

论 著

AI联合医生模式用于肺良恶性结节CT薄层重建检查中的价值*

颜尚骥¹ 凌华毓² 杨 中^{1,*}

1.合肥京东方医院医学影像科
(安徽 合肥 230013)
2.皖南医学院第一附属医院弋矶山医院
肿瘤科 (安徽 芜湖 241001)

【摘要】目的 分析人工智能(AI)联合医生模式用于肺良恶性结节CT薄层重建检查中的价值。方法 回顾性分析2021年12月至2024年12月本院收治的107例肺结节患者的临床资料。以病理结果为金标准，分析AI、医生诊断模式对良恶性肺结节的诊断价值；并比较AI、医师诊断模式对不同直径、密度、位置的结节检出情况。结果 肺恶性结节大小、密度CT值、体积均高于肺良性结节，均有统计学差异($P>0.05$)。经一致性分析，AI、低资医师、高资医师、AI+低资医师、AI+高资医师诊断良恶性肺结节的灵敏度分别为94.52%、97.26%、97.26%、97.26%、98.63%；特异度分别为89.09%、56.36%、81.82%、87.27%、89.09%；准确度分别为92.19%、79.69%、90.63%、92.97%、94.53%；Kappa分别为0.840、0.564、0.852、0.855、0.887。相较于低资医师诊断模式，AI、高资医师、AI+低资医师、AI+高资医师诊断模式对直径 $<5\text{mm}$ 、5~10mm的结节及实质性结节、磨玻璃结节、胸膜下结节、外周型结节、中心型结节的检出率均更高($P<0.05$)。结论 在肺结节CT薄层重建检查中应用AI辅助诊断结合医生模式，能够提高低资医师的诊断准确率，但对高资医师应用CT的总体诊断准确度影响并不显著。

【关键词】人工智能；肺结节；CT薄层重建；诊断价值
【中图分类号】R322.3+5
【文献标识码】A
【基金项目】中国高校产学研创新基金(2023HT004)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.08.012

The Value of AI Combined with Doctor Mode in Thin-layer CT Reconstruction of Benign and Malignant Pulmonary Nodules*

YAN Shang-ji¹, LING Hua-yu², YANG Zhong^{1,*}.
1.Department of Medical Imaging, Hefei BOE Hospital, Hefei 230013, Anhui Province, China
2.Department of Oncology, Yijishan Hospital, the First Affiliated Hospital of Wannan Medical College, Wuhu 241001, Anhui Province, China

ABSTRACT
Objective To analyze the value of artificial intelligence (AI) combined with doctor mode in thin-layer CT reconstruction of benign and malignant pulmonary nodules. **Methods** The clinical data of 107 patients with pulmonary nodules treated in our hospital from December 2021 to December 2024 were retrospectively analyzed. Using pathological results as the gold standard, analyze the diagnostic value of AI and doctor diagnostic models for benign and malignant pulmonary nodules; And compare the detection of nodules with different diameters, densities, and locations using AI and physician diagnostic modes. **Results** The size, density CT value, and volume of malignant pulmonary nodules are all higher than those of benign pulmonary nodules, with statistical differences ($P>0.05$). After consistency analysis, AI, The sensitivity of low qualified physicians, high qualified physicians, AI+low qualified physicians, and AI+high qualified physicians in diagnosing benign and malignant pulmonary nodules were 94.52%, 97.26%, 97.26%, 97.26%, and 98.63%, respectively; The specificity was 89.09%, 56.36%, 81.82%, 87.27%, and 89.09%, respectively; The accuracies were 92.19%, 79.69%, 90.63%, 92.97%, and 94.53%, respectively; Kappa values are 0.840, 0.564, 0.852, 0.855, and 0.887, respectively. Compared to the low qualified physician diagnostic model, AI, The diagnostic models of high qualified physicians, AI+low qualified physicians, and AI+high qualified physicians have higher detection rates for nodules with diameters $<5\text{ mm}$, 5-10 mm, solid nodules, ground glass nodules, subpleural nodules, peripheral nodules, and central nodules ($P<0.05$). **Conclusion** The application of AI assisted diagnosis combined with doctor mode in CT thin-layer reconstruction examination of pulmonary nodules can improve the diagnostic accuracy of low skilled physicians, but has no significant impact on the overall diagnostic accuracy of high skilled physicians using CT.
Keywords: Artificial Intelligence; Pulmonary Nodules; Thin Slice CT Reconstruction; Diagnostic Value

肺结节好发于20~40岁的群体，该病在早期缺乏典型症状，且病情有恶变风险，对患者生命安全造成严重威胁^[1]。胸部CT扫描是临床诊断肺结节的常用方法，而CT薄层重建技术通过高分辨率的图像，能够清晰显示肺结节的形态、边缘、密度及与周围组织的关系，为医生提供肺结节更为详尽的影像信息，不仅提高了肺结节的检出率，还有助于医生对结节的良恶性进行初步判断^[2-3]。但对于影像科医师而言，工作负担重，大量阅片导致视觉、精神疲劳可能会造成误诊、漏诊的发生。近年，人工智能(AI)技术能够辅助影像科医师进行阅片诊断，AI技术能够在大量CT图像中快速检出肺结节和鉴别其性质，帮助医师减少工作量，对肺结节的筛查有利^[4]。基于此，本研究探讨AI联合医生模式对良恶性肺结节的鉴别价值，以寻找肺结节患者最佳筛查方式。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2021年12月至2024年12月本院收治的107例肺结节患者的临床资料，其中男性59例，女性48例；年龄43~78岁，平均(61.79±10.23)岁。107例患者通过胸部CT扫描检查及临床随访共检出128枚结节，经病理检查发现恶性结节73枚，良性结节55枚；直径 $<5\text{mm}$ 的结节58枚，直径5~10mm的结节41枚，直径 $>10\text{mm}$ 的结节29枚；实质性结节71枚，部分实质性结节12枚，磨玻璃结节45枚；胸膜下结节24枚，外周型结节69枚，中心型结节32枚，肺门结节4枚。

纳入标准：CT扫描或体检发现肺部至少有一个直径 $\leq 3\text{cm}$ 的结节，并经病理检查明确；影像学图像清晰、病灶明确者；临床资料完整者。排除标准：病灶有广泛瘢痕形成、水肿、纤维化；伴间质性、弥漫性转移肺病者；明确诊断为肺癌者；有明显感染症状；合并血液系统疾病者；伴有其他恶性肿瘤者；多发肺转移瘤；有胸外科手术史者。

1.2 检查方法 采用64排及16排螺旋CT扫描仪，从肺尖至肺底扫描，同时完成两侧至腋窝的扫描，患者在一次吸气后屏气，在屏气状态下完成扫描。扫描参数：层厚及层间距均为5 mm，视野为300 mm×300 mm，矩阵为512×512，管电压、电流分别为120 kV、50 mA。借助标准算法^[5]对获得图像进行薄层图像重建，重建层厚为1.25 mm。使用深睿博联(北京)科技有限责任公司生产的AI软件，将获得的CT图像及数据传输至AI工作站，由系统自动、批量完成肺结节识别、标记工作，并完成结节性质的鉴别。同时，采用双盲法，将CT图像由2位低资专业影像科医师(从事肺部CT工作1年以内)及2位高资专业影像科医师(从事肺部CT工作15年以上)进行分析。参考《胸部CT肺结节数据标注与质量控制专家共识(2018)》^[6]对肺结节定性定量判断。

【第一作者】颜尚骥，男，主治医师，主要研究方向：肺结节影像进展研究。E-mail: jakcy3355@163.com
【通讯作者】杨 中，男，副主任医师，主要研究方向：PET-CT肿瘤诊断。E-mail: 584287617@qq.com

1.3 统计学方法 采用SPSS 26.0处理数据，计量资料按($\bar{x} \pm s$)表示，采用t检验；计数资料计算构成比，采用 χ^2 检验；一致性分析以Kappa检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 CT薄层重建检查评估良恶性肺结节的结果比较 肺恶性结节大小、密度CT值、体积均高于肺良性结节，均有统计学差异($P > 0.05$)。见表1。

表1 CT薄层重建检查评估良恶性肺结节的结果比较				
结节性质	枚	结节大小(mm)	结节密度CT值(Hu)	结节体积(mm ³)
恶性	73	9.43±0.61	-274.76±28.97	193.67±18.72
良性	55	8.33±0.52	-528.85±26.13	170.94±16.24
t值		10.749	51.211	7.192
P值		0.000	0.000	0.000

2.2 不同资质医生与AI辅助诊断对良恶性肺结节的诊断效能 经一致性分析，AI、低资医师、高资医师、AI+低资医师、AI+高资医师诊断良恶性肺结节的灵敏度分别为94.52%、97.26%、97.26%、97.26%、98.63%；特异度分别为89.09%、56.36%、81.82%、87.27%、89.09%；准确度分别为92.19%、79.69%、90.63%、92.97%、94.53%；Kappa分别为0.840、0.564、0.852、0.855、0.887。见表2。

2.3 不同资质医生与AI辅助诊断对不同性质结节检出率比较 相较于低资医师诊断模式，AI、高资医师、AI+低资医师、AI+高资医师诊断模式对直径 < 5 mm、5~10mm的结节及实质性结节、

磨玻璃结节、胸膜下结节、外周型结节、中心型结节的检出率均更高($P < 0.05$)；各种诊断模式对直径 > 10 mm的结节及部分实质性结节、肺门结节的检出率比较均无差异($P > 0.05$)。见表3。

表2 不同资质医生与AI辅助诊断对良恶性肺结节的诊断效能

诊断模式	病理结果		灵敏度(%)	特异度(%)	准确度(%)	Kappa值
	恶性	良性				
AI			94.52	89.09	92.19	0.840
恶性	69	6				
良性	4	49				
低资医师			97.26	56.36	79.69	0.564
恶性	71	24				
良性	2	31				
高资医师			97.26	81.82	90.63	0.852
恶性	71	10				
良性	2	45				
AI+低资医师			97.26	87.27	92.97	0.855
恶性	71	7				
良性	2	48				
AI+高资医师			98.63	89.09	94.53	0.887
恶性	72	6				
良性	1	49				

表3 不同资质医生与AI辅助诊断对不同性质结节检出率

诊断模式	结节直径(mm)			结节密度		
	< 5 (58枚)	5~10(41枚)	> 10 (29枚)	实质性(71枚)	部分实质性(12枚)	磨玻璃(45枚)
AI	56(96.55)*	41(100.0)*	29(100.0)	69(97.18)*	12(100.0)	44(97.78)*
低资医师	12(20.69)	21(51.22)	27(93.10)	28(39.44)	10(83.33)	20(44.44)
高资医师	50(86.21)*	39(95.12)*	29(100.0)	64(90.14)*	11(91.67)	40(88.89)*
AI+低资医师	56(96.55)*	41(100.0)*	28(96.55)	69(97.18)*	12(100.0)	45(100.0)*
AI+高资医师	57(98.28)*	41(100.0)*	29(100.0)	70(98.59)*	12(100.0)	45(100.0)*
χ^2 值	158.270	77.831	5.410	139.671	5.520	89.492
P值	0.000	0.000	0.248	0.000	0.238	0.000
续表3						
	结节位置		结节位置			
	胸膜下(24枚)	外周型(69枚)	中心型(32枚)	肺门(4枚)		
AI	22(91.67)*	67(97.10)*	30(93.75)*	3(75.00)		
低资医师	14(58.33)	52(75.36)	24(75.00)	2(50.00)		
高资医师	21(87.50)*	64(92.75)*	31(96.88)*	4(100.0)		
AI+低资医师	23(95.83)*	68(98.55)*	31(96.88)*	4(100.0)		
AI+高资医师	24(100.0)*	69(100.0)*	32(100.0)*	4(100.0)		
χ^2 值	22.461	41.710	18.442	5.960		
P值	0.000	0.000	0.001	0.202		

注：与低资医师诊断模式比较，* $P < 0.05$ 。

2.4 病例分析 见图1~2。

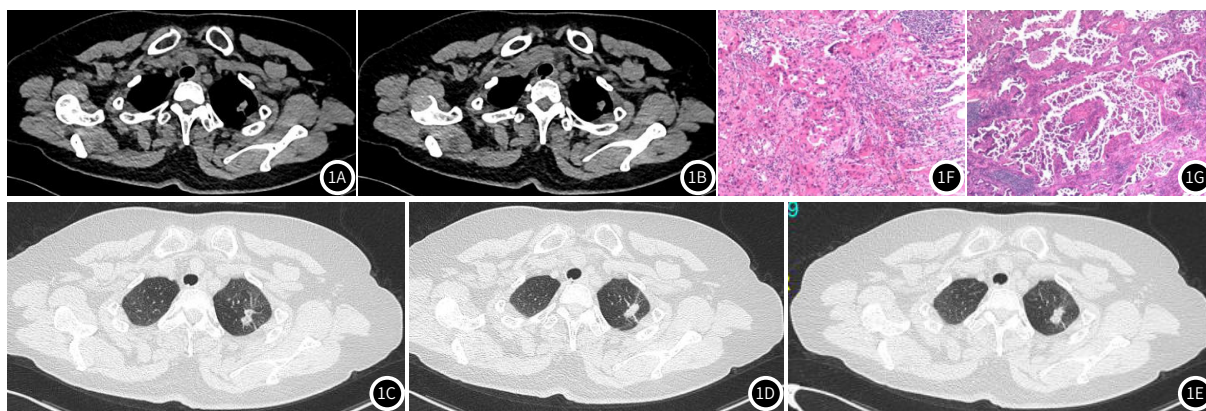


图1A~图1G 病例一，左上肺上叶尖后段结节灶(LUNG-RADS 4X类，倾向浸润性腺癌IAC可能)。病理诊断：(左上肺占位)左上肺浸润性腺癌，大小16mm×12mm，腺泡型生长约占50%，微乳头型生长约占30%，贴壁型生长约占20%，胸膜侵犯(-)，脉管癌栓(-)，神经侵犯(-)，STAS(-)，切缘(-)。特殊染色：弹力纤维染色示胸膜弹力纤维未破坏。免疫组化结果：TTF-1(+), NapsinA(+), CK7(+), EGFR(+), P63(-), CAM5.2(+), KI-67(+, 热点区60%), S-100显示神经纤维，CD31、D2-40显示脉管。

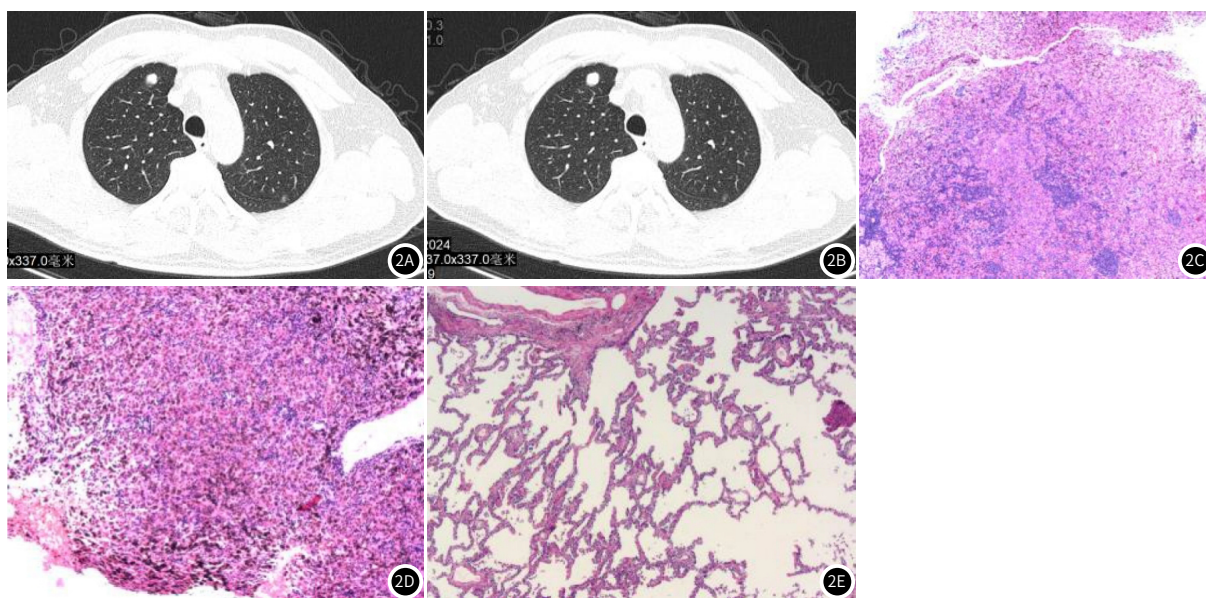


图2A~图2E 病例二，右肺上叶混合磨玻璃结节伴胸膜牵拉回缩(LUNG-RADS 4X类，倾向微浸润性腺癌MIA可能)较2020-12-04老片稍大，实性成分稍增多。病理诊断：(第6组淋巴结)送检淋巴结2枚，呈反应性改变，炭末沉积，未见肿瘤。(右肺结节)原位肺腺癌，最大径5mm，胸膜侵犯(-)，神经侵犯(-)，脉管侵犯(-)，切缘(-)。

3 讨论

肺部结节是指在肺部的影像学检查中发现的，直径小于3厘米的，边缘清晰或模糊的圆形或不规则占位性病变^[7-8]。CT是诊断肺结节的有效手段，而CT薄层重建能够提供更清晰、更详细的解剖结构信息，对于一些肺部微小结节，薄层CT能够更早地发现和更准确地评估其特征^[9]。但大量CT阅片加重了影像科医师的负担，导致误诊、漏诊情况出现。AI辅助阅片可通过提取肺结节CT图像主要特征，进行数字化分析，继而进行良恶性鉴别，不受人为因素干扰^[10]。且有研究发现^[11]，AI技术辅助诊断能够准确发现CT上肺结节，提高了肺结节的检出率，还可减少影像科医师阅片时间。

本研究通过CT薄层重建检查发现，肺恶性结节大小、密度、体积均比良性结节大，说明CT薄层重建检查对肺良恶性结节有

良好的诊断价值。可能是因为通过CT薄层重建对肺部CT图像进行精细分析，医生能够更准确地判断结节的形状、边缘和内部结构，有效区分肺结节的良恶性^[12]。本研究经过一致性分析发现，AI、高资医师对肺良恶性结节的诊断效能均较高，获得了较高的灵敏度(94.52%、97.26%)、特异度(89.09%、81.82%)和准确度(92.19%、90.63%)，且一致性均较高(Kappa=0.840、0.852)，说明高资医师通过丰富的临床经验能够在CT薄层重建技术支持下分辨出更多良恶性结节，因而能够获得较高的诊断准确率。而AI辅助阅片对图像处理和提取数据时，数据信息更全面，客观性更强，并且AI能够对CT图像进行精准计算，分析肉眼难以分辨的额外图像信息，从而鉴别良恶性结节^[13]，且有研究表明^[14-15]，基于深度学习的诊断模型在肺结节良恶性鉴别的准确性上具有较

高的诊断效能。同时,低资医师对肺良恶性结节的诊断敏感度为97.26%,但特异度(56.36%)和准确度(79.69%)相对较低,且一致性较差(Kappa=0.564),说明低资医师由于缺乏临床经验,只是结合CT影像学结果对结节性质判断,容易将良性结节误诊为恶性,因而诊断准确率较低。而临床有研究^[16]建议将AI辅助系统与医生阅片方式结合,以提高对肺结节的诊断准确率。故本研究将两种阅片方式结合,结果显示,AI+高资医师诊断良恶性结节的灵敏度(98.63%)、特异度(89.09%)、准确率(94.53%)和一致性(Kappa=0.887)均较高,但AI+高资医师诊断模式与单纯AI、高资医师的诊断效能相当,说明AI对高资医师的辅助价值有限。但AI+低资医师诊断肺良恶性结节的诊断敏感度为97.26%、特异度为87.27%、准确度为92.97%,且一致性较高(Kappa=0.855),说明AI辅助阅片能够提高低资医师对良恶性结节的诊断准确率和效能。可能是因为在AI辅助阅片的诊断过程中,可通过对肺结节的形态、密度、边缘特征等进行综合分析,辅助医生判断结节的良恶性,而弥补了低资医师经验不足所致过度诊断,减少了误诊、漏诊的发生,确保了诊断结果的准确性和可靠性,继而AI辅助联合低资医师对良恶性结节的鉴别效能显著提高^[17]。

本研究中,相较于低资医师诊断模式,AI、高资医师、AI+低资医师、AI+高资医师诊断模式对直径<5mm、5~10mm的结节及实质性结节、磨玻璃结节、胸膜下结节、外周型结节、中心型结节的检出率均更高,但各种诊断模式对直径>10mm的结节及部分实质性结节、肺门结节的检出率比较均无差异。提示AI辅助低资医师能够提高对直径≤10mm肺结节的检出率,并有助于判断结节的密度,以及确定结节的位置,从而为医生提供更准确的诊断信息。与既往研究^[18-19]结果相似。考虑可能是因为由于临床经验不足,低资医师在阅片时容易忽略部分微小结节和位置特殊的结节,继而造成误诊或漏诊的发生。而大量研究证实^[20-21],AI技术辅助诊断肺小结节的准确率一般在95%以上,并且甚至可达到100%,良恶性诊断符合率也达到了较高水平。因此,AI能够对CT图像进行自动识别和分析,不仅可快速标记出结节的大小、位置和密度等,还可提供更为精确的影像数据定量分析,从而辅助低资医生对结节微小变化做出精准判断^[22]。

综上,对肺结节CT薄层重建检查中应用AI辅助阅片,能够获得肺结节更为详细的信息,继而辅助低资医生对肺结节大小、密度、位置及性质的做出精准判断,从而提高肺良恶性结节的检出率和诊断准确率,但对高资医师的辅助诊断价值并不显著。

参考文献

- [1]李冬霞,卫文婷,韩桂玲,等.北京市某三甲医院体检人群肺结节检出情况及其影响因素分析[J].实用心脑血管病杂志,2022,30(12):23-28.
- [2]申放,赵空军.多排螺旋CT薄层重建在肺结节单发中的诊断价值[J].贵州医药,2022,46(6):972-973.
- [3]徐森,郑有麒,李强,等.CT检查薄层重建肺部FGGO影像学表现及临床应用价值分析[J].中国CT和MRI杂志,2022(2):53-55.

- [4]Pan W,Fang X,Zang Z,et al.Diagnostic efficiency of artificial intelligence for pulmonary nodules based on CT scans[J].Am J Transl Res,2023,15(5):3318-3325.
- [5]Hassan AE,Wise J,Burke EM,et al.Visualization of flow diverter stent wall apposition during intracranial aneurysm treatment using a virtually diluted cone beam CT technique (Vessel ASSIST)[J].Neuroradiology,2021,63(1):125-131.
- [6]中国食品药品检定研究院,中华医学会放射学分会心胸学组.胸部CT肺结节数据标注与质量控制专家共识(2018)[J].中华放射学杂志,2019,53(1):9-15.
- [7]Walter K.Pulmonary Nodules[J].JAMA;2021,326(15):1544.
- [8]郭献平,朱晓莉.肺结节患者临床特征及情绪研究进展[J].东南大学学报(医学版),2020,39(5):688-692.
- [9]吴标,马长宜,郝以秀,等.CT薄层靶重建技术对肺内磨玻璃密度小结节的诊断价值[J].实用放射学杂志,2018,(5):769-772.
- [10]刘娜,赵正凯,邹佳瑜,等.基于人工智能的胸部CT肺结节检出及良恶性诊断效能评估[J].CT理论与应用研究,2021,30(6):709-715.
- [11]Huang G,Wei X,Tang H,et al.A systematic review and meta-analysis of diagnostic performance and physicians' perceptions of artificial intelligence (AI)-assisted CT diagnostic technology for the classification of pulmonary nodules[J].J Thorac Dis,2021,13(8):4797-4811.
- [12]刘娜,奚泉,苏传振,等.256iCT薄层扫描联合三维重建技术对孤立性肺结节的诊断价值[J].武警医学院学报,2021,30(9):14-17.
- [13]曹源,李丹阳,张扬,等.100kVp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.
- [14]Wang C,Shao J,He Y,et al.Data-driven risk stratification and precision management of pulmonary nodules detected on chest computed tomography[J].Nat Med,2024,30(11):3184-3195.
- [15]van den Berk IAH,Jacobs C,Kanglie MMNP,et al.An AI deep learning algorithm for detecting pulmonary nodules on ultra-low-dose CT in an emergency setting:a reader study[J].Eur Radiol Exp,2024,8(1):132.
- [16]宋丹丹,齐星亮,刘佳林,等.人工智能技术在胸部CT恶性及非钙化结节检出中的价值[J].医学影像学杂志,2023,33(1):154-157.
- [17]贺呈祥,栗欣,张怀璐.基于人工智能与影像医生对肺结节检出效能的应用价值[J].宁夏医科大学学报,2024,46(9):911-914.
- [18]毛卫霞,任聪云,李少臻,等.人工智能联合低剂量肺部CT扫描在肺原位癌筛查中的诊断价值[J].中国医学装备,2021,18(12):45-48.
- [19]Wang C,Shao J,Xu X,et al.DeepLN:a multi-task AI tool to predict the imaging characteristics,malignancy and pathological subtypes in CT-detected pulmonary nodules[J].Front Oncol,2022,12:683792.
- [20]邓莎莎,薛蕴菁,刘琦,等.不同CT成像参数对基于深度学习的智能辅助软件诊断肺结节良恶性效能的影响[J].中国医学影像学杂志,2021,29(10):1003-1006,1011.
- [21]Kudo Y,Nakamura T,Matsubayashi J,et al.AI-driven characterization of solid pulmonary nodules on CT imaging for enhanced malignancy prediction in small-sized lung adenocarcinoma[J].Clin Lung Cancer,2024,25(5):431-439.
- [22]陈金春,薛卫宽,李刚,等.肺低剂量CT检查薄层重建联合肺结节AI诊断价值[J].中国老年学杂志,2024,44(19):4660-4664.

(收稿日期:2025-03-01)

(校对编辑:韩敏求、翁佳鸿)