

# 术前CT影像学特征诊断肺腺癌亚实性结节 脏层胸膜侵犯的价值

林凡霞<sup>1,2</sup>, 林吉征<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>青岛大学附属医院放射科, 山东 青岛

<sup>2</sup>日照市人民医院影像科, 山东 日照

收稿日期: 2026年3月15日; 录用日期: 2026年4月9日; 发布日期: 2026年4月16日

## 摘要

目的: 探讨术前CT影像学特征诊断肺腺癌亚实性结节(SSN)脏层胸膜侵犯(VPI)的价值。方法: 回顾性分析164例经手术病理证实的SSN肺腺癌患者的临床及CT影像学特征, 将患者分为VPI阳性组及VPI阴性组。比较两组的临床及CT影像学特征, 通过多因素logistic回归分析确定肺腺癌发生VPI的独立危险因素。受试者工作特征曲线及曲线下面积(AUC)用于评估模型的预测效能。结果: 实性百分比、结节-胸膜关系和邻近胸膜增厚是VPI的独立危险因素, 基于三者结合构建的联合模型具有最高的预测效能(AUC = 0.816), 优于单一因素模型。结论: 实性百分比、结节-胸膜关系和邻近胸膜增厚是SSN肺腺癌发生VPI的独立危险因素, 三者联合构建的模型对SSN肺腺癌发生VPI有较好的预测效能。

## 关键词

肺腺癌, 亚实性结节, 胸膜侵犯, 计算机断层扫描

# The Value of Preoperative CT Imaging Features in Diagnosing Visceral Pleural Invasion in Pulmonary Adenocarcinoma Manifesting as Sub-Solid Nodules

Fanxia Lin<sup>1,2</sup>, Jizheng Lin<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiology, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Department of Radiology, People's Hospital of Rizhao, Rizhao Shandong

Received: March 15, 2026; accepted: April 9, 2026; published: April 16, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 林凡霞, 林吉征. 术前CT影像学特征诊断肺腺癌亚实性结节脏层胸膜侵犯的价值[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 3222-3228. DOI: 10.12677/acm.2026.1641582

## Abstract

**Objective:** To explore the value of preoperative CT imaging features in diagnosing visceral pleural invasion (VPI) in pulmonary adenocarcinoma manifesting as sub-solid nodules (SSN). **Methods:** A retrospective analysis was conducted on clinical and CT imaging features from 164 patients with SSN lung adenocarcinoma confirmed by surgical pathology. Patients were divided into the VPI-positive and VPI-negative groups. The clinical and CT imaging features between the two groups were compared, and independent risk factors for VPI in lung adenocarcinoma were identified via multivariate logistic regression analysis. The predictive performance of models was evaluated using the receiver operating characteristic curve and the area under the curve (AUC). **Results:** The solid component percentage, nodule and pleura relationship, and adjacent pleural thickening were identified as independent risk factors for VPI. The combined model incorporating these three factors demonstrated the highest predictive efficacy (AUC = 0.816), outperforming models based on any single factor. **Conclusion:** The solid component percentage, nodule and pleura relationship classification, and adjacent pleural thickening were identified as independent risk factors for VPI in SSN lung adenocarcinoma. The model combining these three factors demonstrates favorable predictive performance for VPI in SSN lung adenocarcinoma.

## Keywords

Lung Adenocarcinoma, Sub-Solid Nodules, Pleural Invasion, Computed Tomography

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

随着胸部 CT 检查的广泛应用,越来越多的亚实性结节(Sub-Solid Nodule, SSN)被检出[1]。SSN 是指 CT 上肺密度增高而未遮盖血管和支气管的肺结节。脏层胸膜侵犯(Visceral Pleural Invasion, VPI)是肺腺癌重要的肿瘤分期指标,能够推动 T 分期升级转化(T1 期升级为 T2 期),同时也是影响患者预后的重要危险因素,VPI 阳性肺腺癌患者预后较差、生存率较低[2]-[4]。本研究旨在探讨 SSN 肺腺癌患者的术前 CT 影像学特征诊断 VPI 的价值,为临床治疗方案的选择提供依据。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究对象

回顾性选取 2022 年 3 月~2023 年 5 月青岛大学附属医院手术治疗的 164 例 SSN 肺腺癌患者,男 56 例,女 108 例,年龄 28~80 岁,平均(57.53±9.74)岁。纳入标准:1) 经病理证实为肺腺癌;2) 术前行薄层 CT 检查;3) CT 图像示病灶为 SSN,最大直径 ≤3 cm。排除标准:1) 病灶为实性结节;2) 术前接受新辅助治疗;3) CT 图像质量差,影响病灶评估。

### 2.2. 方法

CT 检查采用 GE Optima CT 660、GE Optima CT 620 和 Siemens Somatom Sensation 64 设备进行扫描。参数:管电压 120 kV,自动管电流调控,准直为 64×0.6 mm,层厚 5 mm,重建层厚 0.625~1.25 mm。

### 2.3. 图像评估

由两名经验丰富的影像科医师评估 CT 图像, 如意见不一致, 通过协商解决。评估指标包括: 位置、肿瘤直径、实性百分比、形状、毛刺征、分叶征、结节 - 胸膜关系(Nodule and Pleura Relationship, NPR)、邻近胸膜增厚(是指与肿瘤接触的胸膜较周围胸膜相比明显增厚)、空气支气管征、空泡征。NPR 分为: I 型: 结节与胸膜无关系; II 型: 结节与胸膜有一条或多条线相连, 无胸膜凹陷; III 型: 结节与胸膜有一条或多条线相连, 可见喇叭口样胸膜凹陷; IV 型: 结节与胸膜直接接触。

### 2.4. 统计学分析

采用 R 软件(v4.3.3)及 SPSS 26.0 软件进行数据分析。采用 Kolmogorov-Smirnov 检验评估计量资料的正态性, 数据均符合正态分布, 以  $\bar{x} \pm s$  表示, 采用独立样本 *t* 检验进行组间比较; 计数资料采用  $\chi^2$  检验进行组间比较。将差异有统计学意义的特征纳入多因素 logistic 回归分析, 确定 VPI 阳性的独立危险因素, 构建预测模型, 并绘制受试者工作特征曲线(Receiver Operating Characteristic, ROC), 计算曲线下面积 (Area Under the Curve, AUC)。采用 Delong 检验评估模型间 AUC 的差异。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 3. 结果

### 3.1. 两组临床资料与 CT 影像学特征对比

164 例 SSN 肺腺癌患者, VPI 阳性 67 例, VPI 阴性 97 例。VPI 阴性组与 VPI 阳性组间肿瘤直径、实性百分比、毛刺征、分叶征、NPR 分型、邻近胸膜增厚、空气支气管征差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), 其余特征组间无统计学差异( $P > 0.05$ ) (表 1)。

**Table 1.** Comparative analysis of clinical and CT features between the two groups

**表 1.** 两组的临床及 CT 特征对比分析

| 变量       | VPI 阴性组(n = 97) | VPI 阳性组(n = 67) | <i>t</i> / $\chi^2$ | <i>P</i> 值 |
|----------|-----------------|-----------------|---------------------|------------|
| 年龄       | 57.00 ± 9.94    | 58.30 ± 9.46    | -0.838              | 0.403      |
| 性别       |                 |                 | 1.688               | 0.194      |
| 男        | 37              | 19              |                     |            |
| 女        | 60              | 48              |                     |            |
| 肿瘤直径     | 16.59 ± 5.01    | 20.08 ± 5.68    | -4.147              | <0.001     |
| 位置       |                 |                 | 5.584               | 0.232      |
| 右肺上叶     | 32              | 23              |                     |            |
| 右肺下叶     | 14              | 16              |                     |            |
| 右肺中叶     | 7               | 8               |                     |            |
| 左肺上叶     | 28              | 14              |                     |            |
| 左肺下叶     | 16              | 6               |                     |            |
| 实性百分比    |                 |                 | 23.919              | <0.001     |
| 0%~25%   | 46              | 11              |                     |            |
| 26%~50%  | 20              | 14              |                     |            |
| 51%~75%  | 12              | 7               |                     |            |
| 76%~100% | 19              | 35              |                     |            |

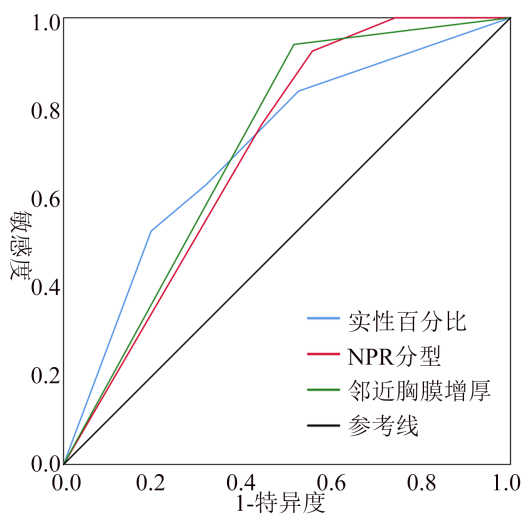
续表

|        |    |    |        |        |
|--------|----|----|--------|--------|
| 形状     |    |    | 0.636  | 0.425  |
| 圆形/椭圆形 | 68 | 43 |        |        |
| 不规则    | 29 | 24 |        |        |
| 毛刺征    |    |    | 12.829 | <0.001 |
| 无      | 82 | 40 |        |        |
| 有      | 15 | 27 |        |        |
| 分叶征    |    |    | 11.991 | <0.001 |
| 无      | 37 | 9  |        |        |
| 有      | 60 | 58 |        |        |
| NPR 分型 |    |    | 28.494 | <0.001 |
| I      | 25 | 0  |        |        |
| II     | 18 | 5  |        |        |
| III    | 11 | 11 |        |        |
| IV     | 43 | 51 |        |        |
| 邻近胸膜增厚 |    |    | 33.380 | <0.001 |
| 无      | 47 | 4  |        |        |
| 有      | 50 | 63 |        |        |
| 空气支气管征 |    |    | 17.521 | <0.001 |
| 无      | 72 | 28 |        |        |
| 有      | 25 | 39 |        |        |
| 空泡征    |    |    | 2.447  | 0.118  |
| 无      | 71 | 56 |        |        |
| 有      | 26 | 11 |        |        |

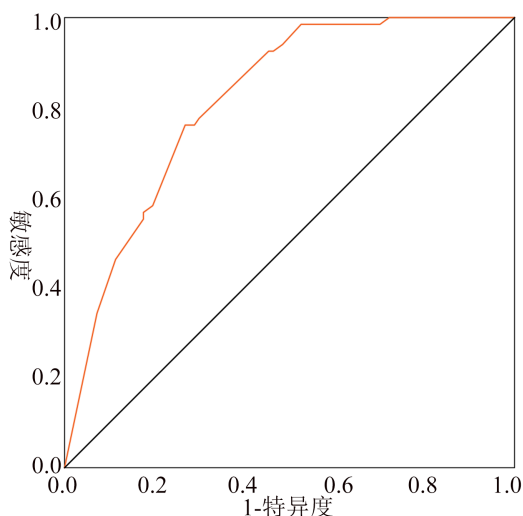
注: NPR 为结节 - 胸膜关系。

### 3.2. 多因素分析及模型构建

将上述差异有统计学意义的特征(肿瘤直径、实性百分比、毛刺征、分叶征、NPR 分型、邻近胸膜增厚、空气支气管征)纳入多因素 logistic 回归分析,结果表明实性百分比、NPR 分型和邻近胸膜增厚是 VPI 阳性的独立预测因素(表 2)。实性百分比预测 VPI 阳性的 AUC 为 0.708 (95% CI: 0.628~0.789), 敏感度为 0.522, 特异度为 0.804; NPR 分型预测 VPI 阳性的 AUC 为 0.701 (95% CI: 0.623~0.779), 敏感度为 0.925, 特异度为 0.443; 邻近胸膜增厚预测 VPI 阳性的 AUC 为 0.712 (95% CI: 0.634~0.790), 敏感度为 0.940, 特异度为 0.485, 见图 1。将实性百分比、NPR 分型和邻近胸膜增厚结合构建联合模型, 预测 VPI 阳性的 AUC 为 0.816 (95% CI: 0.753~0.879), 敏感度为 0.761, 特异度为 0.732, 见图 2。联合模型的预测效能高于单一因素模型( $P < 0.05$ )。



**Figure 1.** ROC curves for different features predicting VPI  
**图 1.** 不同特征预测 VPI 阳性的 ROC 曲线



**Figure 2.** ROC curve of combined model for predicting VPI  
**图 2.** 联合模型预测 VPI 阳性的 ROC 曲线

**Table 2.** Multivariate logistic regression analysis of patients with SSN lung adenocarcinoma  
**表 2.** SSN 肺腺癌患者的多因素 logistic 回归分析

| 变量     | B     | OR    | 95% CI        | P 值   |
|--------|-------|-------|---------------|-------|
| 肿瘤直径   | 0.066 | 1.068 | 0.987, 1.155  | 0.101 |
| 实性百分比  | 0.457 | 1.579 | 1.099, 2.269  | 0.013 |
| 毛刺征    | 0.105 | 1.110 | 0.411, 3.002  | 0.836 |
| 分叶征    | 0.849 | 2.337 | 0.834, 6.543  | 0.106 |
| NPR 分型 | 0.690 | 1.994 | 1.074, 3.702  | 0.029 |
| 邻近胸膜增厚 | 1.493 | 4.452 | 1.137, 17.430 | 0.032 |
| 空气支气管征 | 0.644 | 1.904 | 0.769, 4.713  | 0.164 |

注: NPR 为结节 - 胸膜关系。

## 4. 讨论

VPI 是肺腺癌的不良预后因素, 准确判断 VPI 情况对患者预后风险评估具有重要指导意义。VPI 诊断通常使用活检或手术标本的弹力纤维染色检测, 但这些方法耗时较长[5]。影像学可以通过显示病灶的形态学特征评估 VPI 情况, 有利于判断病变的严重程度。

既往多项研究表明一些 CT 影像学特征与 VPI 存在相关性[6] [7]。本研究多因素 logistic 回归分析显示实性百分比、NPR 分型和邻近胸膜增厚是 VPI 的独立危险因素。实性成分是反映肿瘤侵袭性的重要因素, 刘艳等[8]指出随着肿瘤实性成分比例增加, 患者 VPI 发生率提高。本研究结果表明实性百分比在 VPI 阳性组与阴性组间存在统计学差异, 与既往研究结果一致。关于结节与胸膜之间的关系, VPI 阳性肺腺癌多表现为 NPR III 或 IV 型, 与既往研究相符[9]。NPR III 型表现为结节与胸膜有一条或多条线相连, 且伴有胸膜凹陷。肿瘤内部纤维组织增生、瘢痕收缩, 产生牵引力牵拉邻近胸膜, 引起胸膜凹陷, 发生胸膜侵犯的概率增加[10]; 而肿瘤与胸膜直接接触, 意味着胸膜被侵犯的可能性亦增大。邻近胸膜增厚是已知的 VPI 危险因素[11], 胸膜侵犯可导致成纤维细胞增生及胸膜纤维化, 引起胸膜局部增厚。

在本研究中, 肿瘤直径、毛刺征和分叶征是单因素分析中差异有统计学意义的特征。肿瘤大小是评估肿瘤侵袭性的重要指标, 本研究显示 VPI 阳性组肿瘤直径明显大于 VPI 阴性组, 与既往研究结果一致[12] [13], 而符程皓等[14]发现两组间轴位最大径无显著统计学差异, 这可能与研究对象的差异有关。毛刺征是指从结节边缘向周围延伸的无分支线条影, 分叶征是指结节表面呈凹凸不平的多个弧形, 都是常见的恶性肿瘤 CT 征象, 提示肿瘤具有更高的侵袭性, 可为判断结节良恶性、浸润程度提供一定依据[12] [15]。然而通过多因素 logistic 回归分析后, 这些特征无显著差异。这一结果可能是因为多因素 logistic 回归分析平衡了混杂因素的影响, 较大的结节更易出现实性成分, 而实性成分越多, 肿瘤的侵袭性越强, 出现毛刺征和分叶征的概率也越高。

此外, 本研究探究了各个独立危险因素诊断 VPI 的价值, 发现单一因素的诊断效能一般, 将各因素结合构建联合模型后, 预测效能明显提升(AUC = 0.816), 提示综合多种因素有利于提高模型预测的准确性。

本研究存在局限性: 1) 单中心回顾性研究, 可能存在选择偏倚; 2) 样本量较小; 3) 仅使用 CT 影像学特征评估 VPI, 后续可开展影像组学、深度学习等方法, 以便更准确判断肺癌 VPI 情况。

综上所述, 实性百分比、NPR 分型和邻近胸膜增厚是 SSN 肺腺癌发生 VPI 的独立危险因素, 基于三者构建的联合模型可为 SSN 肺腺癌诊断 VPI 提供依据。

## 声明

本研究获得青岛大学附属医院医学伦理委员会批准(审批号: QYFY WZLL 42263)。

## 参考文献

- [1] Ramaswamy, A. (2022) Lung Cancer Screening: Review and 2021 Update. *Current Pulmonology Reports*, **11**, 15-28. <https://doi.org/10.1007/s13665-021-00283-1>
- [2] Van Schil, P.E., Asamura, H., Nishimura, K.K., Rami-Porta, R., Kim, Y.T., Bertoglio, P., et al. (2024) The International Association for the Study of Lung Cancer Lung Cancer Staging Project: Proposals for the Revisions of the T-Descriptors in the Forthcoming Ninth Edition of the TNM Classification for Lung Cancer. *Journal of Thoracic Oncology*, **19**, 749-765. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2023.12.006>
- [3] Kanzaki, R., Fukuda, H., Kobayashi, M., Horiguchi, J., Kawagishi, S., Maniwa, T., et al. (2024) Pathological Pleural Invasion Is a Risk Factor for Late Recurrence in Long-Term Survivors of Non-Small Cell Lung Cancer after Complete Resection. *Annals of Surgical Oncology*, **31**, 5038-5046. <https://doi.org/10.1245/s10434-024-15279-9>
- [4] Altorki, N., Wang, X., Damman, B., et al. (2024) Recurrence of Non-Small Cell Lung Cancer with Visceral Pleural

- Invasion: A Secondary Analysis of a Randomized Clinical Trial. *JAMA Oncology*, **10**, 1179-1186.
- [5] 李洪, 陈远, 王俊, 等. 小结节型IA 期肺腺癌胸膜侵犯危险因素分析[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2019, 26(10): 979-983.
- [6] Lyu, D., Wang, Y., Tu, W., Hu, S., Ma, Y., Zhou, X., *et al.* (2025) Prediction of Visceral Pleural Invasion of Clinical Stage IA Lung Adenocarcinoma Based on Computed Tomography Features. *Translational Cancer Research*, **14**, 1596-1608. <https://doi.org/10.21037/tcr-24-2015>
- [7] Kao, C.C., Wang, H.C., Lin, M.W., *et al.* (2025) Predicting Visceral Pleural Invasion in Resected Lung Adenocarcinoma via Computed Tomography. *Cancers*, **17**, Article No. 1414. <https://doi.org/10.3390/cancers17091414>
- [8] 刘艳, 吴艳, 王健, 等. 早期≤30 mm 非小细胞肺癌脏层胸膜侵犯的多因素分析[J]. 临床放射学杂志, 2024, 43(10): 1690-1696.
- [9] Zhang, C., Wang, L., Cai, X., Li, M., Sun, D. and Wang, P. (2023) Tumour-Pleura Relationship on CT Is a Risk Factor for Occult Lymph Node Metastasis in Peripheral Clinical Stage IA Solid Adenocarcinoma. *European Radiology*, **33**, 3083-3091. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09476-5>
- [10] 徐锐, 张岱, 韩鹏, 等. 基于决策树与 Logistic 回归模型预测实性肺腺癌结节脏层胸膜侵犯[J]. 临床放射学杂志, 2025, 44(9): 1642-1649.
- [11] Imai, K., Minamiya, Y., Ishiyama, K., Hashimoto, M., Saito, H., Motoyama, S., *et al.* (2013) Use of CT to Evaluate Pleural Invasion in Non-Small Cell Lung Cancer: Measurement of the Ratio of the Interface between Tumor and Neighboring Structures to Maximum Tumor Diameter. *Radiology*, **267**, 619-626. <https://doi.org/10.1148/radiol.12120864>
- [12] 杨昭, 王小雷, 李淑华, 等. CT 影像组学列线图评估肺腺癌脏层胸膜侵犯[J]. 中国医学影像技术, 2022, 38(7): 1017-1022.
- [13] 冯晓琪, 钱敏, 李榕. 早期非小细胞肺癌脏层胸膜侵犯预测的列线图模型构建[J]. 实用放射学杂志, 2022, 38(9): 1428-1431.
- [14] 符程皓, 蒋以恒, 葛佳云, 等. 混合磨玻璃结节型肺腺癌脏层胸膜侵犯的临床特征和危险因素分析[J]. 中国肺癌杂志, 2022, 25(4): 236-244.
- [15] 孙志强, 陆晨光, 王德艳. 肺腺癌亚实性结节脏层胸膜侵犯的 HRCT 影像学特征及其影响因素[J]. 中外医学研究, 2025, 23(13): 119-122.