



· 论 著 ·

# 基于CT靶扫描的人工智能软件对肺结节良恶性鉴别及病理学类型预测的初步研究

陈 雷<sup>1</sup>, 张泽华<sup>1</sup>, 罗 容<sup>1</sup>, 项慧婧<sup>1</sup>, 李瑞敏<sup>1, 2</sup>, 周正荣<sup>1, 2</sup>

1. 复旦大学附属肿瘤医院闵行分院影像科, 上海 200240;

2. 复旦大学附属肿瘤医院放射诊断科, 复旦大学上海医学院肿瘤学系, 上海 200032

**[摘要]** **目的:** 探讨人工智能 (artificial intelligence, AI) 软件对肺结节良恶性鉴别及肺结节病理学类型预测的价值。**方法:** 收集2020年9月—2024年8月于复旦大学附属肿瘤医院闵行分院进行高危人群肺结节筛查且经病理学检查证实的肺结节患者。应用AI软件分析肺结节的良恶性及病理学类型, 并与病理学检查结果进行一致性检验。通过受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线评估AI软件的诊断效能。**结果:** 共纳入62例肺结节患者, 其中炎性结节4例, 原位癌4例, 非典型性腺瘤样增生2例, 微浸润腺癌16例, 浸润腺癌32例, 鳞癌4例。肺结节软件分析诊断肺结节良恶性的灵敏度为98.28%, 特异度为75.00%, 准确度为96.80%, 曲线下面积为0.866。AI软件对肺结节病理学类型预测与病理学检查结果进行一致性检验, Kappa值为0.859。**结论:** 基于计算机体层成像 (computed tomography, CT) 靶扫描的AI软件在肺癌筛查中能够有效地鉴别肺结节良恶性, 对肺结节的病理学类型预测也具有参考意义, 对医师作出更优化的临床手术决策及对患者肺结节进行精准化管理有很大帮助。

**[关键词]** 肺结节; 人工智能; 靶扫描; 计算机体层成像

中图分类号: R734.2; R445.3 文献标志码: A

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2025.03.009

## Preliminary study on the identification of benign and malignant lung nodules and prediction of pathological types using artificial intelligence software based on CT target scan

CHEN Lei<sup>1</sup>, ZHANG Zehua<sup>1</sup>, LUO Rong<sup>1</sup>, XIANG Huijing<sup>1</sup>, LI Ruimin<sup>1,2</sup>, ZHOU Zhengrong<sup>1,2</sup> (1. Department of Radiology, Minhang Branch, Cancer Hospital Affiliated to Fudan University, Shanghai 200240, China; 2. Department of Radiology, Fudan University Shanghai Cancer Center, Department of Oncology, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China)

Correspondence to: ZHOU Zhengrong E-mail: zhouzr\_16@163.com

**[Abstract]** **Objective:** To explore the predictive value of artificial intelligence (AI) software in identifying benign and malignant lung nodules and predicting the pathological types of lung nodules. **Methods:** Patients with lung nodules confirmed by pathological examination were collected, who underwent high-risk lung nodule screening at the Minhang Branch of Affiliated to Fudan University Cancer Hospital from September 2020 to August 2024. AI software was used to analyze the benignity and malignancy and pathological types of pulmonary nodules, and consistency with pathological results was tested. The diagnostic performance of the AI software was evaluated through the area under the receiver operating characteristic (ROC) curve. **Results:** A total of 62 patients with

**基金项目:** 上海市闵行区自然科学基金 (2020MHZ078)。

**利益冲突:** 作者声明无利益冲突。

**伦理批件:** (2024) 伦审第 (014) 号。

**知情同意:** 有。

**引用本文:** 陈 雷, 张泽华, 罗 容, 项慧婧, 李瑞敏, 周正荣. 基于CT靶扫描的人工智能软件对肺结节良恶性鉴别及病理学类型预测的初步研究 [J]. 肿瘤影像学, 2025, 34(3): 258-263.

**Funding:** Natural Science Foundation of Minhang District in Shanghai (2020MH078).

**Conflicts of interest:** authors declare no conflicts of interest.

**Ethical approval:** Lun-Shen[2024]No.014.

**Informed consent:** available.

**Cite this article:** CHEN L, ZHANG Z H, LUO R, et al. Preliminary study on the identification of benign and malignant lung nodules and prediction of pathological types using artificial intelligence software based on CT target scan [J]. Oncoradiology, 2025, 34(3): 258-263.

pulmonary nodules were included in the study, including 4 cases of inflammatory nodules, 4 cases of carcinoma *in situ*, 2 cases of atypical adenomatous hyperplasia, 16 cases of microinvasive adenocarcinoma, 32 cases of invasive adenocarcinoma, and 4 cases of squamous cell carcinoma. The sensitivity, specificity, and accuracy of the pulmonary nodule software in diagnosing the benignity and malignancy of pulmonary nodules were 98.28%, 75.00%, and 96.80%, respectively. The area under the ROC curve for diagnosing benign and malignant pulmonary nodules by AI analysis was 0.866. The consistency between the AI software's predictions of pulmonary nodule pathological types and the pathological results was tested, with a Kappa value of 0.859. **Conclusion:** AI software based on computed tomography (CT) target scanning can effectively distinguish between benign and malignant lung nodules during lung cancer screening. It provides a reference for predicting the pathological types of lung nodules and is valuable for optimizing clinical surgical procedures and enabling precise management of patients with pulmonary nodules.

[ **Key words** ] Lung nodule; Artificial intelligence; Target scanning; Computed tomography

根据国际癌症研究机构 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 发布的2022年最新癌症数据, 肺癌发病率及死亡率位居世界首位, 中国2022年肺癌新发患者约106万, 肺癌死亡患者约73万, 发病率及死亡率均居中国癌症第一<sup>[1]</sup>。随着低剂量计算机体层成像 (low-dose computed tomography, LDCT) 肺癌筛查的推广, 肺结节的检出率越来越高<sup>[2-3]</sup>, 如何早期鉴别结节的良恶性, 并准确评估其恶性程度是当前临床面临的挑战。2021年世界卫生组织病理学分型将腺瘤样增生和原位癌归为腺体前驱病变, 腺癌分为微浸润性腺癌 (minimally invasive adenocarcinoma, MIA) 和浸润性腺癌 (invasive adenocarcinoma, IAC)。MIA和IAC浸润范围不同, 预后情况差别显著。MIA术后5年无病生存率接近100.0%<sup>[4]</sup>, IAC术后5年无病生存率约74.6%<sup>[5]</sup>, MIA可采用对肺功能影响较小的肺段切除或楔形切除, IAC治疗以肺叶切除为主, 术前对两者的准确诊断有助于临床精准治疗。MIA和IAC在CT上表现为磨玻璃结节 (ground glass opacity nodule, GGO), IAC以混杂磨玻璃结节多见, 但早期与MIA不易准确区分。目前, 临床工作中多根据GGO的CT形态学特征进行病理学分类, 形态学特征主要依靠主观评价, 缺乏客观性, 结果可重复性差<sup>[6]</sup>。

因此, 本研究旨在运用基于CT靶扫描的人工智能 (artificial intelligence, AI) 软件鉴别肺结节良恶性及预测肺结节的病理学类型, 为患者随访复查策略的优化及手术方案的制订提供参考。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究对象

回顾并收集2020年9月—2024年8月在复旦大学附属肿瘤医院闵行分院进行高危人群肺结节筛查 (LDCT) 受检者的临床资料。纳入标准: ① 进行LDCT扫描及高危结节靶扫描; ② 受检者临床资料完整及病理学检查结果明确; ③ CT检查前未接受任何治疗。排除标准: ① 有弥漫的间质性肺病或肺气肿、严重的肺部感染或结核; ② 胸部有转移瘤; ③ 图像伪影重、质量差影响病灶分割。本研究经医院伦理委员会审批通过 [(2024) 伦审第 (014) 号]。

### 1.2 检查方法

采用荷兰Philips公司的Ingenuity螺旋CT机进行肺部扫描。低剂量扫描参数: 管电压120 kV, 管电流 $\leq 40$  mA, 螺距0.75~1.00 mm, 层厚5.0 mm, 重建图像层厚为1.0 mm。

靶扫描参数: 管电压120 kV, 管电流250 mA, 扫描层厚1 mm, 层间距1 mm, 螺距1.155 mm, 矩阵1 024 × 1 024, 小视野, 扫描时间根据管电压、管电流及螺距自动生成。所有患者均在吸气末进行肺部CT靶扫描, 取仰卧位, 双手上举, 扫描范围为肺结节所在区域。由2名高年资医师 (本院从事CT诊断工作5年以上) 判断肺部结节是否需要靶扫描。

### 1.3 AI软件

采用的AI软件由邃蓝智能科技 (上海) 有限公司提供, 该AI软件在1 mm靶扫描图像上进

行分析,可自动勾选出结节,显示结节的特征参数,作出定性诊断及预测病理学分型。

#### 1.4 统计学处理

采用SPSS 22软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 形式表示,采用独立样本 $t$ 检验进行分析。AI预测结果与病理学检查结果两组数据进行Kappa一致性检验,Kappa值计算结果为-1~1,分为5组来表示不同级别的一致性,0.00~0.20为一致性极低,0.21~0.40为一致性一般,0.41~0.60为一致性中等,0.61~0.80为高度一致性,0.81~1.00为几乎完全一致。

## 2 结果

### 2.1 患者临床病理学特征

本研究共纳入62例患者,其中男性35例,女性27例,年龄52~81岁,平均年龄( $63.37\pm 7.69$ )岁。肺结节分析软件显示炎性结节4例,原位癌6例,MIA 20例,IAC 28例,鳞癌4例。病理学检查结果显示炎性结节4例,原位癌4例,非典型性腺瘤样增生2例,MIA 16例,IAC 32例,鳞癌4例(图1,表1,图2、3)。

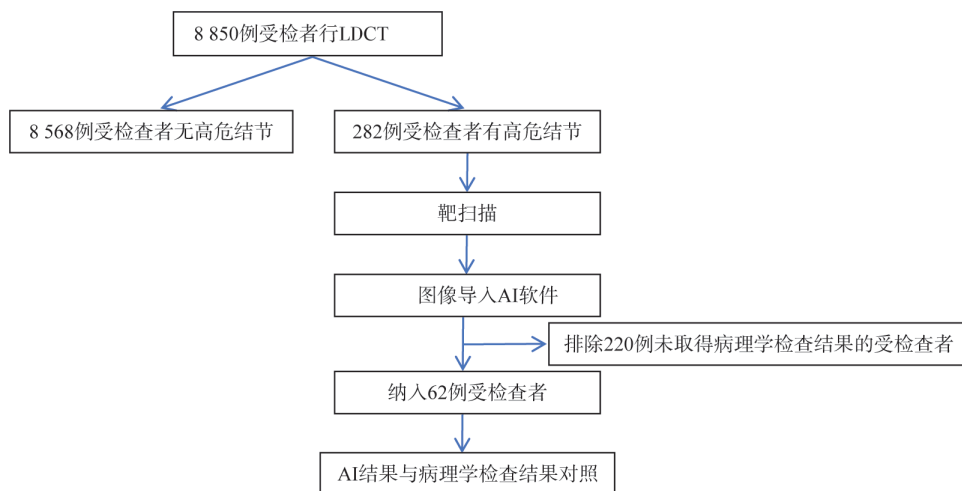


图1 基于CT靶扫描的AI软件对肺结节良恶性鉴别及病理学类型预测的流程

Fig.1 A flowchart for the differentiation of benign and malignant pulmonary nodules and the prediction of pathological types using artificial intelligence software based on CT target scanning

表1 AI预测结果与病理学检查结果混淆矩阵

Tab.1 Confusion matrix of AI prediction results and pathological examination results

AI	病理学检查结果					
	炎症	不典型增生	原位癌	MIA	IAC	鳞癌
炎症	3	0	0	0	1	0
不典型增生	0	0	0	0	0	0
原位癌	0	2	4	0	0	0
MIA	1	0	0	16	3	0
IAC	0	0	0	0	28	0
鳞癌	0	0	0	0	0	4

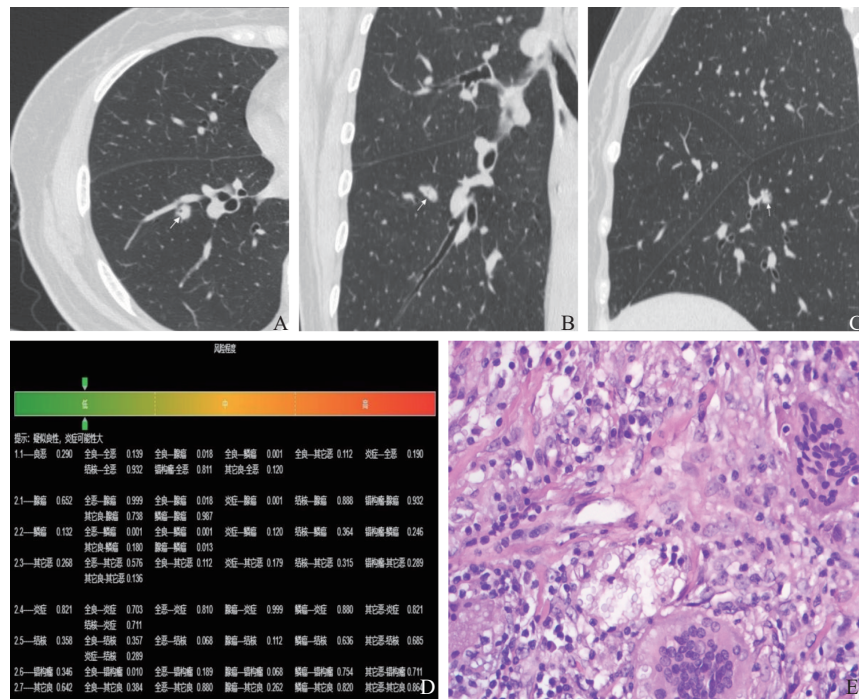


图2 典型病例1 (患者, 女性, 51岁, 右肺下叶不规则肺结节) CT图像及病理学表现

Fig.2 CT images and pathological manifestation of typical case 1 (A 51-year-old female patient with an irregular pulmonary nodule in the right lower lobe)

A: 横断位; B: 冠状位; C: 矢状位; D: AI分析结果为良性, 炎症可能性大; E: 病理学图片, HE染色, 40倍镜, 炎症伴隐球菌感染。

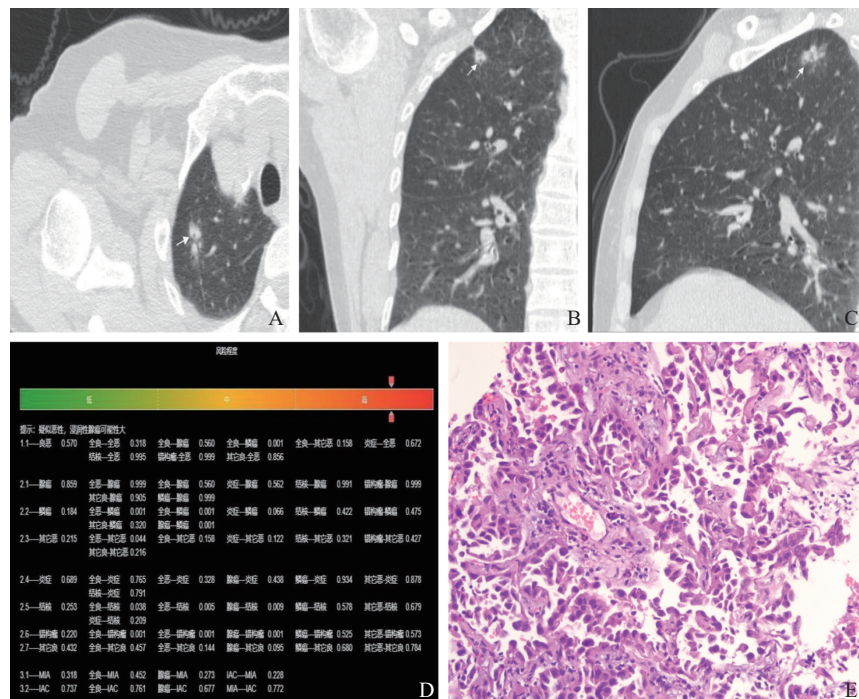


图3 典型病例2 (患者, 女性, 58岁, 显示右肺尖不规则结节, 周围有细短毛刺)

Fig.3 CT images and pathological manifestation of typical case 2 (A 58-year-old female patient showing an irregular nodule in the right lung apex, surrounded by fine, short spiculations)

A: 横断位; B: 冠状位; C: 矢状位; D: AI分析结果为恶性, IAC; E: 病理学图片, HE染色, 40倍镜, IAC。

## 2.2 AI软件对肺结节良恶性鉴别及病理学类型预测

肺结节软件分析诊断肺结节良恶性灵敏度为98.28%，特异度为75.00%，准确度为96.80%，AI分析肺结节良恶性受试者工作特征（receiver operating characteristic, ROC）曲线的曲线下面积为0.866， $P < 0.05$ ；AI软件对肺结节病理学类型预测与病理学检查结果一致性比较，Kappa值为0.859，充分说明AI软件分析预测有临床应用价值（图4，表2）。

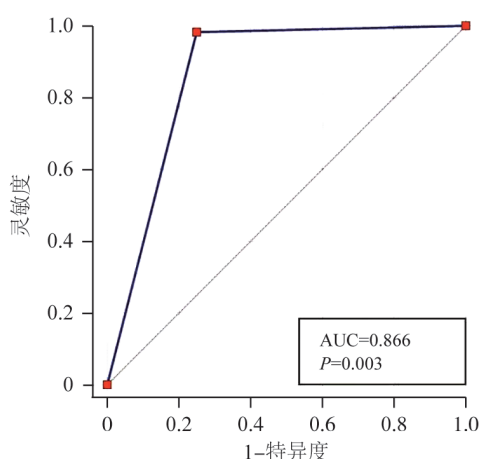


图4 AI分析肺结节良恶性和病理学检查结果的ROC曲线

Fig.4 The ROC curve of AI analysis for the benignity and malignancy of pulmonary nodules and the results of pathological examination

表2 AI结果与病理学检查结果一致性检验

Tab.2 Consistency test between AI results and pathological results

病理	AI						合计
	炎症	不典型增生	原位癌	微浸润腺癌	浸润性腺癌	鳞癌	
炎症	3	0	0	1	0	0	4
不典型增生	0	0	2	0	0	0	2
原位癌	0	0	4	0	0	0	4
MIA	0	0	0	16	0	0	16
IAC	1	0	0	3	28	0	32
鳞癌	0	0	0	0	0	4	4
合计	4	0	6	20	28	4	62

## 3 讨论

目前，病理学检查结果是肺癌诊断的金标准，但由于病理学检查为损伤性操作，限制了临床应用。随着LDCT的普及，越来越多的肺结节

得以早期发现，Kim等<sup>[7]</sup>针对50 132例无症状成年人行LDCT检查，4 545例受检者查出6 725个GGO，其中1 317个GGO在随访过程中自行消失。研究<sup>[7]</sup>表明，持续存在的GGO在病理学上多数属于早期肺腺癌及腺体前驱病变。因而，术前能够准确预测GGO中的腺体前驱病变患者，对随访策略和手术方式的选择及预后判断具有重要的指导意义。

CT靶扫描原理是利用小扫描视野并与薄层扫描相结合，在矩阵不变的条件下，缩小扫描视野可以使视野内的像素减小，提高空间分辨率，从而得到高分辨率的优质图像。本研究采用的是荷兰Philips公司的Ingenuity螺旋CT机，矩阵是1 024 × 1 024，相较于常规CT及其他厂商CT靶扫描，能更清晰地显示肺结节的空泡征、支气管征、胸膜凹陷征及结节的成分。

深度学习是由数据驱动的“端到端”特征学习方法，无需繁琐和费力的人工处理数据，通过自动检测原始数据（如像素、字符等）的特征信息并进行分类，然后按照非线性模块化的方式学习到多个层次上的特征，尤其适用于解决图像分类问题<sup>[8-9]</sup>。目前已有研究<sup>[10-12]</sup>表明，深度学习在肿瘤病灶良恶性鉴别、浸润亚型诊断、基因表达及预后评估方面呈现出较好的应用前景。本研究使用的AI软件采用AI Imaging Biopsy技术，通过AI技术对CT靶扫描的结节精确分割，对结节的密度、频谱以及独有的参数进行结节定性、病变的病理学分类及腺癌病程分期诊断。根据靶扫描所提供的结节细节信息，通过图像分割、特征提取和特征降维、模型构建等方法处理，经过卷积神经网络可以有效地检出结节并作出初步的良恶性诊断。其独有参数对肺腺癌的腺体前驱病变、MIA及IAC病程作出明确分期，独有随访系统精确区分病灶亚毫米体积、密度变化，获得不同阶段CT体积、密度、比重、直径、HU值，从而监测不同分期的演变过程。本研究62例受检者接受CT靶扫描检查并取得病理学检查结果，AI软件诊断肺结节良恶性灵敏度为98.28%，特异度为75.00%，准确度为96.80%，高于胡春洪等<sup>[13]</sup>采用北京深睿博联科技有限责任公司AI系统分析肺结节良恶性的准确度，这与我们基于靶扫描技术有关，靶扫描能提供更多、更精确的信

息。研究<sup>[14-15]</sup>表明,多款其他商用AI辅助诊断系统对恶性肺结节也都显示出较高的灵敏度,我们的AI分析肺结节良恶性曲线下面积为0.866, AI软件对肺结节病理学类型预测与病理学检查结果一致性比较, Kappa值为0.859。由此可见, AI软件可以鉴别肺结节的良恶性,并对结节的病理学类型作出准确的预测。

本研究为回顾性研究,从2020年9月—2024年8月,8 850人在复旦大学附属肿瘤医院闵行分院进行高危人群肺结节筛查。AI结果显示为恶性病变的受检者282例,最终取得病理学检查结果62例,其余高度怀疑为恶性病变的受检者一直未手术或穿刺活检,无法获得病理学检查结果,致使纳入的研究的样本量较小,令统计结果存在一定的偏倚。我们将继续追踪随访上海市闵行区肺癌高危人群的数据并扩大筛查范围,增加样本量,减少误差,使AI软件在高危人群肺癌筛查中发挥更大的作用。

综上所述, AI软件对肺结节良恶性判断及对肺结节的病理学类型预测具有参考意义,对作出更优化的临床手术决策及对肺结节进行精准化管理随访有很大帮助。

#### 第一作者:

陈雷 (ORCID: 0000-0003-4564-8524), 硕士研究生, 副主任医师。

#### 通信作者:

周正荣 (ORCID: 0000-0002-9922-1000), 博士研究生, 主任医师, E-mail:zhouzr\_16@163.com。

#### 作者贡献声明:

陈雷: 课题设计, 论文撰写和修订; 张泽华: 收集受检者的资料及病理随访; 罗容: 靶扫描结果的处理及AI结果的统计; 项慧婧: CT操作; 李瑞敏: 可行性分析; 周正荣: 项目指导, 监督及论文修订。

#### 【参 考 文 献】

- [1] BRAY F, LAVERSANNE M, SUNG H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. *CA Cancer J Clin*, 2024, 74(3): 229–263.
- [2] MAZZONE P J, SILVESTRI G A, SOUTER L H, et al. Screening for lung cancer: CHEST guideline and expert panel report [J]. *Chest*, 2021, 160(5): e427–e494.
- [3] 赫捷, 李 霓, 陈万青, 等. 中国肺癌筛查与早诊早治指南 (2021, 北京) [J]. *中国肿瘤*, 2021, 30(2): 81–111.  
HE J, LI N, CHEN W Q, et al. China guideline for the screening and early detection of lung cancer(2021, Beijing) [J]. *China Cancer*, 2021, 30(2): 81–111.
- [4] MOON Y, LEE K Y, PARK J K. The prognosis of invasive adenocarcinoma presenting as ground-glass opacity on chest computed tomography after sublobar resection [J]. *J Thorac Dis*, 2017, 9(10): 3782–3792.
- [5] CHEN P H, CHANG K M, TSENG W C, et al. Invasiveness and surgical timing evaluation by clinical features of ground-glass opacity nodules in lung cancers [J]. *Thorac Cancer*, 2019, 10(11): 2133–2141.
- [6] HUALONG Y, SHIHE L, CHUANYU Z, et al. Computed tomography and pathology evaluation of lung ground-glass opacity [J]. *Exp Ther Med*, 2018, 16(6): 5305–5309.
- [7] KIM Y W, KWON B S, LIM S Y, et al. Lung cancer probability and clinical outcomes of baseline and new subsolid nodules detected on low-dose CT screening [J]. *Thorax*, 2021, 76(10): 980–988.
- [8] WANG B, ZHANG H, LI W, et al. Neural network-based model for evaluating inert nodules and volume doubling time in T1 lung adenocarcinoma: a nested case-control study [J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1037052.
- [9] SNOECKX A, REYNTIENS P, DESBUQUOIT D, et al. Evaluation of the solitary pulmonary nodule: size matters, but do not ignore the power of morphology [J]. *Insights Imaging*, 2018, 9(1): 73–86.
- [10] SOHN J H, FIELDS B K K. Radiomics and deep learning to predict pulmonary nodule metastasis at CT [J]. *Radiology*, 2024, 311(1): e233356.
- [11] VAN DER VELDEN B H M, KUIJF H J, GILHUIJS K G A, et al. Explainable artificial intelligence (XAI) in deep learning-based medical image analysis [J]. *Med Image Anal*, 2022, 79: 102470.
- [12] VARGHESE C, RAJAGOPALAN S, KARWOSKI R A, et al. Computed tomography - based score indicative of lung cancer aggression (SILA) predicts the degree of histologic tissue invasion and patient survival in lung adenocarcinoma spectrum [J]. *J Thorac Oncol*, 2019, 14(8): 1419–1429.
- [13] 胡春洪, 赖 爽, 秦正英, 等. 深睿人工智能基于CT影像学的肺结节 (直径≤10 mm) 早期影像特征分析 [J]. *重庆医科大学学报*, 2022, 47(4): 473–478.  
HU C H, LAI S, QIN Z Y, et al. CT-imaging based early imaging features analysis of pulmonary nodules (diameter≤10 mm) by Shenrui AI technology [J]. *J Chongqing Med Univ*, 2022, 47(4): 473–478.
- [14] HUANG L Y, LIN W H, XIE D P, et al. Development and validation of a preoperative CT-based radiomic nomogram to predict pathology invasiveness in patients with a solitary pulmonary nodule: a machine learning approach, multicenter, diagnostic study [J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(3): 1983–1996.
- [15] 钟丽茹, 罗 娜, 贺露瑶. 多个人工智能辅助诊断系统对肺结节的诊断效能比较 [J]. *影像研究与医学应用*, 2024, 8(17): 26–29.  
ZHONG L R, LUO N, HE L Y. Comparison of diagnostic efficacy of multiple artificial intelligence assisted diagnostic systems for pulmonary nodules [J]. *J Imag Res Med Appl*, 2024, 8(17): 26–29.

(收稿日期: 2025-01-15 修回日期: 2025-03-19)