

温德英, 潘雪琳, 姚辉, 等. 探讨 CT 扫描剂量对人工智能检测肺结节效能的影响[J]. CT 理论与应用研究, 2021, 30(4): 455-465. DOI:10.15953/j.1004-4140.2021.30.04.06.
WEN D Y, PAN X L, YAO H, et al. To explore the effect of CT scan dose on the efficacy of artificial intelligence in detecting lung nodules[J]. CT Theory and Applications, 2021, 30(4): 455-465. DOI:10.15953/j.1004-4140.2021.30.04.06. (in Chinese).

探讨 CT 扫描剂量对人工智能检测肺结节效能的影响

温德英¹, 潘雪琳¹, 姚辉¹, 李吉杰², 邓巧¹, 唐露¹, 伍希¹, 孙家瑜^{1✉}

1. 四川大学华西医院放射科, 成都 610041

2. 四川大学华西第二医院病案管理科, 成都 610041

摘要: 目的: 探讨影响人工智能检测肺结节效能的因素, 力求为不同性质的结节提供个性化的扫描剂量及人工智能系统, 同时为各人工智能系统适宜的扫描条件提供参考。方法: 标准成人男子胸部 X 线/CT 影像模型, 内部随机分布 15 个不同密度和大小的模拟肺结节, 采用不同的管电压和管电流对模型进行扫描, 共扫描 50 次。应用不同公司的人工智能系统进行肺结节检测, 采用 Pearson χ^2 检验或 Fisher 确切概率法比较各组检出率和假阴性率; 采用 Kruskal-Wallis H 检验比较假阳性率。结果: ① 不同管电压条件下, 公司 A 和公司 C 对不同性质肺结节的检出率无统计学差异; 公司 B 对 +100 HU 结节的检出率, 70 kV (100%) 组高于 120 kV (80%) 和 140 kV (80%) 组; 公司 B 对 3 mm 结节的检出率, 70 kV 组 (33.33%) 高于 120 kV (0%) 和 140 kV (0%) 组, 差异有统计学意义。② 各管电压组内不同管电流间及各管电压组间, 检出率、假阴性率的差异无统计学意义。各管电压组间假阳性率的差异具有统计学意义。③ 公司 A 在 70 kV 组检出率 (64.44%) 低于公司 B (80.00%)、假阴性率 (35.56%) 高于公司 B (20.00%); 公司 A 的假阳性率高于公司 B 和公司 C; 公司 B 和公司 C 间检出率、假阴性率、假阳性率无统计学差异。结论: 人工智能辅助肺结节检测的灵敏度与 CT 扫描剂量无关, 与结节性质及 AI 系统性能有关。本研究中公司 B 和公司 C 整体性能高于公司 A, 最佳扫描管电压分别是 70 kV、70 kV 和 100 kV。

关键词: 肺结节; 人工智能; 影像模型

DOI:10.15953/j.1004-4140.2021.30.04.06 中图分类号: TP 18; R 814 文献标志码: A

肺癌是目前我国发病率和死亡率居首位的恶性肿瘤^[1], 早期发现 5 年生存率可达到 70%~90%^[2], 大多数肺癌早期表现为孤立性肺结节^[3], 肺结节的精准检出和性质判定对于肺癌的早发现和治理有着重要作用。

近年来, 人工智能 (artificial intelligence, AI) 辅助肺结节诊断正逐步应用于临床^[4-7], 其检测效能越高越能提高医师诊断效率和诊断精确率; 但由于缺乏统一的行业标准和有效监管, 导致诸多因素都可能影响其检测效能, 包括结节本身性质、成像参数、AI 诊断软件性能等。既往的研究大多局限于某一独立的方面, 如成像剂量^[8], 重建层厚^[9], 重建技术^[10-11], 图像分辨率^[12]等, 研究中成像剂量最低 80 kV, 且仅涉及一种 AI 检测系统。本研究联合 15 个不同性质的结节、50 种不同扫描剂量及 3 个 AI 检测系统探讨检测效能高低, 旨在为不同性质的结节提供个性化的成像剂量及 AI 系统, 同时为不同的 AI 系统提供最合适的扫描条件。

收稿日期: 2021-04-29。

基金项目: 四川省科技厅重点研发项目 (2020YFS0123)。

1 资料与方法

1.1 研究对象

标准成人男子胸部 X 线/CT 影像模型（日本京都科学 PH-1，尺寸：43 cm × 48 cm，胸围约 94 cm，重量约 18 kg），根据 1:1 真人比例设计，内部随机分布 15 个不同密度和大小模拟球形肺结节，密度均匀、边界清晰，CT 值分别为 +100、-630 和 -800 HU，每种密度对应 5 种直径：3、5、8、10 和 12 mm。

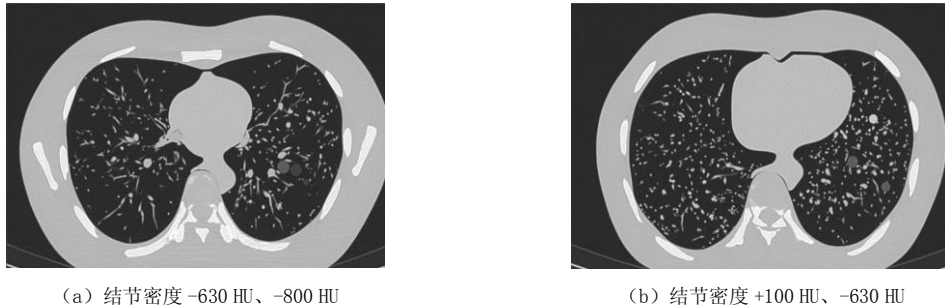


图 1 不同密度肺结节的 CT 扫描图像

Fig.1 CT scan images of lung nodules with different densities

1.2 实验设备及检查方法

采用联影 CT (uCT 780, 上海联影) 对模型进行扫描, 范围从胸廓入口至肺底。按管电压值分 5 组扫描, 分别是 140、120、100、80 和 70 kV, 每组管电流 mAs 值从 200 mAs 递减至 20 mAs, 间隔 20, 共 10 组。除管电压和管电流的变化外, 其余扫描参数保持一致, 且所有扫描在同一定位像上完成, 以保证体模位置、结节位置一致, 共扫描 50 次。重建层厚 1 mm、间距 1 mm 的肺部高分辨窗图像 (窗位 -400 HU, 窗宽 1800 HU)。采用国内比较成熟的三家公司 AI 系统进行肺结节检测, 分别是: 联影智能医疗科技、深睿博联科技、推想医疗科技 (此处以首字母先后排序, 文中以“公司 A、公司 B 和公司 C”表示, 与排序无对应关系)。

1.3 评价指标

记录每个结节在每个公司 AI 系统、每种扫描条件下是否检出, 以及检出的总结节数、阳性结节数、假阳性结节数、未检测出的结节数, 利用公式计算检出率 (灵敏度)、假阴性率、假阳性率。

$$\text{检出率} = \text{真阳性结节数} / \text{标准结节总数}$$

$$\text{假阴性率} = \text{假阴性结节数} / \text{标准结节总数} = 1 - \text{灵敏度}$$

假阳性率以“假阳性结节数/CT”表示, 即每一次 CT 扫描中假阳性结节的个数^[13]。

1.4 统计分析

应用 SPSS 25.0 统计软件, 检出率和假阴性率的比较, 采用 Pearson χ^2 检验或 Fisher

确切概率法；假阳性率的比较采用 Kruskal-Wallis H 检验；检验水准 $\alpha=0.05$ （双侧）。若差异有统计学意义，再进行两两比较，采用 Bonferroni 法校正检验水准，即 $\alpha=0.05/\text{比较次数}$ （双侧）。

2 结果

2.1 不同密度

不同管电压条件下，公司 A 和公司 C 的 AI 系统对 3 种密度结节的检出率无统计学差异；公司 B 对 +100 HU 结节的检出率，70 kV（100%）组高于 120 kV（80%）、140 kV（80%）组，差异有统计学意义。若选择公司 B 的 AI 软件辅助肺结节检测，针对 +100 HU 的结节，建议管电压选择 70 kV（表 1）。

表 1 不同密度的结节在不同 kV 条件下检出率的差异性分析
Table 1 Analysis of the difference in the detection rate of nodules with different densities under different kV conditions

公司	管电压/kV	+100 HU			-630 HU			-800 HU		
		检出率 (%)	χ^2	<i>P</i>	检出率 (%)	χ^2	<i>P</i>	检出率 (%)	χ^2	<i>P</i>
A	140	80.00			80.00			40.00		
	120	86.67			80.00			40.00		
	100	80.00	1.68	0.80	80.00	0.00	1.00	40.00	0.64	0.96
	80	86.67			80.00			37.78		
	70	80.00			80.00			33.33		
	140	80.00			80.00			62.22		
B	120	80.00			80.00			62.22		
	100	82.22	14.93	0.00	80.00	0.00	1.00	60.00	3.54	0.47
	80	95.56			80.00			48.89		
	70	100.00			80.00			48.89		
	70 vs 120		10.00	0.00						
	70 vs 140		10.00	0.00						
C	140	80.00			80.00			75.56		
	120	80.00			80.00			68.89		
	100	80.00	0.00	1.00	80.00	0.89	0.93	73.33	8.61	0.07
	80	80.00			77.78			62.22		
	70	80.00			73.33			60.00		

3 种不同密度的结节，其检出率均具有统计学差异；-800 HU 的结节，检出率低于 +100 HU 和 -630 HU 的结节（表 2）。

3 个公司对 -800 HU 结节的检出率有差异，公司 A（38.22%）低于公司 B（56.44%）、公司 C（68.00%），差异具有统计学意义；公司 B 与公司 C 检出率无统计学差异。三家公司对 -630 HU 和 +100 HU 结节的检出率无统计学差异。对于不同密度的结节筛查，公司 B 和公司 C 性能优于公司 A（表 2 和表 3）。

表 2 不同密度结节之间的检出率差异性分析
Table 2 Analysis of the difference in detection rate of nodules with different densities

公司	密度/HU	检出率 (%)	χ^2	P 值
A	-800	38.22	126.38	0.000
	+100	82.67		
	-630	80.00	92.94	0.000
	-800 vs +100			
	-800 vs -630			
B	-800	56.44	69.45	0.000
	+100	87.56		
	-630	80.00	59.79	0.000
	-800 vs +100			
	-800 vs -630			
C	-800	68.00	16.30	0.000
	+100	80.00		
	-630	78.22	11.52	0.001
	-800 vs +100			
	-800 vs -630			

表 3 不同密度的结节在不同公司之间检出率的差异性分析
Table 3 Analysis of the difference in the detection rate of nodules with different densities among different companies

公司	+100 HU		-630 HU		-800 HU	
	χ^2	P	χ^2	P	χ^2	P
A						
B	5.43	0.07	0.00	1.00	34.88	0.00
C						
A vs B					12.89	0.00
A vs C					34.22	0.00
B vs C					5.35	0.02

2.2 不同大小

不同管电压条件下, 公司 A 和公司 C 对不同大小结节的检出率均无统计学差异; 公司 B 对 3 mm 结节的检出率差异具有统计学意义, 进一步两两比较发现, 3 mm 结节检出率在 70 kV 组 (33.33%) 高于 120 kV (0%)、140 kV (0%) 组。若选择公司 B 的 AI 软件辅助肺结节检测, 针对 3 mm 的结节, 建议选择 70 kV 扫描条件 (表 4)。

不同大小结节的检出率具有统计学差异, 公司 A 结节的检出率: 5 mm、8 mm > 10 mm、12 mm > 3 mm; 公司 B 结节的检出率: 8 mm、10 mm > 5 mm、12 mm > 3 mm; 公司 C 结节的检出率:

8 mm、10 mm、12 mm > 5 mm > 3 mm。三个公司对 3 mm 大小的结节检出率都较低, 且公司 A 和公司 B 高于公司 C, 差异有统计学意义; 对 8 mm 结节的检出率都较高, 且 3 个公司间无统计学差异。公司 A 对 5 mm 结节的检出率优于公司 B 和公司 C; 公司 B 和公司 C 对 10 mm 结节的检出率优于公司 A; 公司 C 对 12 mm 结节的检出率优于公司 A 和公司 B (表 5 和表 6)。

表 4 不同大小的结节在不同 kV 条件下检出率的差异性分析

Table 4 Analysis of the difference in the detection rate of nodules of different sizes under different kV conditions

公司	管电压 /kV	3 mm		5 mm			8 mm		10 mm		12 mm	
		检出率 %	<i>P</i>	检出率 /%	χ^2	<i>P</i>	检出率 /%	<i>P</i>	检出率 /%	<i>P</i>	检出率 /%	<i>P</i>
A	140	3.70		96.30			100.00		66.67		66.67	
	120	11.11		100.00			100.00		66.67		66.67	
	100	0.00	0.10	100.00	6.23	0.18	100.00	> 0.05	66.67	> 0.05	66.67	> 0.05
	80	11.11		96.30			100.00		66.67		66.67	
	70	0.00		88.89			100.00		66.67		66.67	
B	140	0.00		100.00			100.00		100.00		70.37	
	120	0.00		96.30			100.00		100.00		66.67	
	100	3.70	0.00	100.00	13.26	0.01	100.00	> 0.05	96.30	> 0.05	66.67	> 0.05
	80	25.93		81.48			100.00		100.00		66.67	
	70	33.33		81.48			100.00		100.00		66.67	
	70 vs 120		0.00									
	70 vs 140		0.00									
C	140	0.00		92.59			100.00		100.00		100.00	
	120	0.00		81.48			100.00		100.00		100.00	
	100	0.00		88.89	8.61	0.07	100.00	> 0.05	100.00	> 0.05	100.00	> 0.05
	80	0.00		70.37			100.00		100.00		96.30	
	70	0.00		66.67			92.59		100.00		88.89	

表 5 不同大小结节之间检出率的差异性分析

Table 5 Analysis of the difference in detection rate of nodules of different sizes

公司	大小/mm	χ^2	<i>P</i>
A	5 vs 8		0.06
	10 vs 12	0.00	1.00
B	8 vs 10		0.03
	5 vs 12	6.38	0.01
C	8 vs 10	2.02	0.16
	8 vs 12		1.00
	10 vs 12	3.03	0.08

注: 不同大小结节之间的两两对比, 仅列举无统计学差异的组合, 其余组合差异均具有统计学意义 ($P < 0.005$, Bonferroni 法校正后的检验水准)。

表 6 不同大小的结节在不同公司之间检出率的差异性分析

Table 6 Analysis of the difference in the detection rate of nodules of different sizes among different companies

公司	3 mm			5 mm			8 mm			10 mm			12 mm		
	检出率 (%)	χ^2	<i>P</i>	检出率 (%)	χ^2	<i>P</i>	检出率 (%)	<i>P</i>	检出率 (%)	χ^2	<i>P</i>	检出率 (%)	χ^2	<i>P</i>	
A	5.19			96.30			100.00		66.67			66.67			
B	12.59	21.06	0.00	91.85	19.20	0.00	100.00	0.33	99.26	89.76	0.00	67.41	48.47	0.000	
C	0.00			80.00			98.52		100.00			97.04			
A vs B		5.33	0.02		17.16	0.00				44.70	0.00		0.90	0.02	
A vs C		7.19	0.01		17.16	0.00				54.00	0.00		44.70	0.00	
B vs C		19.29	0.00		0.00	1.00					0.25		43.30	0.00	

注：通过不同公司之间的两两对比，不同大小的结节推荐 AI 选择如下：3 mm-公司 A、公司 B；5 mm-公司 A；8 mm-公司 A、公司 B、公司 C；10 mm-公司 B、公司 C；12 mm-公司 C。

2.3 灵敏度和假阴性率

每家公司各管电压组间、各管电压组内不同 mAs 间，检出率、假阴性率差异无统计学意义；3 家公司之间 70 kV 组检出率和假阴性率具有统计学差异，其余各管电压组在各公司间无统计学差异。公司 A 在 70 kV 组检出率 (64.44%) 低于公司 B (80.00%)、假阴性率 (35.56%) 高于公司 B (20.00%)，差异具有统计学意义；公司 B 与公司 C 检出率和假阴性率无明显统计学差异 (表 7 和表 8)。

2.4 假阳性率

各管电压组内不同 mAs 间假阳性率差异无统计学意义；各管电压组间假阳性率的差异具有统计学意义。公司 A 140 kV 组 (3.89/CT) 与 80kV (6.44/CT)、70 kV (6.89/CT) 组的假阳性率有差异，120 kV (4.22/CT) 组与 70 kV 组有差异，140 kV 组假阳性率最低，70 kV 组假阳性率最高，100 kV 组与其余 4 组均无统计学差异。公司 B 100 kV 组 (2/CT) 与 70、80 和 140kV 组 (1/CT、1.11/CT、1.11/CT) 的假阳性率有差异，100kV 组假阳性率最高，70 kV 组假阳性率最低。公司 C 140 kV 组 (1.33/CT) 与 70、80 和 100 kV 组 (2/CT) 的假阳性率有差异 (表 7)。

三家公司间各管电压组的假阳性率均具有统计学差异，进一步两两比较，公司 A 的假阳性率高于公司 B 和公司 C，差异具有统计学意义，公司 B 和公司 C 间无统计学差异 (表 8)。

综合比较假阳性率、检出率及假阴性率，发现公司 A 最适扫描管电压是 100 kV；公司 B 和公司 C 是 70 kV。

3 讨论

近年来，人工智能辅助肺结节检测正逐步应用于临床，对于这一新兴领域，不乏对其检测效能影响因素的探讨^[14-18]，本研究中所采用图像均是 1 mm 高分辨窗，有研究显示，采用 B80 重建算法、1 mm 层厚的高分辨窗图像检出率较优^[9,16]。本研究中，各公司对 3 mm 结节

表 7 各公司假阳性率、检出率及假阴性率在不同 kV 条件下的差异性分析

Table 7 Analysis of the difference of the false positive rate, detection rate and false negative rate of various companies under different kV conditions

公司	管电压 /kV	假阳性率				检出率、假阴性率				
		假阳性率 (结节个数/CT)	<i>H</i>	<i>P</i>	两两比较	<i>P</i>	检出率/ %	假阴性率 /%	χ^2	<i>P</i>
A	140	3.89					66.67	33.33		
	120	4.22			70 kV	0.01	68.89	31.11		
	100	4.89	21.00	0.00			66.67	33.33	0.71	0.95
	80	6.44			140 kV	0.02	68.15	31.85		
	70	6.89			140 kV	0.00	64.44	35.56		
B	140	1.11			100 kV	0.03	73.33	26.67		
	120	1.44					72.59	27.41		
	100	2.00	15.86	0.00			73.33	26.67	3.82	0.43
	80	1.11			100 kV	0.01	79.26	20.74		
	70	1.00			100 kV	0.01	80.00	20.00		
C	140	1.33			100 kV	0.01	78.52	21.48		
	120	1.44					76.30	23.7		
	100	2.00	21.65	0.00			77.78	22.22	3.85	0.43
	80	2.00			140 kV	0.01	73.33	26.67		
	70	2.00			140 kV	0.01	69.63	30.37		

注：综合比较假阳性率、检出率及假阴性率，各公司最适扫描管电压推荐：公司 A-100kV；公司 B 和公司 C-70kV。

表 8 不同公司之间假阳性率、检出率及假阴性率的差异性分析

Table 8 Analysis of the difference in false positive rate, detection rate and false negative rate among different companies

公司	假阳性率			检出率、假阴性率			
	假阳性率 (结节个数/CT)	<i>H</i>	<i>P</i>	检出率 /%	假阴性率 /%	χ^2	<i>P</i>
A	5.27			66.96	33.04		
B	1.33	96.68	0.00	75.70	24.30	16.19	0.00
C	1.76			75.11	24.89		
A vs B			< 0.05			8.14	0.00
A vs C			< 0.05			0.83	0.37
B vs C			> 0.05			3.86	0.05

注：3 公司之间检出率、假阴性率的比较，只在 70 kV 组有统计学差异，两两对比仅比较 70 kV 组。假阳性率的比较，3 公司之间每一管电压组都有差异，每 kV 组单独进行两两对比，公司 A 与公司 B、公司 C 之间，每一管电压组都具有统计学差异；公司 B 与公司 C 之间，每一管电压组都无统计学差异。

的检出率都比其他大小的结节低，导致各公司总体灵敏度都不高。有研究显示，AI 检测性能受结节尺寸的影响，降低尺寸会导致灵敏度下降而使 AI 系统整体性能下降^[19]。3 mm 以下的结节通常无临床意义，若排除直径 3 mm 的结节，各公司检出率将会明显提高，公司 A 可

达 82.41%，公司 B 和公司 C 分别是 89.63% 和 93.89%，AI 系统极大的提高了结节检出率和诊断医师的效率，为肺癌的早期预防奠定基础。

对于本研究纳入的 3 种不同密度的模拟结节，CT 值为 -800 HU 的结节检出率明显低于其他两者，可能由于扫描剂量不断降低导致图像信噪比降低，使 -800HU 的结节识别度降低。本研究中不同的 AI 公司均存在一定的漏诊和误诊，除了结节本身的原因外，可能与人工智能的深度学习模型、算法、训练数据集大小等有关，未来需要各 AI 公司对其模型、算法进行不断的优化，以及训练数据集的不断扩大大来完善 AI 整体性能，从而降低结节的漏诊与误诊。目前在临床实践中对于直径较小、密度较低的结节，需诊断医师多加识别关注。

本研究显示，在本实验 CT 扫描仪允许的剂量范围内，管电压及管电流在各公司对结节的检出率和假阴性率均无明显影响，这与 Bodelle 等^[20]的研究结果一致，在一定范围内降低剂量对肺结节检出的敏感性没有影响，根据尽可能的低剂量 (as low as reasonably achievable, ALARA) 原则，在临床实践中采用 AI 系统辅助筛查肺结节，可使用尽可能低的扫描条件来完成胸部 CT 检查 (本研究最低的组合是 70 kV~20 mAs)，以降低受检者的辐射剂量。管电压对结节检出的假阳性率有影响，本研究中的假阳性结节可能来源于较厚的支气管、迂曲交叉的血管影或某些正常的肺结构等^[13,21]，公司 A 和公司 C 均显示在低管电压下假阳性率偏高，这可能与辐射剂量降低，图像信噪比较低，从而导致软件系统的误判有关。公司 A 整体性能较公司 B 和公司 C 略低，可能与其 AI 算法是否足够成熟或训练数据集是否足够大有一定的关系。有研究显示，AI 系统的假阳性率高于影像诊断医师，在于诊断医师对于假阳性的判断经验足够丰富^[13]，现阶段的 AI 辅助检测重点在检出率上，仍需诊断医师判别假阳性结节。为尽可能降低假阳性率，建议结合不同的 AI 系统和辐射剂量，选择最适合的扫描管电压，公司 A -100 kV，公司 B 和公司 C -70 kV。

本研究存在一些局限性：虽然该研究的对象是标准成人影像模型，可以更好地控制变量，且无需考虑伦理因素及辐射影响而进行多次 CT 扫描，数据一致性较高，但该模型仅能模拟健康肺组织，对于某些可能影响肺结节检出率的肺部病变未考虑^[22]；且模拟的球形肺结节密度均匀、形状规整，与实际肺结节有一定区别。

综上所述，AI 辅助肺结节检测的灵敏度与本实验中 CT 允许的所有扫描剂量无关，受 AI 系统整体性能及结节性质影响，各 AI 系统对不同大小、不同性质结节的检出各有优势，本研究中公司 B、C 的 AI 系统整体性能优于公司 A，且最适扫描管电压较低，70 kV 是目前 CT 机的最低管电压，在临床实践中需综合各因素分析选择性能较优的 AI 系统及其相应的最佳扫描剂量。

参考文献

- [1] 肖佳龙, 郑莹. 全球肺癌的流行及预防进展[J]. 中国癌症杂志, 2020, 30(10): 721-725.
XIAO J L, ZHENG Y. The global prevalence and prevention progress of lung cancer[J]. China Oncology, 2020, 30(10): 721-725. (in Chinese).
- [2] 王婧璇, 林岚, 赵思远, 等. 基于深度学习的肺结节计算机断层扫描影像检测与分类的研究进展[J]. 生物医学工程学杂志, 2019, 36(4): 670-676.
WANG J X, LIN L, ZHAO S Y, et al. Research progress on computed tomography image detection and classification of pulmonary nodule based on deep learning[J]. Journal of biomedical engineering, 2019, 36(4): 670-676. (in Chinese).
- [3] 姚本波, 余建群. CT 纹理特征分析在孤立性肺结节诊断中的研究进展[J]. CT 理论与应用研究, 2020,

- 29(1): 111-118. DOI:10.15953/j.1004-4140.2020.29.01.14.
YAO B B, YU J Q. Advance of CT texture feature analysis in diagnosis of solitary pulmonary nodules[J]. CT Theory and Applications, 2020, 29(1): 111-118. DOI:10.15953/j.1004-4140.2020.29.01.14. (in Chinese).
- [4] 陈震, 郁开朗. 人工智能影像软件在体检肺结节筛查中的应用分析[J]. 当代医学, 2020, 26(28): 171-173.
- [5] 陈中博, 陆青云, 王艳. 人工智能在胸部低剂量 CT 体检人群中应用的评价[J]. 影像研究与医学应用, 2020, 4(7): 98-99.
- [6] 周其敏, 吴志伟, 钟庆童, 等. 人工智能肺小结节检测系统在低剂量CT肺筛查中的价值[J]. 医学影像学杂志, 2020, 30(11): 2025-2028.
ZHOU Q M, WU Z W, ZHONG Q T, et al. The value of artificial intelligence pulmonary nodules detection system in low-dose CT lung screening[J]. Journal of Medical Imaging, 2020, 30(11): 2025-2028. (in Chinese).
- [7] CHRISTE A, SZUCS-FARKAS Z, HUBER A, et al. Optimal dose levels in screening chest CT for unimpaired detection and volumetry of lung nodules, with and without computer assisted detection at minimal patient radiation[J]. PLoS One, 2013, 8(12): e82919.
- [8] 杨文洁, 吴梦熊, 张欢, 等. 胸部低剂量CT中肺结节自动测量软件的体模研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2015, 21(4): 382-386.
YANG W J, WU M X, ZHANG H, et al. Influence of exposure parameters nodule characteristics on computer-assisted lung nodule volumetry in low-dose CT: A phantom study[J]. Chinese Computed Medical Imaging, 2015, 21(4): 382-386. (in Chinese).
- [9] 崔兆国, 吴昊, 汤敏, 等. 重建层厚(1/2/3mm)对人工智能检测肺结节效能的影响[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(10): 103-105.
CUI Z G, WU H, TANG M, et al. Effect of reconstruction thickness (1/2/3 mm) on effectiveness of artificial intelligence in detecting pulmonary nodules[J]. China Medical Devices, 2020, 35(10): 103-105. (in Chinese).
- [10] 朱熹, 夏巍, 周中柱, 等. 低剂量 CT 不同重建技术对计算机辅助诊断肺结节的影响[J]. 放射学实践, 2019, 34(11): 1255-1259.
ZHU X, XIA W, ZHOU Z Z, et al. Effect of different reconstruction techniques on computer-aided diagnosis of pulmonary nodules in low-dose CT[J]. Radiologic Practice, 2019, 34(11): 1255-1259. (in Chinese).
- [11] 曹源, 李丹阳, 张扬, 等. 100 kVp 管电压不同重建算法对 AI 辅助检测肺结节效能影响[J]. 放射学实践, 2020, 35(10): 1324-1328.
CAO Y, LI D Y, ZHANG Y, et al. Influence of iterative reconstruction algorithm on deep learning-based pulmonary nodule detection in 100 kVp CT scans[J]. Radiologic Practice, 2020, 35(10): 1324-1328. (in Chinese).
- [12] 杨尚文, 胡安宁, 徐亚运, 等. CT 图像分辨率对人工智能肺结节辅助诊断系统诊断准确性的影响[J]. 医学影像学杂志, 2020, 30(6): 965-968.
YANG S W, HU A N, XU Y Y, et al. Effect of CT image resolution on diagnostic accuracy of artificial intelligence pulmonary nodule-assisted diagnosis system[J]. Journal of Medical Imaging, 2020, 30(6): 965-968. (in Chinese).
- [13] 李欣菱, 郭芳芳, 周振, 等. 基于深度学习的人工智能胸部CT肺结节检测效能评估[J]. 中国肺癌杂志, 2019, 22(6): 336-340.
LI X L, GUO F F, ZHOU Z, et al. Performance of deep-learning-based artificial intelligence on detection of pulmonary nodules in chest CT[J]. Chinese Journal of Lung Cancer, 2019, 22(6): 336-340. (in Chinese).
- [14] ZHENG S, CUI X, VONDER M, et al. Deep learning-based pulmonary nodule detection: Effect of slab thickness in maximum intensity projections at the nodule candidate detection stage[J]. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2020, 196: 105620.

- [15] BLANC D, RACINE V, KHALIL A, et al. Artificial intelligence solution to classify pulmonary nodules on CT[J]. *Diagnostic and Interventional Imaging*, 2020, 101(12): 803-810.
- [16] FU B, WANG G, WU M, et al. Influence of CT effective dose and convolution kernel on the detection of pulmonary nodules in different artificial intelligence software systems: A phantom study[J]. *European Journal of Radiology*, 2020, 126: 108928.
- [17] 赵超. 人工智能识别软件辅助阅片在胸部CT肺结节检出中的应用价值[J]. *医疗装备*, 2020, 33(22): 23-24.
- [18] 张正华, 蔡雅倩, 韩丹, 等. 人工智能与不同级别医师对肺结节检出效能的对照研究[J]. *中国医学影像学杂志*, 2020, 28(9): 662-665.
ZHANG Z H, CAI Y Q, HAN D, et al. Artificial intelligence and various levels of physicians in detection of pulmonary nodules: A comparative Study[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging*, 2020, 28(9): 662-665. (in Chinese).
- [19] PRAKASHINI K, BABU S, RAJGOPAL K V, et al. Role of computer aided diagnosis (CAD) in the detection of pulmonary nodules on 64 row multi detector computed tomography[J]. *Lung India*, 2016, 33(4): 391.
- [20] BODELLE B, KLEMENT D, KERL J M, et al. 70 kV computed tomography of the thorax: Valence for computer-assisted nodule evaluation and radiation dose-first clinical results[J]. *Acta Radiologica*, 2014, 55(9): 1056-1062.
- [21] 宫敬, 焦桥, 马质君. 人工智能辅助诊断技术在低剂量CT肺结节筛查中的应用及质控[J]. *影像研究与医学应用*, 2020, 4(22): 120-121.
- [22] 宋婷妮, 曾勇明, 周旸, 等. 双能CT单能谱成像检测不同性质孤立性肺结节的实验研究[J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2016, 22(1): 33-38.
SONG T N, ZENG Y M, ZHOU Y, et al. Virtual monochromatic spectral imaging on solitary pulmonary nodules: A phantom study[J]. *Chinese Computed Medical Imaging*, 2016, 22(1): 33-38. (in Chinese).

To Explore the Effect of CT Scan Dose on the Efficacy of Artificial Intelligence in Detecting Lung Nodules

WEN Deying¹, PAN Xuelin¹, YAO Hui¹, LI Jijie²,
DENG Qiao¹, TANG Lu¹, WU Xi¹, SUN Jiayu^{1✉}

1.Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

2.Department of Medical Record, West China Second Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

Abstract: Objective: To explore the factors that affect the effectiveness of artificial intelligence systems in detecting lung nodules, and strive to provide personalized scanning conditions and artificial intelligence systems for nodules of different natures, and provide references for the appropriate scanning conditions of various artificial intelligence systems. Methods: Standard adult male chest X-ray/CT image model, in which 15 simulated lung nodules with different density and size are randomly distributed was scanned by different tube voltages and tube current at a total of 50 times. The artificial intelligence systems of different companies are used to detect lung nodules. The Pearson χ^2 test or Fisher exact probability method is used to compare the detection rate and false negative rate of each group; the Kruskal-Wallis H test is used to compare the false positive rate. Results: (1) Under different kV conditions, the detection rates of nodules of different densities and sizes of company A and C were not statistically different; the detection rate of +100 nodules in company B is higher in the 70 kV (100%) group than that in the 120 kV (80%) and 140 kV (80%) group; the detection rate of 3 mm nodules in company B was

higher in the 70 kV group (33.33%) than in the 120 kV (0%) and 140 kV (0%) group. (2) There was no significant difference in detection rate and false negative rate among different mAs in each kV group of the three companies or each kV group. The difference in false positive rate among the kV groups was statistically significant. (3) The detection rate of company A in the 70 kV group (64.44%) is lower than that of company B (80.00%), and the false negative rate (35.56%) is higher than that of company B (20.00%); The false positive rate of company A is higher than that of company B and company C. There is no statistical difference in the detection rate, false negative rate, and false positive rate between company B and C. Conclusions: The sensitivity of artificial intelligence-assisted lung nodule detection has nothing to do with the CT scan dose, but is related to the nature of the nodule and the performance of the AI system. In this study, the overall performance of company B and C is higher than that of company A, and the best scanning tube voltages are 70 kV, 70 kV, and 100 kV respectively.

Keywords: lung nodules; artificial intelligence; image model



作者简介: 温德英, 女, 本科, 四川大学华西医院放射科初级技师, 主要从事 CT、MR 成像技术研究, E-mail: 940035866@qq.com; 孙家瑜[✉], 影像医学与核医学硕士, 四川大学华西医院放射科主任技师, 主要从事 CT、MR 成像及心脏 MR 技术研究, E-mail: sjy080512@163.com。