.4987
2	0.42	0.58	0.57	<0.0001	<0.0001	0.752
3	0.49	0.58	0.60	0.0085	0.003	0.7191
1~3 平均	0.44	0.59	0.60	<0.0001	<0.0001	0.675

注:UR=无辅助模式(unaided reading mode), SR=第二读片者模式(second-reader mode);P1:UR vs CR; P2:UR vs SR; P3:CR vs SR。

## 讨论

CT检查是医疗辐射暴露最重要因素。近年来,随着人们对辐射危害的关注,低剂量胸部CT越来越广泛地应用<sup>[29]</sup>。美国国家肺癌筛查试验(national lung screening trial, NLST)表明,低剂量CT降低了

肺癌死亡率<sup>[30]</sup>。此外,累计辐射剂量的增加引起人们的注意,尤其对于肺部感染的监测,评价和监测肺部转移治疗反应,这类患者需要反复多次进行胸部CT检查<sup>[4]</sup>。因此也被推荐使用低剂量CT检查。本研究系统地评估CAD作为第二阅片者和共同阅片者两种模式下肺结节检出的效能。尽管实习医师在低剂量胸部CT图像上容易漏诊结节,且需要很长的时间来检测结节,但CAD(在第二读片者和共同读片模式中)显著提高了肺结节诊断敏感性,同时使用CAD作为共

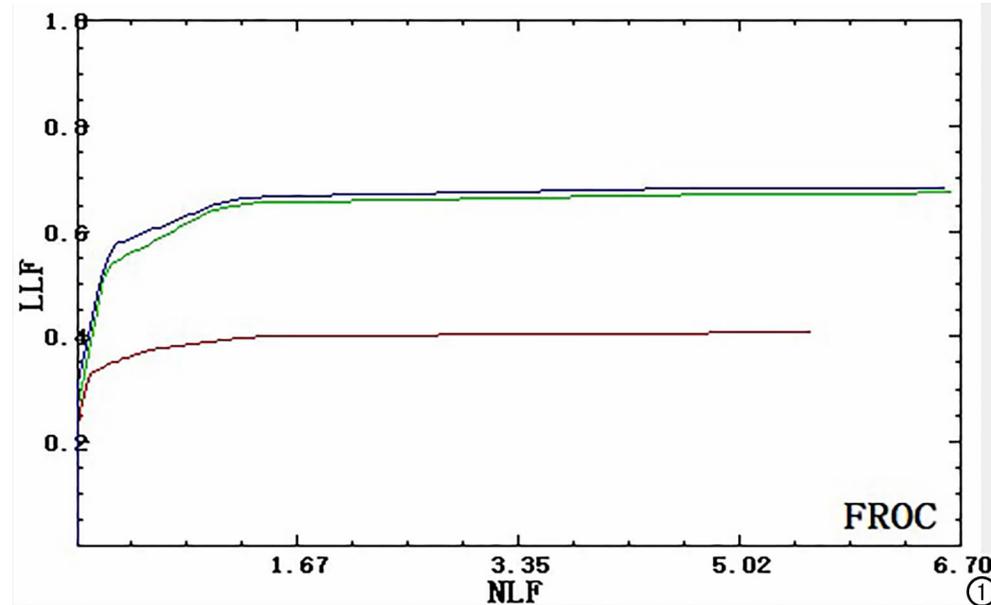


图1 FROC曲线代表3名实习医师使用共同读片模式(绿线)、第二读片者模式(紫线)和无CAD模式(红线)检测肺结节的平均性能。

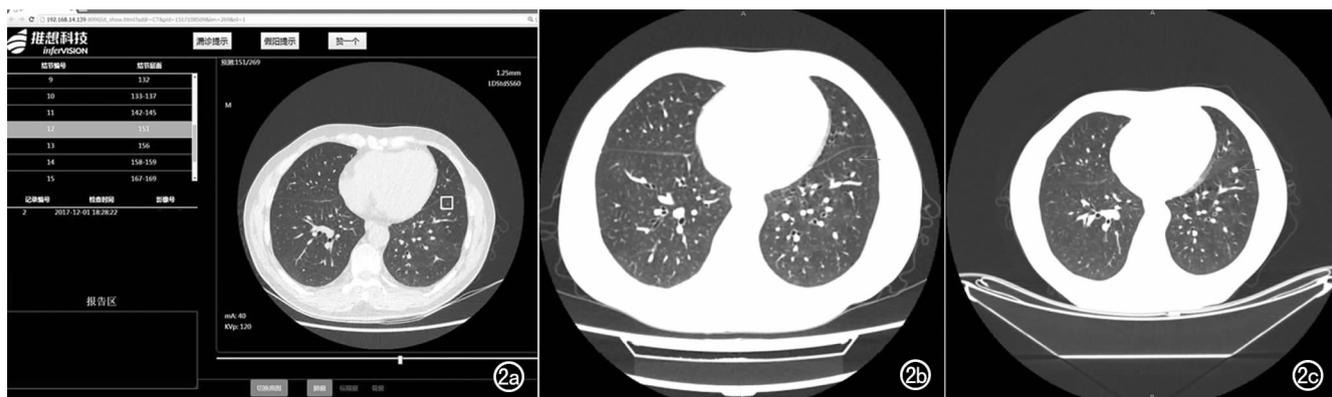


图2 48岁,男,直肠癌患者。a) 实习医师不使用CAD时无一人在低剂量CT上检测到结节(直径约2mm); b) 在共同阅片和第二读片者模式中,2名实习医师正确识别了该结节; c) 7个月后,肺结节明显增大。

同读片模式缩短了阅片时间。此外,低剂量并没有影响实习医师肺结节检出的假阳性率。

许多研究显示了第二读片者SR模式<sup>[7-10,12,13]</sup>的有效性。同样,我们发现不论是常规剂量还是低剂量CT对于<8 mm结节,使用CAD作为第二阅片者相较于未使用CAD,显著提高实习医生的诊断准确度( $P<0.001$ )。

使用CAD系统作为第二阅片者模式,不可避免地延长读取时间。虽然有许多研究表明使用CAD作为第二阅片者模式<sup>[7-10,18-23]</sup>提高肺结节敏感性的有存在性,但关于CAD作为共同阅片模式的研究很少<sup>[17,24,31]</sup>。此外,使用CAD作为共同阅片模式在诊断肺结节的敏感性和阅片时间方面存在争议,并且在低剂量胸部CT,以共同阅片模式使用CAD对肺结节诊断的影响还未见报道。Beyer等的研究使用CR模式与未使用CAD相比,显著地减少了阅片时间,但对诊断敏感度没有影响<sup>[17]</sup>。他们认为共同读片模式的灵敏度没有增加,可能是由于阅片速度的加快,对CT图像的视觉分析不太彻底。最近一项研究表明相比独立阅片CR模式阅片时间并没有缩短,但诊断敏感度提高<sup>[24]</sup>。相反,Foti等<sup>[31]</sup>研究发现CR模式既没有缩短阅片时间,也没有显著地提高肺结节检出的敏感性。本研究我们比较了未使用CAD与CAD作为共同读片模式在低剂量胸部CT,阅片时间和肺结节诊断敏感度的差异。我们发现与未使用CAD模式相比,CR模式不仅显著地减少了读片时间,而且还增加了实习生在LDCT肺结节检测的敏感度。CR模式下(259 s)的读片时间明显短于无CAD模式(341 s,  $P<0.01$ )和SR模式(363 s,  $P<0.01$ )。未使用CAD模式的阅片时间在我们的研究中是直接记录的;而先前的研究中<sup>[17,24,31]</sup>,未使用CAD模式下的阅片时间则是从先前的2次阅片中提取的,所以本研究的结果可靠性更高。共同阅片模式的敏感度(67.36%)高于未使用

CAD模式(40.83%,  $P<0.001$ ),而与第二阅片模型相比,敏感度(68.36%,  $P>0.05$ )无统计学差异。在低辐射剂量水平,图像噪声随着辐射剂量减少而增加<sup>[5]</sup>。尽管实习医师在低剂量胸部CT图像上容易漏诊结节,且需要较长的时间才能检出结节,但使用CAD在共同阅片模式可显著提高诊断敏感度,且缩短阅片时间。随着使用CAD的敏感度的增加,假阳性率也增加<sup>[32]</sup>。我们发现CR模式中的平均FP率(5.31/CT)比未使用CAD模式高(3.28/CT,  $P<0.0001$ ),而使用CAD在CR和SR两种模式平均FP率(5.23/CT,  $P=0.263$ )无统计学差异。

JAFROC FOM于2004年首次提出<sup>[26]</sup>,是研究真阳性率与假阳性率新指标<sup>[25,27,28]</sup>。值得注意的是,我们的研究在低剂量CT使用CAD作为共同阅片者模式的JAFROC FOM显著高于未使用CAD( $P<0.001$ ),而CAD作为共同阅片者相较于作为第二阅片者JAFROC FOM无统计学差异( $P>0.05$ )。因此,CR模式有益于低剂量CT实习医师。

本研究局限性在于首先没有可利用的外部参考标准(如组织学证据),而是3个高年资胸部放射科医师(超过20年的工作时间)两次CT阅片的共识作内部参照标准。这一局限性在评价CAD效能的研究中非常普遍。其次,真阳性率相对较低,假阳性率相对较高。然而,考虑到我们研究中90%的结节直径<4 mm,也相对解释为什么本研究中的敏感度相对较低。其次,人类解读图像时的差异不可避免,需要更多中心的研究来证实我们的观察结果。最后,本研究结果仅代表一个特定算法的在特定参数时CAD的表现,不能直接用于其它CAD。然而,本研究的重点是读片者和CAD之间的交互,而非CAD的性能本身。

总之,我们在临床上证明了尽管实习医师在低剂量胸部CT独立阅片时容易漏诊结节,但CAD在共同读片和第二读片者模式均显著提高包括小结节在内的

肺结节的诊断敏感性。并且以共同读片模式使用CAD显著地缩短了读片时间。

#### 参考文献:

- [1] Hornbeck K, Ravn J, Steinbruchel DA. Outcome after pulmonary metastasectomy: analysis of 5 years consecutive surgical resections 2002—2006[J]. *J Thorac Oncol*, 2011, 6(10): 1733-1740.
- [2] Casiraghi M, De Pas T, Maisonneuve P, et al. A 10-year single-center experience on 708 lung metastasectomies; the evidence of the international registry of lung metastases[J]. *J Thorac Oncol*, 2011, 6(8): 1373-1378.
- [3] Corona-Cruz JF, Dominguez-Parra LM, Saavedra-Pérez D, et al. Lung metastasectomy; long-term outcomes in an 18-year cohort from a single center[J]. *Surg Oncol*, 2012, 21(3): 237-244.
- [4] Mohammed TL, Chowdhry A, Reddy GP, et al. ACR appropriateness criteria screening for pulmonary metastases[J]. *J Thorac Imaging*, 2011, 26(1): W1-W3.
- [5] Zhao Y, de Bock GH, Vliegenthart R, et al. Performance of computer-aided detection of pulmonary nodules in low-dose CT: comparison with double reading by nodule volume[J]. *Eur Radiol*, 2012, 22(10): 2076-2084.
- [6] Cerfolio RJ, Bryant AS, McCarty TP, et al. A prospective study to determine the incidence of non-imaged malignant pulmonary nodules in patients who undergo metastasectomy by thoracotomy with lung palpation[J]. *Ann Thorac Surg*, 2011, 91(6): 1696-1700.
- [7] Awai K, Murao K, Ozawa A, et al. Pulmonary nodules at chest CT; effect of computer-aided diagnosis on radiologists' detection performance[J]. *Radiology*, 2004, 230(2): 347-352.
- [8] Marten K, Seyfarth T, Auer F, et al. Computer-assisted detection of pulmonary nodules; performance evaluation of an expert knowledge-based detection system in consensus reading with experienced and inexperienced chest radiologists[J]. *Eur Radiol*, 2004, 14(10): 1930-1938.
- [9] Brown MS, Goldin JG, Rogers S, et al. Computer-aided lung nodule detection in CT: results of large-scale observer test[J]. *Acad Radiol*, 2005, 12(6): 681-686.
- [10] Das M, Mühlenbruch G, Mahnken AH, et al. Small pulmonary nodules; effect of two computer-aided detection systems on radiologist performance[J]. *Radiology*, 2006, 241(2): 564-571.
- [11] Doo KW, Kang EY, Yong HS, et al. Comparison of chest radiography, chest digital tomosynthesis and low dose MDCT to detect small ground-glass opacity nodules; an anthropomorphic chest phantom study[J]. *Eur Radiol*, 2014, 24(12): 3269-3276.
- [12] Zhao Y1, de Bock GH, Vliegenthart R, et al. Performance of computer-aided detection of pulmonary nodules in low-dose CT: comparison with double reading by nodule volume[J]. *Eur Radiol*, 2012, 22(10): 2076-2084.
- [13] Jeon KN, Goo JM, Lee CH, et al. Computer-aided nodule detection and volumetry to reduce variability between radiologists in the interpretation of lung nodules at low-dose screening computed tomography[J]. *Invest Radiol*, 2012, 47(8): 457-461.
- [14] Schramm A, Wormanns D, Leschber G, et al. Reliability of a computer-aided detection system in detecting lung metastases compared to manual palpation during surgery[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2011, 12(1): 20-23.
- [15] Vassallo L, Traverso A, Agnello M, et al. A cloud-based computer-aided detection system improves identification of lung nodules on computed tomography scans of patients with extra-thoracic malignancies[J]. *Eur Radiol*, 2018 Jun 15. DOI: 10.1007/s00330-018-5528-6[Epub ahead of print].
- [16] Godoy MC, Kim TJ, White CS, et al. Benefit of computer-aided detection analysis for the detection of subsolid and solid lung nodules on thin- and thick-section CT[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2013, 200(1): 74-83.
- [17] Beyer F, Zierott L, Fallenbergh EM, et al. Comparison of sensitivity and reading time for the use of computer-aided detection (CAD) of pulmonary nodules at MDCT as concurrent or second reader[J]. *Eur Radiology*, 2007, 17(11): 2941-2947.
- [18] Goo JM, Kim HY, Lee JW, et al. Is the computer-aided detection scheme for lung nodule also useful in detecting lung cancer? [J] *J Comput Assist Tomogr*, 2008, 32(4): 570-575.
- [19] Hirose T, Nitta N, Shiraiishi J, et al. Evaluation of computer-aided diagnosis (CAD) software for the detection of lung nodules on multidetector row computed tomography (MDCT): JAFROC study for the improvement in radiologists' diagnostic accuracy [J]. *Acad Radiol*, 2008, 15(12): 1505-1512.
- [20] Yanagawa M, Honda O, Yoshida S, et al. Commercially available computeraided detection system for pulmonary nodules on thin-section images using 64 detectors-row CT: preliminary study of 48 cases[J]. *Acad Radiol*, 2009, 16(8): 924-933.
- [21] Sahiner B, Chan HP, Hadjiiski LM, et al. Effect of CAD on radiologists' detection of lung nodules on thoracic CT scans; analysis of an observer performance study by nodule size[J]. *Acad Radiol*, 2009, 16(12): 1518-1530.
- [22] White CS, Pugatch R, Koonce T, et al. Lung nodule CAD software as a second reader; a multicenter study[J]. *Acad Radiol*, 2008, 15(3): 326-333.
- [23] Teague SD, Trilakis G, Dharaiya E. Lung nodule computer-aided detection as a second reader; influence on radiology residents[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2010, 34(1): 35-39.
- [24] Matsumoto S, Ohno Y, Aoki T, et al. Computer-aided detection of lung nodules on multidetector CT in concurrent-reader and second-reader modes; A comparative study[J]. *Eur J Radiology*, 2013, 82(8): 1332-1337.
- [25] Vikgren J, Zachrisson S, Svalkvist A, et al. Comparison of chest tomosynthesis and chest radiography for detection of pulmonary nodules; human observer study of clinical cases[J]. *Radiology*, 2008, 249(3): 1034-1041.
- [26] Chakraborty DP, Berbaum KS. Observer studies involving detection and localization: modeling, analysis, and validation[J]. *Med Phys*, 2004, 31(8): 2313-2330.
- [27] Dobbins JT 3rd, McAdams HP, Sabol JM, et al. Multi-institutional evaluation of digital tomosynthesis, dual-energy radiography, and conventional chest radiography for the detection and management of pulmonary nodules[J]. *Radiology*, 2017, 282(1): 236-250.
- [28] Yamada Y, Shiomi E, Hashimoto M, et al. Value of a computer-aided detection system based on chest tomosynthesis imaging for the detection of pulmonary nodules[J]. *Radiology*, 2018, 287(1): 333-339.

- [29] Schauer DA, Linton OW. NCRP Report No. 160, Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States, medical exposure— are we doing less with more, and is there a role for health physicists? [J] Health Phys, 2009, 97(1): 1-5.
- [30] National Lung Screening Trial Research Team, Church TR, Black WC, Aberle DR, et al. Results of initial low-dose computed tomographic screening for lung cancer[J]. New England J Medicine, 2013, 368(21): 1980-1991.
- [31] Foti G, Faccioli N, DOnofrio M, et al. Evaluation of a method of computer-aided detection (CAD) of pulmonary nodules at computed tomography[J]. Radiol Med, 2010, 115(6): 950-961.
- [32] Wielpütz MO, Wroblewski J, Lederlin M, et al. Computer-aided detection of artificial pulmonary nodules using an ex vivo lung-phantom: influence of exposure parameters and iterative reconstruction[J]. Eur J Radiol, 2015, 84(5): 1005-1011.

(收稿日期: 2018-09-20)

## 《放射学实践》杂志微信公众平台开通啦!

2015 年 6 月,《放射学实践》杂志入选北京大学和北京高校图书馆期刊工作研究会共同主持的国家社会科学基金项目“学术期刊评价及文献计量学研究”研究成果——《中国核心期刊要目总览》。这是继 1999, 2008 年之后的第 3 次入选临床医学/特种医学类核心期刊。

《放射学实践》杂志微信公众平台立足于准确地传递医学影像领域的最新信息,致力于为关注医学影像领域的广大人士服务。欢迎大家通过微信平台,以文字、图片、音频和视频等形式与我们互动,分享交流最新的医学影像资讯。您还可以通过微信平台免费阅读及搜索本刊所有发表过的论文,投稿作者可以查询稿件状态等。

您可以通过以下方式关注《放射学实践》杂志微信公众平台:

1. 打开微信,通过“添加朋友”,在搜索栏里直接输入“放射学实践”进行搜索。
2. 在“查找微信公众号”栏里输入“放射学实践”即可找到微信公众号,点击“关注”,添加到通讯录。
3. 打开微信,点击“扫一扫”,手机镜头对准下面的二维码,扫出后点击关注即可。



期待您的加入!