

人工智能将良性肺结节误判为高风险结节的原因分析

朱含笑¹, 饶钦盼², 马琳莹², 樊树峰^{1,2}

(1. 浙江中医药大学第二临床医学院, 浙江 杭州 310053;

2. 浙江中医药大学附属第二医院, 浙江 杭州 310005)

摘要: [目的] 探究人工智能(artificial intelligence, AI)在预测肺结节的恶性风险时将良性结节误判为高风险结节的原因。[方法] 回顾性分析 88 例检查发现肺结节并于 1 个月内取得病理结果的患者资料, 分别用 AI 和人工方法评估肺结节的良恶性, 分析两种方法对肺结节的诊断准确率及被 AI 误诊的良性结节的特征。[结果] 88 例患者病理结果显示恶性结节 59 例, 良性结节 29 例。AI 组良性结节误诊率为 82.8% (24/29), 人工组为 41.4% (12/29), 两者对良性结节的诊断准确率差异有统计学意义 (McNemar $\chi^2 < 0.001$)。AI 对不同大小结节组间误诊率差异有统计学意义 ($\chi^2 = 15.389, P < 0.001$)。当良性结节出现毛刺征、分叶征、血管集束征、支气管截断征、空泡征、胸膜牵拉征等倾向于恶性结节的征象时, AI 组的误诊率均大于人工组 (88.2% vs 64.7%, 100.0% vs 66.7%, 100.0% vs 80.0%, 100.0% vs 66.7%, 90.0% vs 60.0%)。当出现钙化、脂肪密度倾向于良性结节的征象时, AI 组的误诊率大于人工组 (80.0% vs 20.0%, 100.0% vs 0%)。[结论] AI 对肺结节的评估存在一定的局限性, AI 还需进一步完善算法, 结合临床、随访、全肺整体信息, 以减少误判为高风险结节的概率。

关键词: 人工智能; 肺结节; 误诊; 计算机断层扫描

中图分类号: R734.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-170X(2024)01-0051-06

doi: 10.11735/j.issn.1671-170X.2024.01.B008

Causes of Misdiagnosing Benign Pulmonary Nodules as High Risk Nodules by Artificial Intelligence

ZHU Hanxiao¹, RAO Qinpan², MA Linying², FAN Shufeng^{1,2}

(1. The Second Clinical College of Zhejiang Chinese Medicine University, Hangzhou 310053, China;

2. The Second Affiliated Hospital of Zhejiang Chinese Medicine University, Hangzhou 310005, China)

Abstract: [Objective] To analyze the causes of misdiagnosing benign lung nodules as high-risk nodules by artificial intelligence (AI). [Methods] Imaging and pathological findings of 88 patients, who underwent biopsy or surgical treatment within 1 month after pulmonary nodules detected, were retrospectively analyzed. The pulmonary nodules on chest plain CT scan were evaluated by AI and radiologist physicians. Using pathological results as gold standard the diagnostic accuracy of both methods for pulmonary nodules was assessed, and the causes of misdiagnosing benign nodules as malignant by AI were analyzed. [Results] The pathological results confirmed 59 malignant nodules and 29 benign nodules. The misdiagnosis rate of benign nodules was 82.8% (24/29) in AI method and 41.4% (12/29) in the manual method (McNemar χ^2 test $P < 0.001$). When benign nodules showed spiculation sign, lobulation sign, vascular convergence sign, bronchial truncation sign, vacuole sign and pleural traction sign, the misdiagnosis rate in the AI group was higher than that in the manual group (88.2% vs 64.7%, 100.0% vs 66.7%, 100.0% vs 80.0%, 100.0% vs 66.7%, 90.0% vs 60.0%). When the nodule showing benign trending signs such as calcification and fat density, the misdiagnosis rate in the AI group was also higher than that in the manual group (80.0% vs 20.0%, 100.0% vs 0%). [Conclusion] AI has some limitations in the evaluation of pulmonary nodules, particularly it has high misdiagnosis rate for benign nodules, indicating that AI needs to further improve its algorithm to reduce the probability of misdiagnosis.

Subject words: artificial intelligence; lung nodules; misdiagnosis; computed tomography

肺癌是全球高发的恶性肿瘤之一, 2020 年肺癌新发病例占有癌症新发病例的 12.20%, 且其死

亡率居恶性肿瘤第一位^[1-2]。不同分期的肺癌预后具有明显差异, 研究表明 5a 期的浸润性腺癌的 5 年生存率仅为 15.6%^[3], 而早期肺癌的 5 年生存率可达 90% 以上^[4]。因此, 早发现、早诊断、早治疗, 对提高肺癌患者的 5 年生存率是极为重要的。计算机断层

基金项目: 浙江省中医药科技计划项目(2020ZB117); 浙江中医药大学研究所教改项目(YJSAL2022001)

通信作者: 樊树峰, E-mail: shufengfan@163.com

收稿日期: 2023-09-05; **修回日期:** 2023-10-18

扫描技术(computed tomography, CT)是目前肺癌筛查的首选方式之一,但CT诊断的准确率仍需进一步提高,有部分肺结节被漏诊及误诊,传统的人工阅读已不能满足临床的需要。

近年人工智能(artificial intelligence, AI)在肺结节的检出及评估中的工作陆续开展, AI可以提高肺结节的检出率及效率^[5-7],但AI诊断中被误诊为高风险的良性结节也很多, AI检出的结节中只有约10%为恶性肿瘤^[8],这不仅加重影像诊断医生的工作负担,也易引起患者的焦虑及医疗资源的浪费。

本研究以肺结节术后病理活检作为金标准,探究AI在肺结节评估时误判为高风险结节的原因,为完善AI软件、提高放射科医师术前预测准确率提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性收集并分析2019年6月至2022年6月在浙江中医药大学附属第二医院行薄层胸部CT检查发现肺结节,并于1个月内取得病理结果的88例患者,病理确诊恶性结节59例,良性结节29例。恶性结节组平均年龄(66.39±10.42)岁,良性结节组年龄中位数为60(49.5~63.5)岁。

纳入标准:①经CT引导的肺结节穿刺活检、经支气管镜活检、胸腔镜手术或手术切除获得标本并经病理明确诊断的结节;②活检前1个月内行薄层胸部CT检查;③结节直径≤30 mm。排除标准:①图像质量差(如严重伪影);②多发结节无法明确具体活检结节位置;③伴肺不张、肺门淋巴结肿大和胸腔积液。

1.2 影像学检查及图像处理

采用GE LightSpeed 64排螺旋CT进行薄层胸部平扫筛查,同时将图像数据传输至PACS工作站及AI软件进行肺结节的检出及风险评估。所有病例均在吸气屏气状态下进行扫描,扫描范围为从肺尖到肺底。扫描参数:管电压为120 kV,管电流为100 mA,准直128×0.6 mm,扫描层厚及层间距为0.625 mm。

1.3 诊断方法

88例患者均进行人工独立及AI独立诊断。本研究AI软件为杏脉·锐影诊断系统(版本:

1.0.55.99-mtyw)。

AI独立诊断:将患者胸部CT图像以JPG格式导入AI软件, AI软件分析并显示可疑结节的形状、纹理特征、灰度/直方图特征(平均值、标准差、偏度等)、梯度特征(标准差和峰度等)、空间特征(结节位置)和恶性风险。

人工独立诊断:两名具有2年以上工作经验的放射科医师在不知AI预测结果及病理结果的情况下评估结节的恶性风险。所有病例均经两位医师共同阅片商议后获一致意见。

病理诊断:所有结节均在经CT引导的肺结节穿刺活检、经支气管镜活检、胸腔镜手术或手术切除获得标本后获得明确病理诊断。

记录AI误判为高风险结节的良性结节的直径、密度、边界、外形特征,分析AI误诊的原因。本研究经浙江中医药大学附属第二医院伦理委员会审核批准(审批号:2023-LW-021-01)。

1.4 统计学处理

采用SPSS 25.0统计软件分析数据。人工及AI对肺结节诊断结果的差异采用配对卡方检验(NcNemar χ^2 检验)。比较不同诊断方法对肺结节的准确率、灵敏度、特异度、良性结节误诊率、恶性结节误诊率。准确率为预测正确的肺结节数与所有肺结节数之比。灵敏度为风险预测为高风险的肺结节数与所有恶性肺结节数之比,特异度为风险预测为低风险的肺结节与所有良性肺结节数之比。良性结节误诊率为风险预测为高风险的肺结节数与所有良性肺结节数之比,恶性结节误诊率为风险预测为低风险的肺结节数与所有恶性肺结节数之比。两种诊断方法识别结节所需时间的比较采用 t 检验。对不同密度和大小结节的误诊率进行多个样本率的Fisher精确检验并进行两两比较。计量资料正态数据用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,偏态数据用中位数(四分位数间距)M(P25, P75)表示。计数资料以例数及百分比表示。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两种诊断方法对肺结节的诊断结果

人工及AI对肺结节诊断的准确率分别为81.8%、70.5%。

病理确诊的 59 例恶性结节中,浸润性腺癌 44 例,鳞癌 8 例,原位腺癌 2 例,小细胞肺癌、肉瘤各 1 例,转移瘤 3 例,人工和 AI 分别诊断正确 55 例(93.2%)和 57 例(96.6%),两者的误诊率分别为 6.8%、3.4%,两种诊断方法对恶性结节诊断准确率差异无统计学意义(McNemar $\chi^2=0.5$)(Table 1~2, Figure 1)。

病理确诊的 29 例良性结节中,炎症 12 例,肺泡上皮增生 7 例,结核 5 例,炎性假瘤 2 例,错构瘤、血管畸形、硬化性肺细胞瘤各 1 例。人工和 AI 分别诊断正确 17 例(58.6%)和 5 例(17.2%)。AI 更易将良性结节误诊为高风险结节(82.8% vs 41.4%)。良性结节中,AI 判断错误的炎症有 10 例(83.3%),人工仅错误 4 例(33.3%)。两种诊断方法对良性结节诊断的准确率差异有统计学意义(McNemar $\chi^2<0.001$)(Table 1)。

在 AI 判断错误而人工判断正确的炎症结节中,有 1 例有 2 个月前的胸部 CT 影像资料,但 AI 未结合这一信息(Figure 2);另有 1 例 AI 识别的高风险结节为双肺多发炎症的一部分(Figure 3)。

对人工与 AI 识别结节的时间进行分析,人工平均耗时(50.30±2.02) s,AI 平均耗时(23.80±0.84) s,差异有统计学意义($P<0.001$)。

2.2 良性结节的 CT 征象分布及两组误诊情况对比

结节大小及密度:29 例良性结节中实性结节占大多数

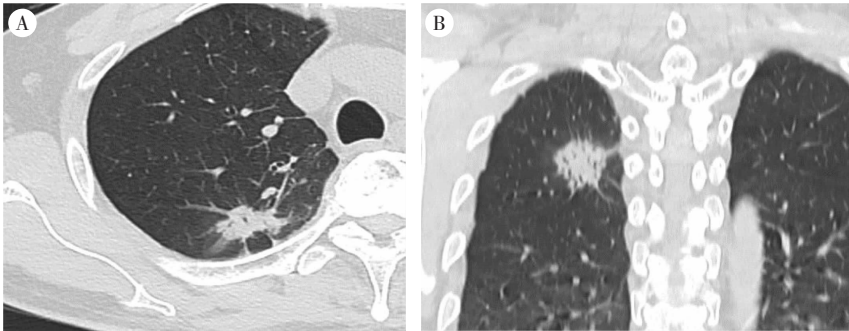
Table 1 Diagnostic results of benign and malignant nodules in artificial and AI cohorts[n(%)]

Pathological diagnosis	N	Manual		AI		Kappa	McNemar χ^2
		Correct	False	Correct	False		
Malignant	59	55(93.2)	4(6.8)	57(96.6)	2(3.4)	0.651	0.500
Benign	29	17(58.6)	12(41.4)	5(17.2)	24(82.8)	0.256	<0.001
Total	88	72(81.8)	16(18.2)	62(70.5)	26(29.5)	0.570	0.013

Note: AI;artificial intelligence

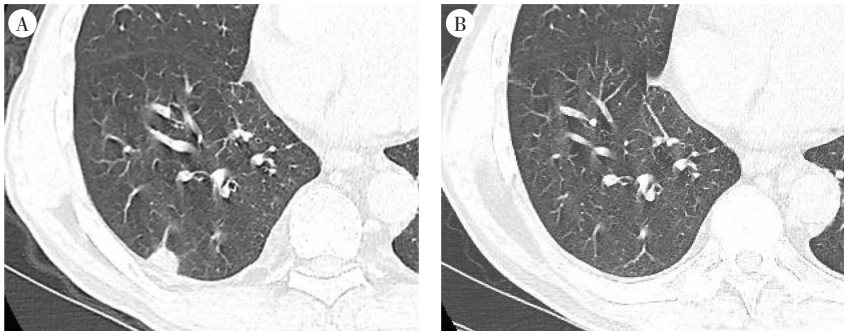
Table 2 Diagnostic efficacy of two diagnostic methods for benign and malignant solitary pulmonary nodule(%)

Diagnostic efficacy	Manual	Artificial intelligence
Accuracy	81.2	70.5
Sensitivity	93.2	96.6
Specificity	58.6	17.2
Misdiagnosis rate of benign nodules	41.4	82.8
Misdiagnosis rate of malignant nodules	6.8	3.4



Notes:A,B: Chest CT in axial and coronal positions showed a high-density nodule in the upper lobe of the right lung,measuring about 29.4 mm×21.6 mm,with visible lobulation sign and burr sign,partial bronchial invasion and obstruction,and thickening of the adjacent pleura pulling. artificial intelligence and manual were diagnosed as high-risk nodule. Pathological biopsy confirmed as lung adenocarcinoma

Figure 1 CT images of a 60 years old male



Notes:A:Chest CT showed a solid nodule in the posterior basal segment of the lower lobe of the right lung,16 mm×10 mm in size,with a clear boundary and connected to the broad base of the pleura. B:No nodules were seen at the same location 2 months ago. The artificial intelligence identified high-risk nodule and the manual diagnosis low-risk nodule. After admission,CT-guided puncture biopsy of pulmonary nodule confirmed as inflammatory nodule

Figure 2 CT images of a 59 years old male

(22/29)。AI 及人工组误诊的良性结节的直径均≥ 8mm(Lung-RADS 分级中实性结节≥8 mm 被认为可疑恶性)。AI 误诊的高风险结节中,直径 8~15 mm 与≥15 mm 均为 12 例,AI 对不同大小结节组间误诊率差异有统计学意义($\chi^2=15.389,P<0.001$)。AI 对不同密度结节组间误诊率差异无统计学意义 ($\chi^2=4.277,P=0.136$)。

结节形态: 良性结节也可表现出倾向于恶性结节的形态表现,当出现毛刺征、分叶征、血管集束征、支气管截断征、空泡征、胸膜牵拉征等征象时,AI 组的误诊率均高于人工组(88.2% vs 64.7%、100.0% vs 66.7%、100.0% vs 80.0%、100.0% vs 66.7%、90.0% vs 60.0%)。当结节中出现钙化、脂肪密度这些倾向于良性结节的征象时,AI 组的误诊率也高于人工组(80.0% vs 20.0%、100.0% vs 0) (Table 3)。

3 讨 论

随着临床的需要,AI 系统已经在医学领域中得到广泛应用^[9],包括 CT 图像中肺结节的识别及分析。AI 辅助诊断系统在给定任务条件下可以自学习图像和提取特征,从而减少人工参与诊断过程,提高分析的效率和客观性^[10]。但 AI 在胸部 CT 中经常将良性结节误诊为高风险结节,具有较高的假阳性率。本研究以肺结节术后病理活检作为金标准,探究 AI 辅助诊断系统在良性肺结节评估中误诊率高的原因。

与人工组相比,AI 组的敏感度稍高于人工组,且在 AI 辅助下人工能够更快速发现肺结节,尤其是数毫米的微小结节^[11],但 AI 诊断的准确率不如人工组,尤其对于良性结节的评估,AI 组误诊率明显高

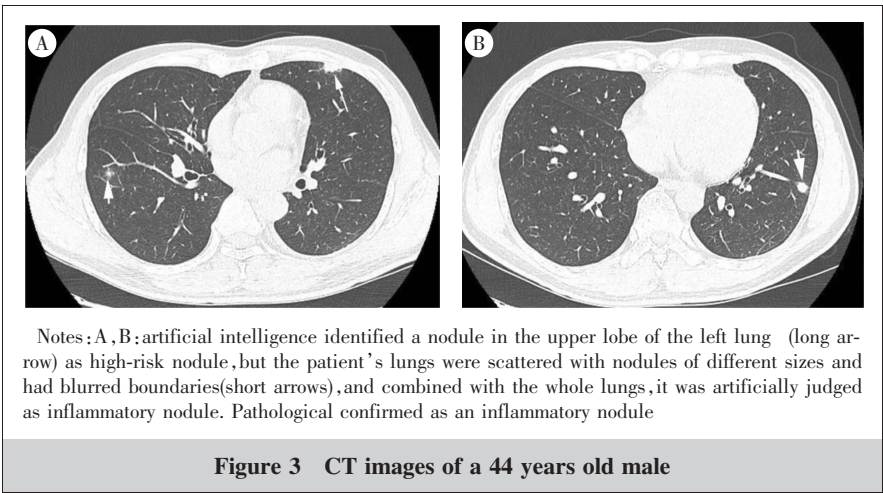


Table 3 CT signs distribution of benign nodules misdiagnosed between two groups[n(%)]

Index	N(pathological diagnosis)	AI misdiagnosis (n=24)	Manual misdiagnosis (n=12)
Density of solitary pulmonary nodule			
Solid	22	18(81.8)	8(36.4)
Pure ground glass	1	0	0
Mixed ground glass	6	6(100.0)	4(66.7)
Diameter(mm)*			
<8	4	0	0
8~15	13	12(92.3)	6(50.0)
≥15	12	12(100.0)	6(50.0)
Morphological characteristics			
Sharpness of border	23	18(78.3)	10(43.5)
Burr sign	17	15 (88.2)	11 (64.7)
Lobulation sign	12	12(100.0)	8(66.7)
Vascular cluster sign	10	10(100.0)	8(66.7)
Bronchial truncation sign	1	1(100.0)	0
Vacuole sign	3	3(100.0)	2(66.7)
Pleural pulling sign	10	9(90.0)	6(60.0)
Calcification	5	4(80.0)	1(20.0)
Fat density	3	3(100.0)	0

Notes: *:represents the diameter of the pulmonary nodules, and half of the sum of the maximum long diameter and short diameter of the cross section;AI:artificial intelligence

于人工组。
经分析,AI 误诊的良性结节的主要原因为:
(1)结节大小在风险评估中的影响过大。肺结节大小在鉴别诊断肺结节性质中有重要的临床价值^[12],目前 Lung-RADS 分级标准主要根据结节大小、密度以及额外的恶性特征对肺结节进行分级^[13-14],通常直径≥8 mm 的结节可被怀疑为恶性,随着结节的增大癌症的风险也会增加。本研究分析发现,在 AI 组中,不同大小的良性结节组间的误诊率差异有统计

学意义,被 AI 误诊为高风险结节的直径均 ≥ 8 mm,而 AI 预测为低风险结节的直径均 < 8 mm。人工组对于直径 ≥ 8 mm 的良性肺结节评估的准确率高于 AI。表明结节大小在 AI 对于肺结节的评估中可能起着至关重要的作用。

(2)良恶性结节外形特征的复杂性^[15]。肺结节的外部形态特征是鉴别良恶性结节的重点,但某些结节具有复杂的外形特征,如部分良性结节也具有恶性结节的特征。AI 辅助诊断系统的基本原理是利用机器学习和深度学习使用复杂的算法,如支持向量机、随机森林、卷积神经网络、循环神经网络等对医学影像数据通过特征提取、病变检测等算法,进行自动分析和诊断。系统获取大量的肺结节的影像数据并对数据进行预处理之后,提取结节的形状、纹理、灰度/直方图、梯度、位置等特征,建立训练模型及预测验证,最后,经过训练的 AI 可以用来预测肺结节的恶性风险^[16]。而当良性结节出现毛刺、分叶、血管集束、支气管截断、空泡、胸膜牵拉等倾向于恶性结节的征象时^[17-18],经过训练的 AI 可能会自动提取这些特征并评估,极大概率(88.2%~100.0%)会将这类结节误诊为高风险结节,相比之下,人工误诊的概率较低(0~66.7%)^[16-18]。

(3)未结合 CT 值综合分析。我们通过对 AI 误诊的良性肺结节分析发现,有些肺结节中含有脂肪、钙化等密度时常提示为良性结节^[19],如肉芽肿、错构瘤等。本研究中当出现这些良性特征的密度时,AI 组的误诊率明显大于人工组。陈均等^[11]的研究中 AI 也将含有钙化的尘肺结节误诊为恶性结节。这说明 AI 可能没有结合 CT 值综合分析,关于良性结节的训练数据不足,对良性结节的某些特征性的密度学习还不够深入。

(4)缺乏与以往影像资料的对比。定期随访、比较肺结节大小、密度及外形特征对肺结节的良恶性鉴别具有重要意义。本研究中,一例 59 岁男性的胸部 CT 显示右肺下叶后基底段一实性结节,大小为 16 mm $\times$ 10 mm,边界清晰,与胸膜宽基底相连,被 AI 误诊为高风险结节,而人工组在评估时发现该病例 2 个月前的胸部 CT 并未发现异常,因此评估为低风险结节。目前已有学者探索 AI 在肺结节随访中的应用,但仍处于初期阶段^[20]。AI 软件如果能采集并应用随访信息将可能提高诊断的准确率。

(5)AI 对结节的评估仅从单个结节的特征出发,未结合全肺,如部分假高风险结节实际为双肺多发炎症的一部分。Wu 等^[19]对新冠疫情期间被 AI 误诊为肺癌的患者进行分析发现,高达 77.8%的患者均为新冠肺炎患者,多表现为双肺多发病灶,与本文总结的原因相符。

本研究也有一定的局限性:①样本量小且良恶性结节数量不同,导致部分数据无法比较及部分结果可靠性欠佳。②与以往文献相比,本组病例具有较高的假阳性率,对良性结节的诊断准确率较低,可能是因为本组入组病例均为已获得明确病理的结节,这些结节往往良恶性鉴别困难或在影响上具有更高的恶性风险,因此存在一定的选择偏倚。③AI 对结节检测的准确性受到学习模型算法的影响,本研究只分析了一种 AI 软件,并不能代表所有的 AI 软件。

综上所述,AI 对肺结节的检出及评估具有重要的辅助价值,但存在一定的局限性,AI 还需进一步完善其算法,结合临床、随访、全肺整体信息,以减少假高风险结节的检出率。为减少误诊,临床诊断不能过度依赖 AI 辅助诊断系统。在临床实践中,可首先利用 AI 辅助诊断系统对大量的肺结节 CT 图像进行初步筛查并标记可疑病变,影像医师在此基础上进行二次判别。此外,为提高影像医师对良恶性结节的识别能力,可以进一步研究 AI 检出的假高风险结节形成的规律。

参考文献:

- [1] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] 梁铨, 刘梦雯, 张丽, 等. 全球部分地区肺癌发病趋势及年龄变化情况分析[J]. 中国肿瘤, 2022, 31(9): 683-692.
LIANG X, LIU M W, ZHANG L, et al. Global trends of incidence of lung cancer[J]. China Cancer, 2022, 31(9): 683-692.
- [3] 张晓菊. 《肺结节诊治中国专家共识(2018 版)》解读[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2019, 33(1): 1-3.
ZHANG X J. Interpretation of the Chinese expert consensus on the diagnosis and treatment of pulmonary nodules (2018 edition)[J]. Chinese Journal of Practical Diagnosis and Therapy, 2019, 33(1): 1-3.

- [4] ZHENG S, GUO J, CUI X, et al. Automatic pulmonary nodule detection in CT scans using convolutional neural networks based on maximum intensity projection[J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2019, 39(3):797-805.
- [5] 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):4.
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):4.
- [6] 牛玉东, 余海滨, 陈丽莉. 人工智能辅助肺结节 CT 诊断效能评估研究 [J]. *全科医学临床与教育*, 2023, 21(5):463-465.
NIU Y D, YU H B, CHEN L L. Evaluation of artificial intelligence assisted CT diagnosis of pulmonary nodules[J]. *Clinical Education of General Practice*, 2023, 21(5):463-465.
- [7] 李倩, 刘颖, 张宇威, 等. 人工智能在肺部肿瘤影像诊断中的研究进展[J]. *中国肿瘤临床*, 2020, 47(2):55-59.
LI Q, LIU Y, ZHANG Y W, et al. Application of artificial intelligence in lung tumor imaging diagnosis [J]. *Chinese Oncology Clinic*, 2020, 47(2):55-59.
- [8] DING Y, ZHANG J, ZHUANG W, et al. Improving the efficiency of identifying malignant pulmonary nodules before surgery via a combination of artificial intelligence CT image recognition and serum autoantibodies [J]. *Eur Radiol*, 2022, 33(5):3092-3102.
- [9] 左玲子, 黄艳. 人工智能在体检肺 CT 中检出的假高风险结节研究[J]. *中国医疗设备*, 2021, 36(10):177-180.
ZUO L Z, HUANG Y. Study of false positive nodules detected by artificial intelligence in lung CT examination[J]. *Chinese Medical Equipment*, 2021, 36(10):177-180.
- [10] DU W, HE B, LUO X J, et al. Diagnostic value of artificial intelligence based on CT image in benign and malignant pulmonary nodules[J]. *J Oncol*, 2022, 2022:5818423.
- [11] 陈均, 陈巧一. AI 肺结节筛查准确率及结节风险评估准确率分析[J]. *影像研究与医学应用*, 2022, 6(1):13-15.
CHEN J, CHEN Q Y. Analysis on the accuracy of AI pulmonary nodule screening and nodule risk assessment[J]. *Imaging Research and Medical Applications*, 2022, 6(1):13-15.
- [12] 余臻, 桂丹. 136 例肺结节患者 CT 诊断的回顾性分析及 Lung-RADS 分级的诊断价值 [J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2021, 19(9):57-60.
- [13] YU L, GUI D. Retrospective analysis of CT diagnosis of 136 patients with pulmonary nodules and diagnostic value of Lung-RADS classification[J]. *Chinese Journal of CT and MRI*, 2021, 19(9):57-60.
单文莉, 柏根基, 王亚婷, 等. Lung-RADS 分级和 CT 征象诊断孤立性肺结节的价值[J]. *放射学实践*, 2019, 34(3):293-297.
SHAN W L, BO G J, WANG Y T, et al. Value of Lung-RADS classification and CT signs in diagnosis of solitary pulmonary nodules [J]. *Radiology Practice*, 2019, 34(3):293-297.
- [14] 王逸飞. CT 征象与 Lung-RADS 分级对孤立性肺结节良性恶性鉴别价值[J]. *罕少疾病杂志*, 2022, 29(9):26-27.
WANG Y F. Value of CT signs and Lung-RADS grading in distinguishing benign and malignant solitary pulmonary nodules [J]. *Journal of Rare and Uncommon Diseases*, 2022, 29(9):26-27.
- [15] 谭双平, 张彤, 祖江林, 等. 深度学习驱动的 CT 影像肺结节检测:挑战、进展和展望[J]. *中国医疗器械杂志*, 2023, 47(2):163-172.
TAN S P, ZHANG T, ZU J L, et al. Deep learning-driven pulmonary nodule detection from CT images: challenges, current status and future directions [J]. *Chinese Journal of Medical Instrumentation*, 2023, 47(2):163-172.
- [16] PEHRSON L, NIELSEN M, AMMITZBØL L, et al. Automatic pulmonary nodule detection applying deep learning or machine learning algorithms to the LIDC-IDRI database: a systematic review[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2019, 9(1):29.
- [17] 陈孝生, 许绍奇, 王江. 低剂量多层螺旋 CT 技术在孤立性肺结节复查中的应用价值研究[J]. *现代医用影像学*, 2023, 32(5):820-822, 827.
CHEN X S, XU S Q, WANG J. Application value of low dose MSCT in reexamination of solitary pulmonary nodule [J]. *Modern Medical Imagelogy*, 2023, 32(5):820-822, 827.
- [18] KIM T J, KIM C H, LEE H Y, et al. Management of incidental pulmonary nodules: current strategies and future perspectives[J]. *Expert Rev Respir Med*, 2020, 14(2):173-194.
- [19] WU X Y, DING F, LI K, et al. Analysis of the causes of solitary pulmonary nodule misdiagnosed as lung cancer by using artificial intelligence: a retrospective study at a single center[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2022, 12(9):2218.
- [20] MATHEW C J, DAVID A M, JOY MATHEW C M. Artificial intelligence and its future potential in lung cancer screening[J]. *EXCLI J*, 2020, 19:1552-1562.