

论 著

基于3D CT影像组学特征在非小细胞肺癌隐匿性淋巴结转移预测中的应用\*

吴明明<sup>1,2</sup> 陈艾琪<sup>1</sup> 杜小萌<sup>1</sup>  
卢楚鸣<sup>1,2</sup> 王 凯<sup>1,2</sup> 邹文涛<sup>1,2</sup>  
赵以惠<sup>1,2</sup> 王月燕<sup>1,2</sup> 李 伟<sup>3,4</sup>  
左盼莉<sup>5</sup> 马宣传<sup>1,6,\*</sup>

- 1.蚌埠医科大学第一附属医院放射科 (安徽 蚌埠 233004)  
2.蚌埠医科大学研究生院 (安徽 蚌埠 233030)  
3.蚌埠医科大学第一附属医院呼吸与危重症医学科 (安徽 蚌埠 233004)  
4.安徽省呼吸系统疾病(肿瘤)临床医学研究中心 (安徽 蚌埠 233004)  
5.汇医慧影医疗科技有限公司 (北京 100000)  
6.数字医学与智慧健康安徽省重点实验室 (安徽 蚌埠 233004)

【摘要】目的 建立3D CT影像组学特征模型，探讨其在非小细胞肺癌(non-small cell lung cancer, NSCLC)隐匿性淋巴结转移中的预测价值。方法 收集2019年1月-2023年6月蚌埠医学院第一附属医院诊治的151例NSCLC患者的临床及影像学资料。所选取的患者在行根治术前，均行胸部增强CT检查，影像报告均无淋巴结肿大/转移提示，术后病理为有/无淋巴结转移。数据集按照7:3随机分成训练组和测试组，在原发肿瘤显示的层面逐层手动勾画，提取最佳影像组学特征，建立预测模型并验证。通过受试者工作特征ROC曲线下面积AUC评估模型的预测效能。结果 训练组 AUC值为0.885，准确度为0.870，特异度为0.800，敏感度为0.800；测试组AUC值为0.859，准确度为0.840，特异度为0.780，敏感度为0.750。结论 基于原发灶3D CT影像组学特征模型，在预测NSCLC隐匿性淋巴结转移方面具有可行性。

【关键词】NSCLC；隐匿性淋巴结转移；3D勾画；影像组学；  
【中图分类号】R322.2+5  
【文献标识码】A  
【基金项目】研究生科研创新计划项目 (Byycx22138)；  
安徽省中央引导地方科技发展资金项目(2020b07030008)；  
领航菁英科研项目专项基金 (XM-HR-YXFN-2021-05-19)  
安徽省临床医学研究转化专项立项项目(202304295107020072)  
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.01.018

Application of 3D CT Radiomics Characteristics in Prediction of Occult Lymph Node Metastasis in Non-small Cell Lung Cancer\*

WU Ming-ming<sup>1,2</sup>, CHEN Ai-qi<sup>1</sup>, DU Xiao-meng<sup>1</sup>, LU Chu-ming<sup>1,2</sup>, WANG Kai<sup>1,2</sup>, ZOU Wen-tao<sup>1,2</sup>, ZHAO Yi-hui<sup>1,2</sup>, WANG Yue-yan<sup>1,2</sup>, LI Wei<sup>3,4</sup>, ZUO Pan-li<sup>5</sup>, MA Yi-chuan<sup>1,6,\*</sup>.  
1.Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Bengbu Medical University, Bengbu 233004, Anhui Province, China  
2.School of Graduate, Bengbu Medical University, Bengbu 233030, Anhui Province, China  
3.Department of Respiratory and Critical Care Medicine, The First Affiliated Hospital of Bengbu Medical University, Bengbu 233004, Anhui Province, China  
4.Clinical Research Center for Respiratory Disease(Tumor)in Anhui Province, Bengbu 233004, Anhui Province, China  
5.Huiyi Huiying Medical Technology Co., LTD., Beijing 100000, China  
6.Anhui Key Laboratory of Digital Medicine and Smart Health, Bengbu 233004, Anhui Province, China

ABSTRACT

**Objective** To establish a 3D CT imaging feature model and explore its application value in predicting occult lymph node metastasis in non-small cell lung cancer (NSCLC). **Methods** Clinical and imaging data of 151 NSCLC patients diagnosed and treated in the First Affiliated Hospital of Bengbu Medical College from January 2019 to June 2023 were collected. Before radical surgery, all the selected patients underwent enhanced CT examination, and the image report showed no indication of lymph node enlargement or metastasis, while postoperative pathology was found with or without lymph node metastasis. The data set was randomly divided into the training group and the test group according to 7:3, manually sketched layer by layer at the level of the primary tumor display, extracted the best image omics features, established the prediction model and verified. The predictive efficiency of the model was evaluated by area AUC under receiver operating characteristic ROC curve. **Results** In the training group, AUC value was 0.885, accuracy was 0.870, specificity was 0.800, sensitivity was 0.800; the AUC value of the test group was 0.859, the accuracy was 0.840, the specificity was 0.780, and the sensitivity was 0.750. **Conclusion** It is feasible to predict occult lymph node metastasis in NSCLC based on 3D CT imaging feature model of primary lesion. **Keywords:** NSCLC; Occult Lymph Node Metastasis; 3D Sketch; Imaging Omics

肺癌是全球最常见的恶性肿瘤，也是癌症死亡的首要原因，每年约造成160万人死亡<sup>[1-2]</sup>。临床上肺癌分为两类，其中NSCLC是最常见类型，约占全部肺癌的85%<sup>[3]</sup>，具有起病隐匿、化疗耐药及治疗效果差的特点<sup>[4]</sup>，已成为危及公共卫生安全的重大问题。NSCLC最常见的转移方式为淋巴结转移，淋巴结转移与否对患者的临床分期、诊疗方案的制订及预后有至关重要的作用<sup>[5]</sup>。肺叶切除加系统性淋巴结清扫已成为早期NSCLC的标准治疗方案<sup>[6]</sup>，临床治疗效果显著，虽然能够在最大程度上抑制肿瘤的复发，但是也存在对身体创伤大，不必要的肺组织损失、气胸、住院时间延长及院内感染等问题<sup>[7-8]</sup>。目前，对于年龄较大，身体耐受差，生理功能明显减退的NSCLC患者，也可以选择胸腔镜下肺段切除术，该术式属于微创手术，具有创伤小、术后恢复快、安全精准及应激反应小的优点<sup>[9-11]</sup>。目前，对于纵隔及肺门淋巴结状态的评估多采用胸部CT检查，虽然该方法是一种无创的评估方式，但是其判断淋巴结转移的灵敏度仅为51%<sup>[12]</sup>。PET-CT作为另外一种成熟的影像学检查技术，可以通过解剖结构，物质代谢及肿瘤特异性生物学行为反应淋巴结的状态，目前是临床公认最佳无创的影像学评估方式，但部分患者术前经PET-CT检查未发生淋巴结转移，仍有10.23%~25.96%的概率发生淋巴结转移<sup>[13]</sup>。超声引导下穿刺活检和纵隔镜检查对淋巴结状态的检查具有较高的准确性，但此类均为有创性检查，且会存在术中出血、切口感染及神经损伤等并发症<sup>[14]</sup>。综上所述，胸部CT、PET-CT、超声引导下穿刺活检及纵隔镜检查对淋巴结状态的评估均具有一定的价值，但是也会存在灵敏度低、并发症及隐匿性淋巴结转移的情况。因此，寻找一种准确、安全无创的评估方法预测NSCLC隐匿性淋巴结转移至关重要。近年来，随着人工智能的发展，影像组学在临床中的应用更加广泛。影像组学是运用自动化算法对传统的医学影像图像进行分析，高通量提取特征进行建模，辅助临床决策，具有安全无创、可重复操作性强等特点<sup>[15]</sup>。本文旨在探讨基于原发灶特征建立影像组学模型在NSCLC隐匿性淋巴结转移中的预测价值。

1 资料与方法

1.1 病例资料 回顾性收集2019年1月至2023年6月于蚌埠医学院第一附属医院初诊为NSCLC患者的临床及影像资料。其中腺癌95例，鳞癌56例；男性94例，女性57例，平均年龄(64±9.07)岁，范围41-80岁。  
纳入标准：病理活检证实为NSCLC；患者术前均行胸部CT平扫及增强检查；患者

【第一作者】吴明明，男，硕士研究生，主要研究方向：胸部影像学。E-mail: 2656122877@qq.com  
【通讯作者】马宣传，男，主任医师、教授，主要研究方向：胸部影像学。E-mail: 57688754@qq.com

均行根治性切除，术后病理有/无淋巴结转移；可获取术前胸部CT图像。排除标准：术前接受放化疗、免疫等治疗；合并其他肿瘤；扫描区域伪影较重或图像质量较差。

**1.2 仪器与方法** 所有患者在术前均采用美国GE 64及256排螺旋CT扫描仪行胸部增强扫描。检查前确保患者无检查禁忌症及影像图像质量的金属异物，并嘱其进行常规呼吸训练。检查时患者取仰卧位，双臂上举，扫描范围自肺尖至膈底，包括两侧肋膈角。扫描参数：管电压140 kVp，管电流240mA，层厚及层间距均为5mm。增强检查时注射1.5m L/kg剂量非离子型对比剂，25 s后采集动脉图像，重建层厚和间隔均为0.625mm，所采集的图像以DICOM格式上传至人工智能大数据科研平台。

**1.3 分组** 选取的患者在行根治术前，均行胸部CT平扫及增强检查，均无肿大淋巴结(目标淋巴结短径 $\geq 10\text{mm}$ )和淋巴结转移提示。术后将病理证实为有淋巴结转移者纳入隐匿性淋巴结转移阳性

组(58例)，无淋巴结转移者纳入隐匿性淋巴结转移阴性组(93例)。

**1.4 影像组学特征提取** 将患者行根治术前的增强图像导入慧影大数据人工智能科研平台。以原发肿瘤为研究对象，由2名影像科医师沿病灶边缘逐层手动勾画感兴趣区(region of interest, ROI)，再由1名高年资影像科主任医师核对、审核。对有争议的ROI通过讨论达成一致，从而确保勾画的准确性，如图1A、1B所示。从人工智能科研平台共提取出1688个与本研究相关的影像组学特征，为减少冗余特征，依次使用方差选择法、K最佳法及Lasso算法降维分析，筛选出最佳影像组学特征。首先采用方差选择法，设置阈值为0.8，保留大于0.8的所有特征，得到434个特征；下一步使用K最佳法，选择p小于0.05的所有特征，得到96个特征；最后使用Lasso算法，采用L1正则化的损失函数，交叉验证的误差值为5，最大迭代次数为1000次，最终得到16个最佳影像组学特征。

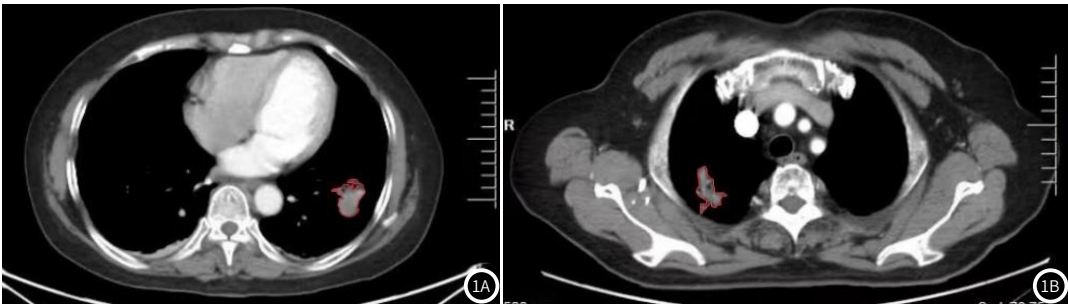


图1A-图1B 手动分割原发灶ROI示意图。图1A为隐匿性淋巴结转移阳性组患者，女，56岁；图1B为隐匿性淋巴结转移阴性组患者，女，80岁。

**1.5 模型建立** 将收集的数据按照7:3随机分成训练组和测试组；其中训练组通过调整参数训练拟合模型，测试组用于测试该模型的准确性，即分类能力。该研究采用支持向量机(support vector machine, SVM)模型，在训练组和测试组中分别计算AUC值、准确度、敏感度、特异度及F1分数来评估预测模型的可靠性。

**1.6 统计学方法** 采用SPSS 16.0软件对数据进行统计学分析。训练组和测试组中的年龄和性别均符合正态分布，且方差齐，故采用独立样本t检验对两组患者进行比较。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

**2.1 一般资料** 本研究最终共纳入151例NSCLC患者(腺癌95例，鳞癌56例)；男性94例，女性57例，平均年龄( $64\pm 9.07$ )，范围41-80岁。按照7:3随机划分为训练组(105例)和测试组(46例)，训练组中包含40例阳性，65例阴性；测试组中包含18例阳性，28例阴性；训练组平均年龄( $63.90\pm 8.85$ )，测试组平均年

龄( $64.26\pm 9.77$ )。训练组和测试组年龄及性别均无统计学意义( $P>0.05$ )，如表1所示。

**2.2 构建影像组学模型** 从人工智能科研平台共提取1688个特征，为减少冗余特征，依次使用方差选择法、K最佳法及Lasso算法逐级筛选，最终筛选出16个最佳特征，其中包括一阶统计特征(firstorder,  $n=15$ )、邻域灰度差矩阵(neighbourhood gray-tone difference matrix, NGTDM,  $n=1$ )。如图2。

**2.3 SVM模型验证与分析** 本研究采用SVM对数据进行训练和测试，本研究纳入151例患者，按照7:3随机分为训练组和测试组，在训练组和测试组上分别通过AUC值、准确度、敏感度、特异度及F1分数评估模型的预测性能。

如表2及3A、3B所示，该模型下的训练组及测试组的AUC值均在0.85以上；训练组及测试组的95%置信区间(Confidence Interval, CI)均在0.70以上；测试组和训练组的敏感度、特异度、准确度及F1分数均在0.75及以上，综合以上指标说明该模型具有较好的预测效能。

表1 训练组与测试组一般资料

特征	训练组(n=105)	测试组(n=46)	t	P
年龄	63.90 $\pm$ 8.85	64.26 $\pm$ 9.77	-2.226	0.821
性别				
男	69	25	-1.297	0.198
女	36	21		

表2 训练组与测试组AUC、95%CI、敏感度、特异度、准确度、F1分数

	AUC	95%CI	敏感度	特异度	准确度	F1分数
训练组	0.885	[0.807-0.963]	0.800	0.800	0.870	0.830
测试组	0.859	[0.731-0.987]	0.750	0.780	0.840	0.790

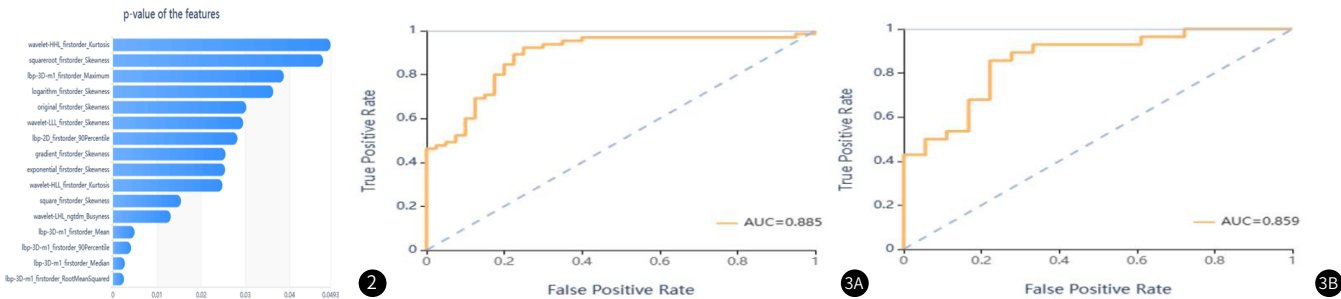


图2 模型筛选出16个特征。图3A 训练组ROC曲线，图3B 测试组ROC曲线。



### 3 讨 论

近年来, NSCLC隐匿性淋巴结转移的研究备受关注, 早期筛查及精准分期是决定肺癌患者预后的关键因素, 其中淋巴结分期至关重要<sup>[16]</sup>。目前对淋巴结状况的检查往往是通过观察淋巴结的形态、内部是否坏死及最大层面淋巴结短径来判断是否发生淋巴结转移<sup>[17]</sup>。随着医学影像技术的发展, 已有许多用于评价淋巴结状态的手段, 但是隐匿性淋巴结转移的发生率仍处在较高的水平<sup>[12]</sup>。影像组学是从传统图像中挖掘海量的潜在信息, 分析蕴含在疾病的病理生理信息, 最终用于疾病的辅助诊断、分类和预测, 能够弥补传统诊断模式的不足, 具有广阔的应用前景<sup>[18-19]</sup>。本研究基于NSCLC胸部增强CT原发灶图像, 提取隐匿性淋巴结转移阳性组和隐匿性淋巴结转移阴性组的影像组学特征, 并筛选出的最佳影像组学特征用于建立NSCLC隐匿性淋巴结转移的预测模型。本研究训练组AUC值为0.885, 准确度为0.870, 特异度为0.800, 敏感度为0.800; 测试组AUC值为0.859, 准确度为0.840, 特异度为0.780, 敏感度为0.750。AUC值、敏感度、准确度、特异度均在0.75及以上, 说明该模型对NSCLC隐匿性淋巴结转移的预测具有一定的临床价值。

本研究共纳入151例NSCLC患者, 男性94例, 女性57例, 其中肺鳞癌56例, 肺腺癌95例, 将其分隐匿性淋巴结转移阳性组和阴性组, 平均年龄为(64±9.07), 范围41-80岁, 老年男性患者占比较高, 符合肺癌的流行病学特点。本研究最终筛选出16个最佳影像组学特征, 其中占比最高为wavelet-HHH\_firstorder\_Kurtosis。峰度(Kurtosis)是肿瘤血管生成的标志, 峰度越高更能反应肿瘤的异质性<sup>[20-21]</sup>。有研究报道原发灶的影像纹理特征及临床特征与淋巴结转移高度相关, 也有研究证实影像学特征结合临床特征可预测淋巴结转移<sup>[22-23]</sup>。因此本研究基于原发灶提取的影像组学特征所构建的隐匿性淋巴结转移预测模型同样具有较高的临床价值。

SVM模型可以将数据映射到高维特征空间, 用于解决分类问题, 该模型能够解决大多数模型所面临的欠拟合和过拟合问题, 具有所需样本少, 训练速度快, 泛化能力强, 应用场景广等优点<sup>[24]</sup>。本研究采用3D勾画筛选出最优的影像组学特征并建立预测模型, 所得到的训练组和测试组AUC值分别为0.885及0.859。陈文达等<sup>[22]</sup>的研究纳入影像组学特征建立预测模型所得的训练组及测试组的AUC值分别为0.857及0.760, 说明基于胸部增强CT原发灶图像建立的隐匿性淋巴结转移的预测模型具有较高的可行性。吴佳琪等<sup>[16]</sup>通过CT平扫图像建立影像组学模型, 训练组AUC值为0.86, 准确度、灵敏度和特异度分别为76.14%、91.30%、70.77%;测试组AUC值为0.85, 准确度、灵敏度和特异度分别为70.27%、68.75%、71.43%。虽然其研究训练组及测试组的AUC值均较高, 但是其测试组灵敏度、特异度及准确度均低于本研究模型。吴佳琪等研究以纵隔淋巴结为研究对象, 具有较为直观的特点, 但其未联合增强图像进行分析, 在一定程度上会损失病灶可挖掘的潜在信息。本研究基于原发灶影像组学特征构建的隐匿性淋巴结转移预测模型具有安全简便、无创、重复操作性强等特点。本研究在胸部增强CT图像的基础上采取手动逐层3D勾画, 可以获取原发肿瘤更加全面立体的信息, 辅助临床对NSCLC隐匿性淋巴结的转移与否作出准确的预测, 对患者精准医疗具有一定的指导价值。

本研究也存在一定的局限性: 首先, ROI的勾画是采用手动逐层进行勾画, 会存在一定的误差, 同时也会存在一定的主观性, 未来将采用全自动或者半自动分割的方法进行研究; 其次, 本研究影像组学特征提取, 未联合临床实验室检查指标, 如CEA、SCC等指标, 后续会结合临床指标构建预测模型; 最后, 本研究的数据均来源于同一所医院, 缺乏多中心数据, 未来将加入多中心影像组学研究, 纳入外部数据验证, 增加模型的普遍适用性。

综上所述, 基于胸部增强CT的3D影像组学在NSCLC隐匿性淋巴结转移中具有较好的预测价值, 对个体化治疗方案的制订具有一定的临床价值。

### 参考文献

- [1] 张桐睿, 李军, 申敏, 等. CT影像组学结合肺癌血清肿瘤标志物预测非小细胞肺癌亚型的初步研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(3): 65-67.
- [2] 段梦月, 胡春峰, 鲍慧新. PET/CT相关参数与非小细胞肺癌PD-L1表达的相关性研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(5): 28-30.
- [3] 刘曾维, 陈璧颖, 钟鹏, 等. CEA、CYFRA21在非小细胞肺癌患者血清中表达水平及与MSCT联合诊断价值分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(8): 62-64.
- [4] Wu J, Han X, Yang X, et al. MiR-138-5p suppresses the progression of lung cancer by targeting SNIP1[J]. Thorac Cancer, 2023, 14(6): 612-623.
- [5] Nie S, Yu W, Hu X, et al. Positron emission tomography/computed tomography and endobronchial ultrasound-guided transbronchial needle aspiration to evaluate the status of N2 in preoperative non-small cell lung cancer: a diagnostic test [J]. Thorac Dis, 2022, 14(6): 2122-2130.
- [6] 王坤, 赵敬国, 王善良. 全胸腔镜肺叶切除术对非小细胞肺癌患者应激反应和炎症反应影响[J]. 临床肺科杂志, 2023, 28(11): 1728-1731.
- [7] Hao Z, Liang H, Zhang Y, et al. Surgery for advanced-stage non-small cell lung cancer: lobectomy or sub-lobe resection? [J]. Transl Lung Cancer Res, 2021, 10(3): 1408-1423.
- [8] Ruigrok D, Kunst PWA, Blacha MMJ, et al. Digital versus analogue chest drainage system in patients with primary spontaneous pneumothorax: a randomized controlled trial[J]. BMC Pulm Med, 2020, 20(1): 136.
- [9] 周晓琪. 胸腔镜肺叶切除术与胸腔镜亚肺叶切除术治疗早期非小细胞肺癌的对比研究[J]. 现代肿瘤医学, 2021, 29(20): 3568-3572.
- [10] 刘彦军. 早期非小细胞肺癌患者经单孔全胸腔镜解剖性肺段切除术治疗疗效评价[J]. 中国药物与临床, 2021, 21(11): 1921-1923.
- [11] 熊家俊, 朱学雨, 陈乐, 等. 胸腔镜肺段切除术治疗非小细胞肺癌对血清LDH及ProGRP指标的效果[J]. 中国医药指南, 2023, 21(19): 25-28.
- [12] 黄斌, 丁重阳, 李天女. 非小细胞肺癌隐匿性淋巴结转移危险因素分析[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2018, 25(15): 1089-1093.
- [13] 包文骏, 丁晨昱. PET-CT预测 I A期肺腺癌隐匿性淋巴结转移的临床价值分析[J]. 中国老年保健医学, 2021, 19(5): 90-93.
- [14] Meyer HJ, Schnarkowski B, Pappisch J, et al. CT texture analysis and node-RADS CT score of mediastinal lymph nodes-diagnostic performance in lung cancer patients[J]. Cancer Imaging, 2022, 22(1): 75.
- [15] 孙向梅, 陈娇娇, 黄丽冰, 等. 基于多模态影像组学预测甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移研究进展[J]. 深圳中西医结合杂志, 2023, 33(14): 128-133.
- [16] 吴佳琪, 倪炯, 王培军. 基于胸部CT平扫的影像组学模型预测肺癌隐匿性淋巴结转移的临床价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2023, 29(3): 266-270.
- [17] 王紫君, 黄劲柏, 邱大胜, 等. 18F-FDG PET-CT显像在预测肺癌淋巴结分期中的价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2020, 26(02): 164-169.
- [18] 王欢, 王赫隆, 王潇, 等. 基于CT影像组学的列线图模型预测肺部肿瘤立体定向放射治疗疗效[J]. 现代肿瘤医学, 2023, 31(05): 898-904.
- [19] Li Y, Liu S. Adversarial attack and defense in breast cancer deep learning systems[J]. Bioengineering (Basel), 2023, 10(8): 973.
- [20] 唐彩银, 李通, 段绍峰, 等. 基于CT增强图像影像组学特征模型预测肺鳞癌和腺癌价值初探[J]. 中国医疗设备, 2022, 37(3): 138-141.
- [21] 汪涛, 朱浩雨, 卜青松, 等. 非小细胞肺癌EGFR突变状态与CT特征的相关性[J]. 中华肺部疾病杂志(电子版), 2023, 16(1): 51-54.
- [22] 陈文达, 徐秋贞, 王涛, 等. 基于非小细胞肺癌原发灶影像组学的隐匿性淋巴结转移预测[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(4): 643-649.
- [23] Lee JW, Kim SY, Han SW, et al. Clinical significance of peritumoral adipose tissue PET/CT imaging features for predicting axillary lymph node metastasis in patients with breast cancer[J]. Pers Med, 2021, 11(10): 1029.
- [24] 杨美涛, 王彦丁, 李志强, 等. ARIMA-SVM组合模型在肺结核发病趋势预测中的应用[J]. 现代预防医学, 2023, 50(11): 1921-1926.

(收稿日期: 2023-12-25)

(校对编辑: 翁佳鸿)