

结节距胸膜距离与肺结节胸腔镜切除术后 气胸发生的相关性*

许峰 宁光耀 卢晨 张仁泉

(安徽医科大学第一附属医院普胸外科, 安徽 合肥 230022)

【摘要】 目的 探讨肺结节距胸膜距离对胸腔镜切除术(VATS)后气胸发生的影响。方法 纳入 2022 年 5 月—2024 年 5 月在我院接受 VATS 治疗的肺结节患者 181 例作为研究对象,其中术后随访中发生气胸(气胸组)患者 92 例,无气胸患者(无气胸组)89 例。倾向性评分匹配(PSM)法按照 1:1 匹配后各组为 70 例并比较受试者的一般资料。对两组患者的一般资料及影像学特征进行对比。运用分层回归模型探究其他因素与结节至胸膜距离的关联性。通过多因素 Logistic 回归模型,分别对包含结节或不包含距胸膜距离的两组数据进行分析,以筛选出术后气胸的独立危险因素,并基于此构建术后气胸预测模型。采用 ROC 曲线下面积(AUC)、综合判别改善指数(IDI)及净重新分类指数(NRI)评估不同模型的预测效能;采用 Hosmer-Lemeshow 检验对不同模型的拟合优度进行评估。运用区间似然比比较结节距胸膜距离发生气胸的风险。运用限制性立方样条模型结合阈值效应分析,探究结节距胸膜距离与术后气胸的关联性。**结果** 两组结节位置、结节密度、结节距胸膜距离、术后携带胸引管时间、术后 VAS 评分、切除范围比较差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、切除范围会对结节距胸膜距离产生正相关关系($P < 0.05$)。术后气胸发生的独立危险因素包括结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、切除范围、结节距胸膜距离。模型 1 对术后气胸发生的 AUC 值为 0.746(95%CI:0.715~0.779),将结节距胸膜距离纳入模型后,其 AUC 值提高至 0.822(95%CI:0.788~0.865)($P < 0.05$);与模型 1 比较,将结节距胸膜距离纳入模型后的 IDI 值提升至 0.082(95%CI:0.042~0.115)、NRI 提升至 0.619(95%CI:0.521~0.694)($P < 0.05$)。与模型 1 比较,模型 2 的 AUC 为 0.812(95%CI:0.775~0.837)、IDI 值为 0.068(95%CI:0.049~0.086)、NRI 值为 0.601(95%CI:0.537~0.691),3 者的值均得到了提高($P < 0.05$)。经 Hosmer-Lemeshow 检验,模型 1($P = 0.682$)、模型 2($P = 0.864$)均提示二者均拟合优度理想。随着结节距胸膜距离的增加,气胸发生的风险增加。结节距胸膜距离 > 20.04 mm 时,发生气胸的风险在 67.14%,均高于结节距胸膜距离 < 10.00 mm、 $10.00 \sim 20.00$ mm。运用阈值效应分析,结果显示结节距胸膜距离与术后气胸发生呈正相关。**结论** 结节距胸膜距离与肺结节 VATS 后气胸发生呈正相关,将其纳入预测模型可助力临床精准评估术后气胸风险,有助于实现手术安全性的提升与患者预后的改善。

【关键词】 结节距胸膜距离;肺结节;胸腔镜切除术;气胸发生

【中图分类号】 R561.3 **【文献标志码】** A **DOI:**10.3969/j.issn.1672-3511.2026.06.020

Correlation analysis between distance between nodules and pleura and occurrence of pneumothorax after thoracoscopic resection of pulmonary nodules

XU Feng, NING Guangyao, LU Chen, ZHANG Renquan

(Department of General Thoracic Surgery, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, China)

【Abstract】 **Objective** To explore the effect of the distance between pulmonary nodules and pleura on the occurrence of pneumothorax after thoracoscopic resection (VATS). **Methods** Patients with pulmonary nodules who received

基金项目:安徽省高等学校科学研究项目(2022AH051185)

通信作者:张仁泉,主任医师, Tel:13505693475

引用本文:许峰,宁光耀,卢晨,等. 结节距胸膜距离与肺结节胸腔镜切除术后气胸发生的相关性[J]. 西部医学, 2026, 38(6): 890-897. DOI: 10.3969/j.issn.1672-3511.2026.06.020

VATS treatment in our hospital from May 2022 to May 2024 were selected as the research subjects, there were 92 patients with pneumothorax and 89 patients without pneumothorax during postoperative follow-up. Propensity score matching (PSM) method was used to match 70 subjects in each group at a 1:1 ratio and compare their general information. Compared the general information and imaging features of two groups of patients. Used a hierarchical regression model to explore the correlation between other factors and the distance from nodules to pleura. By using a multiple factor logistic regression model, two sets of data with nodules or without distance from the pleura were analyzed to screen for independent risk factors for postoperative pneumothorax, and a postoperative pneumothorax prediction model was constructed based on this. Based on this, a predictive model for postoperative pneumothorax was constructed. Evaluated the predictive performance of different models using the area under the receiver operating characteristic curve (AUC-ROC), the comprehensive discriminant improvement index (IDI), and the net reclassification index (NRI); Use Hosmer Lemeshow test to evaluate the goodness of fit of different models. Interval likelihood ratio was used to compare the risk of pneumothorax at the distance between nodules and pleura. A restricted cubic spline model combined with threshold effect analysis was used to explore the correlation between the distance between nodules and pleura and postoperative pneumothorax.

Results There were statistically significant differences in nodule location, nodule density, distance between nodules and pleura, postoperative time of carrying chest catheterization, postoperative VAS score, and resection range ($P < 0.05$). The location and density of nodules, the duration of postoperative chest catheterization, and the extent of resection had a positive impact on the distance between nodules and pleura ($P < 0.05$). The independent risk factors for postoperative pneumothorax included nodule location, nodule density, time of carrying the thoracic catheter after surgery, resection range. The AUC-ROC value for postoperative pneumothorax in Model 1 was 0.746 (95%CI: 0.715~0.779). After incorporating the distance between the nodule and the pleura into the model, the AUC-ROC value increased to 0.822 (95%CI: 0.788~0.865) ($P < 0.05$); Compared with Model 1, the IDI value increased to 0.082 (95%CI: 0.042~0.115) and the NRI increased to 0.619 (95%CI: 0.521~0.694) after incorporating the distance between nodules and pleura into the model ($P < 0.05$). Compared with Model 1, Model 2 had AUC-ROC values of 0.812 (95%CI: 0.775~0.837), IDI values of 0.068 (95%CI: 0.049~0.086), and NRI values of 0.601 (95%CI: 0.537~0.691), all of which had been improved ($P < 0.05$). According to the Hosmer Lemeshow test, the P -value of Model 1 was 0.682; The P -value of Model 2 is 0.864, indicating that both models had ideal goodness of fit. As the distance between the nodule and the pleura increases, the risk of pneumothorax increased. As the distance between the nodule and the pleura increased, the risk of pneumothorax increased. When the distance between the nodule and the pleura was greater than 20 mm, the risk of pneumothorax was 67.14%, which was higher than when the distance between the nodule and the pleura was less than 10 mm or 10-20 mm. Further threshold effect analysis showed a significant positive correlation between the distance between the nodule and the pleura and the occurrence of postoperative pneumothorax. **Conclusion** The distance between the nodule and the pleura is positively correlated with the occurrence of pneumothorax after VATS of pulmonary nodules. Including it in the prediction model can help accurately evaluate the risk of postoperative pneumothorax in clinical practice, and improve surgical safety and patient prognosis.

【Key words】 Distance between nodule and pleura; Pulmonary nodules; Thoracoscopic resection; Pneumothorax occurs

肺结节指影像学检查中发现的直径 ≤ 30 mm 的局灶性、类圆形肺部高密度病灶^[1]。在当前的医学诊断环境下,肺结节检出率上升^[2]。研究^[3]表明,我国普通人群肺结节检出率约为 20%~40%,其中恶性结节占比约 10%~30%。胸腔镜手术(Video-assisted thoracic surgery, VATS)作为治疗恶性肺结节的一种微创手术,由于具备创伤小、恢复快等优势,在临床治疗中获得广泛应用,但 VATS 术后并发症的发生仍不可避免,其中气胸是最常见的并发症之一^[4-5]。气胸是指胸膜腔内积气导致的肺组织受压性病变,临床表现为突发单侧胸痛,伴胸闷、气促,严重者呼吸困难,少量气胸可无明显症状,体征可见患侧胸廓饱满、叩诊鼓音、呼吸音减弱^[6]。术后气胸不仅会延长住院时

间、增加医疗费用,甚至会影响患者预后^[7]。因此,明确 VATS 术后气胸的相关影响因素,对于临床诊疗策略的优化及患者预后的提升具有关键意义。目前,对肺结节 VATS 术后气胸的发生机制已有一定认知,明确了多种影响因素^[8]。研究^[9-10]表明,手术操作时切割器械的选择与使用方式,对肺组织损伤程度影响显著。若使用的切割器械不够精细,在切除结节过程中,易造成肺组织的大面积撕裂,导致更多肺泡破裂,气体大量涌入胸腔,使气胸的发生风险明显上升。此外,从患者个体差异来看,基础肺功能状况是关键因素。对于本身存在肺间质纤维化的患者,其肺组织弹性下降、质地变硬,手术操作时更易受损,导致气胸的发病风险进一步加剧。尽管上述因素已被广泛研究,

但结节距胸膜距离这一因素与术后气胸发生的相关性尚未得到充分且深入的探讨。因此,本研究旨在探讨结节距胸膜距离与术后气胸发生的相关性,为临床实践提供具有参考价值的依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 纳入 2022 年 5 月—2024 年 5 月于我院行 VATS 的肺结节患者 181 例为研究对象,其中术后随访中发生气胸患者 92 例(气胸组)以及无气胸患者 89 例(无气胸组)。对两组患者按性别、年龄、病程、BMI、SBP、DBP、呼吸、心率、高血压、糖尿病、冠心病、吸烟史、饮酒史,通过 1:1 倾向性评分匹配均衡,无气胸组与气胸组协变量之间的差异。纳入标准:①气胸诊断标准:参照美国胸科医师学会(ACCP)指南^[11]。②接受 VATS 切除肺结节的患者。③术前胸部 CT 检查明确肺结节的存在,且结节距胸膜的距离可测量。④患者及家属知情同意。排除标准:①病历资料或随访数据缺失者。②活检前 1 年内有气胸病史者。③未同意随访者。本研究方案通过安徽医科大学第一附属医院临床研究伦理委员会审核批准(批件号:安医一附院伦审-PJ2025-01-81)。

1.2 方法

1.2.1 资料收集 于术前收集患者临床资料包括性别、年龄、BMI、收缩压(SBP)、舒张压(DBP)等一般资料。

1.2.2 CT 检查 所有患者术前行 CT 检查,采用联影 80 排 CT 诊断仪。参数设置:电压 120 kV,电流 150 mA,层厚 5 mm,层间距 5 mm,螺距 1.5~1.8,矩阵 512×512。检查前,医护人员需向患者详细说明检查注意要点,确保患者做好准备。检查时,协助患者以头部先进的方式采取仰卧体位,并指导患者将双臂高高举过头顶。随后,让患者深吸一口气,屏气后即刻启动扫描。此次扫描范围涵盖从肺尖部位直至肋膈角处。扫描过程中,着重对患者肺结节的基本特征展开细致观察,精准确定结节位置、大小、性质、密度、

距胸膜距离,同时密切留意其边缘形态以及周围相关征象。完成常规扫描后,针对目标结节进行局部靶扫描。待 CT 检查全部结束,将所获图像资料统一上传至工作站,进行图像三维重建等。由两位影像科医师双盲法阅片,意见不一致时协商决定。术后 3 个月对所有患者再次行 CT 扫描(参数同前),重点观察是否发生气胸,并由同一团队医师评估影像结果。

1.3 观察指标 对比两组患者手术情况以及恢复情况。手术情况包括手术时间、术中出血量、切除范围;恢复情况包括术后胸腔引流量、胸腔引流时间、住院时间、术后 VAS 评分(总分 0~10 分,分数越高疼痛越严重)^[12]。

1.4 统计学分析 应用软件 SPSS 22.0 对数据进行统计分析。计数资料以例数(*n*)和率(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验;计量资料以均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用 *t* 检验。运用分层回归模型探究其他因素与结节至胸膜距离的关联性。通过多因素 Logistic 回归模型,分别对包含或不包含距胸膜距离的两组数据进行分析,以筛选出术后气胸的独立危险因素,并基于此构建术后气胸预测模型。采用受试者工作特征曲线下面积(AUC-ROC)、综合判别改善指数(IDI)及净重新分类指数(NRI)评估不同模型的预测效能;采用 Hosmer-Lemeshow 检验对不同模型的拟合优度进行评估。运用区间似然比比较结节距胸膜距离发生气胸的风险。运用限制性立方样条模型结合阈值效应分析,探究结节距胸膜距离与术后气胸的关联性。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般资料比较 纳入患者中男 103 例,女 78 例,年龄 50~80 岁,平均(66.12±10.02)岁。采用 PSM 进行 1:1 匹配后,共匹配成功 70 对。匹配前后,性别、年龄等指标差异无统计学意义(*P*>0.05),见图 1、表 1。

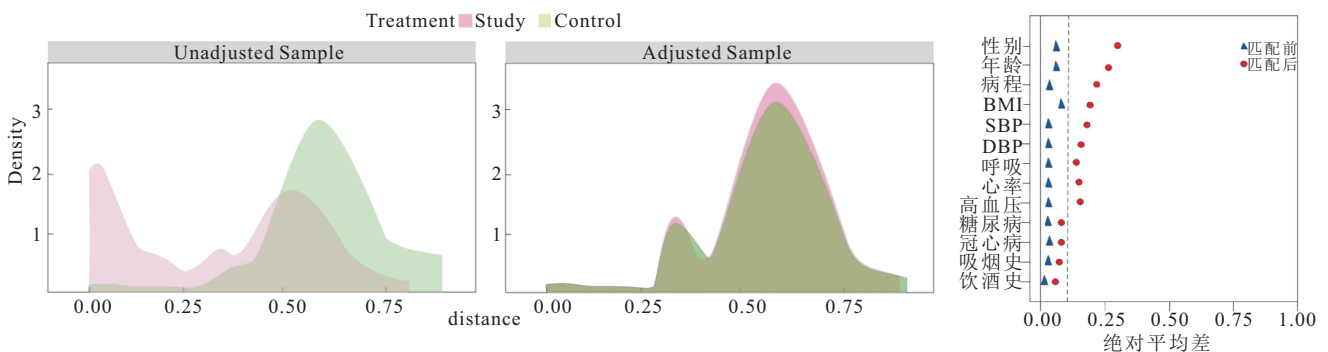


图 1 两组匹配前后的倾向性评分分布与绝对平均差图

Figure 1 The distribution of propensity scores before and after matching and the graph of absolute mean difference

表 1 两组患者一般资料比较 [$n(\times 10^{-2}), \bar{x} \pm s$]

Table 1 Comparison of general data between the two groups

项目	匹配前		统计值	P	匹配后		统计值	P
	无气胸组($n=89$)	气胸组($n=92$)			无气胸组($n=70$)	气胸组($n=70$)		
性别			2.279	0.131			0.385	0.535
男	53(59.55)	50(54.35)			40(57.14)	35(50.00)		
女	36(40.45)	42(45.65)			30(42.86)	35(50.00)		
年龄(岁)	64.13±10.32	64.18±9.68	0.034	0.973	65.12±10.22	68.22±9.84	1.828	0.070
病程(d)	46.21±14.62	45.88±14.21	0.154	0.878	45.21±15.35	47.88±14.61	1.054	0.294
BMI(kg/m ²)	23.12±3.16	24.01±3.12	1.907	0.058	24.52±3.23	25.15±3.56	1.097	0.275
SBP(mmHg)	127.14±12.24	127.24±11.13	0.058	0.954	128.51±12.35	130.24±11.87	0.845	0.400
DBP(mmHg)	78.32±8.64	78.65±9.02	0.251	0.802	78.41±8.75	79.62±9.14	0.800	0.425
呼吸(次/min)	18.16±2.21	18.74±2.32	1.721	0.087	18.52±2.15	18.98±2.35	1.996	0.229
心率(次/min)	77.51±9.64	77.61±9.84	0.069	0.945	76.55±9.32	78.25±10.16	1.172	0.244
高血压	55(61.80)	51(55.43)	3.400	0.065	40(57.14)	30(42.86)	3.000	0.083
糖尿病	51(57.30)	38(41.30)	0.590	0.442	35(50.00)	35(50.00)	1.250	0.264
冠心病	56(62.92)	33(35.87)	1.846	0.174	40(57.14)	30(42.86)	0.294	0.588
吸烟史	55(61.80)	34(36.96)	3.048	0.081	50(71.43)	20(28.57)	0.263	0.608
饮酒史	59(66.29)	30(32.61)	3.000	0.083	45(64.29)	29(41.43)	0.296	0.586

2.2 两组患者 CT 影像学特征比较 两组 CT 影像学特征比较结果表明, 结节位置、结节密度、结节距胸膜距离比较差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。气胸组中, 双肺上叶结节、实性结节、部分实性结节(实性成分 $> 50\%$)和结节距胸膜较远的比例高于无气胸组, 而右肺中叶/双肺下叶结节、纯磨玻璃结节和结节距胸膜较近的比例低于无气胸组($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 两组患者 CT 影像学特征比较 [$n(\times 10^{-2}), \bar{x} \pm s$]

Table 2 Comparison of CT imaging features between the two groups

项目	无气胸组($n=70$)	气胸组($n=70$)	χ^2/t	P
结节位置			27.000	< 0.001
双肺上叶	10(14.29)	15(21.43)		
右肺中叶/双肺下叶	60(85.71)	55(78.57)		
结节大小(mm)	12.38±4.56	13.15±5.15	0.937	0.351
结节性质			0.238	0.626
良性	15(21.43)	50(71.43)		
恶性	55(78.57)	20(28.57)		
结节密度			19.629	< 0.001
实性	12(17.14)	25(35.71)		
部分实性结节(实性成分 $> 50\%$)	10(14.29)	21(30.00)		
部分实性结节(实性成分 $\leq 50\%$)	20(28.57)	14(20.00)		
纯磨玻璃结节	28(40.00)	10(14.29)		
结节距胸膜距离(mm)			62.198	< 0.001
结节距胸膜 < 10.00	20(28.57)	10(14.29)		
结节距胸膜 $10.00 \sim 20.00$	40(57.14)	13(18.57)		
结节距胸膜 > 20.00	10(14.29)	47(67.14)		

2.3 两组患者手术相关指标比较 两组手术相关指标比较结果表明, 术后携带胸引管时间、术后 VAS 评分、切除范围差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。与无气胸组比较, 气胸组的术后携带胸引管时间、术后 VAS 评分增加($P < 0.05$); 肺段切除的气胸发生率最低, 肺叶切除的气胸发生率最高, 肺段切除对气胸发生的影响较小($P < 0.05$)。见表 3。

表 3 两组患者手术相关指标比较 [$n(\times 10^{-2}), \bar{x} \pm s$]

Table 3 Comparison of surgical related indicators between the two groups

项目	无气胸组($n=70$)	气胸组($n=70$)	χ^2/t	P
手术时间(min)	85.31±15.20	87.51±18.62	0.766	0.445
术中出血量(mL)	58.26±12.41	61.83±15.72	1.491	0.138
术后住院时间(d)	5.89±2.15	6.23±2.12	0.942	0.348
术后胸腔总引流(mL)	651.33±51.66	662.31±30.15	1.536	0.127
术后携带胸引管时间(d)	2.81±0.21	3.96±0.13	38.957	< 0.001
术后 VAS 评分(分)				
术后 24 h	3.51±1.21	4.81±1.52	5.598	< 0.001
术后 48 h	2.83±1.12	4.24±1.33	6.785	< 0.001
切除范围			43.130	< 0.001
楔形切除	22(31.43)	28(40.00)		
肺段切除	40(57.14)	8(11.43)		
肺叶切除	8(11.43)	34(48.57)		

2.4 分层回归分析临床因素与结节距胸膜距离的关系 将结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、切除范围作为自变量, 结节距胸膜距离作为因变量进行分层回归分析, 结果显示, 结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、切除范围会对结节距胸膜距离产生正相关关系($P < 0.05$), 见表 4。

表 4 分层回归分析其他因素与结节距胸膜距离的关系

Table 4 Hierarchical regression analysis of the relationship between other factors and the distance between nodules and pleura

模型	项目	非标准化系数		t	P	β
		β	标准误			
分层 1	常数	5.162	0.533	18.493	<0.001	—
	结节位置	0.295	0.116	1.558	<0.001	0.131
分层 2	常数	5.453	0.465	15.260	<0.001	—
	结节位置	0.295	0.116	1.558	<0.001	0.131
	结节密度	0.224	0.121	1.554	<0.001	0.105
分层 3	常数	5.845	0.519	14.354	<0.001	—
	结节位置	0.241	0.152	1.427	<0.001	0.182
	结节密度	0.242	0.123	1.617	<0.001	0.137
分层 4	术后携带胸引管时间	0.314	0.137	1.385	<0.001	0.165
	常数	6.137	0.564	14.239	<0.001	—
	结节位置	0.301	0.112	2.118	<0.001	0.197
	结节密度	0.229	0.124	1.816	<0.001	0.156
	术后携带胸引管时间	0.368	0.137	1.654	<0.001	0.192
	切除范围	0.251	0.125	1.253	<0.001	0.134

2.5 术后气胸发生的危险因素分析 将两组间具有统计学意义的变量(不含结节距胸膜距离)纳入多因素 Logistic 回归。结果显示,结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间均为术后气胸发生的独立危险因素(见表 5)。并基于此构建预测模型 1。进一步将结节距胸膜距离纳入多因素危险因素分析,术后气胸发生的独立危险因素包括结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、结节距胸膜距离,并据此建立预测模型 2,见表 6。

2.6 Logistic 回归分析对术后气胸发生预测模型的贡献 将结节距胸膜距离纳入术后气胸发生预测模

表 5 术后气胸发生危险因素的多因素 Logistic 回归分析

Table 5 Multivariate logistic regression analysis of risk factors for postoperative pneumothorax

变量	β	SE	Waldχ ²	OR(95%CI)	P
结节位置	0.826	0.089	9.281	2.285(0.874~3.357)	<0.001
结节密度	1.046	0.090	11.622	2.845(0.613~3.141)	<0.001
术后携带胸引管时间	0.725	0.186	15.016	2.064(1.821~3.327)	<0.001
术后 VAS 评分	0.252	0.313	0.805	1.286(1.098~1.939)	0.094

表 6 术后气胸发生危险因素的多因素 Logistic 回归分析

Table 6 Multivariate logistic regression analysis of risk factors for postoperative pneumothorax

变量	β	SE	Waldχ ²	OR(95%CI)	P
结节位置	0.226	0.085	1.003	2.254(0.813~2.512)	<0.001
结节密度	0.965	0.089	10.843	2.624(0.813~3.512)	<0.001
术后携带胸引管时间	0.783	0.089	8.798	2.189(1.896~3.432)	<0.001
术后 VAS 评分	0.318	0.352	0.903	1.374(1.044~1.968)	0.127
结节距胸膜距离	0.980	0.086	11.395	2.664(1.049~3.252)	<0.001

型 1 后,模型包括的变量包括结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、切除范围、结节距胸膜距离(见表 7)。模型效能评估显示,模型 1 预测术后气胸的 AUC 为 0.746(95%CI:0.715~0.779),而加入结节距胸膜距离后该值提高至 0.822(95%CI:0.788~0.865),组间差异有统计学意义(P<0.05)。为了进一步探究结节距胸膜距离对模型 1 预测术后气胸发生的贡献,本研究对比了该变量纳入前后模型的 IDI 和 NRI。结果显示,相较于模型 1,新增结节距胸膜距离后模型的 IDI 提高至 0.082(95%CI:0.042~0.115),NRI 提升至 0.619(95%CI:0.521~0.694),比较差异均有统计学意义(P<0.05)。

表 7 术后气胸发生预测模型的效能比较

Table 7 Comparison of the efficacy of postoperative pneumothorax prediction models

参数	AUC-ROC(95%CI)	P ^①	IDI(95%CI)	P ^①	NRI(95%CI)	P ^①
术后气胸发生						
模型 1	0.746(0.715~0.779)					
+结节距胸膜距离	0.822(0.788~0.865)	0.008	0.082(0.042~0.115)	<0.001	0.619(0.521~0.694)	<0.001

注:模型 1 包括:结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、切除范围。①结节距胸膜距离联合模型 1 组成新预测模型,再与模型 1 比较的 P 值。

将表 6 有统计学意义的变量建立术后气胸的预测模型 2,包括的变量有结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、切除范围、结节距胸膜距离。与模型 1

比较,模型 2 的 AUC(0.812,95%CI:0.775~0.837)、IDI(0.068,95%CI:0.049~0.086)、NRI(0.601,95%CI:0.537~0.691)均提高(P<0.05)。见表 8。

表 8 术后气胸发生预测模型的效能比较

Table 8 Comparison of the efficacy of postoperative pneumothorax prediction models

参数	AUC(95%CI)	P ^①	IDI(95%CI)	P ^①	NRI(95%CI)	P ^①
术后气胸发生						
模型 1	0.747(0.715~0.769)					
模型 2	0.812(0.775~0.837)	0.021	0.068(0.049~0.086)	<0.001	0.601(0.537~0.691)	<0.001

注:模型 1 包括:结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、切除范围。模型 2 包括:结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、切除范围、结节距胸膜距离;①模型 2 与模型 1 比较的 P 值。

经过 Hosmer-Lemeshow 检验, 术后气胸预测模型 1($P=0.682$)、模型 2($P=0.864$)均拟合优度理想, 见表 9。

表 9 术后气胸发生预测模型的 Hosmer-Lemeshow 检验

Table 9 Hosmer lemeshow test for predicting postoperative pneumothorax occurrence model

变量	χ^2	df	P
模型 1	7.032	8	0.682
模型 2	6.121	8	0.864

注: 模型 1 包括: 结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、切除范围; 模型 2 包括: 结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、切除范围、结节距胸膜距离。

2.7 结节距胸膜距离发生气胸风险区间似然比的比较 随着结节距胸膜距离的增加, 气胸发生的风险增加。结节距胸膜距离 >20.04 mm 时, 发生气胸的风险在 67.14%, 均高于结节距胸膜距离 <10.00 mm、 $10.00\sim 20.00$ mm, 见表 10。

表 10 结节距胸膜距离发生气胸风险区间似然比的比较

Table 10 Comparison of likelihood ratios for the risk interval of pneumothorax at the distance between nodules and pleura

结节距胸膜距离(mm)	阳性	阴性	区间似然比(95%CI)	发生风险(%)
<10.00	10	20	0.129(0.012~0.991)	14.29
$10.00\sim 20.00$	23	40	0.184(0.031~0.824)	18.57
>20.00	47	10	2.364(1.267~3.249)	67.14
总和	70	70		

2.8 限制性立方样条及阈值效应分析 限制性立方样条结果显示, 结节距胸膜距离与术后气胸发生存在非线性关系(非线性检验 $P<0.001$)(见图 2)。运用阈值效应分析显示结节距胸膜距离与术后气胸发生呈正相关, 特别当结节距胸膜距离 >20.04 mm 时, 随着结节距胸膜距离增加, 肺结节患者胸腔镜切除术后气胸的风险上升, 见表 11。

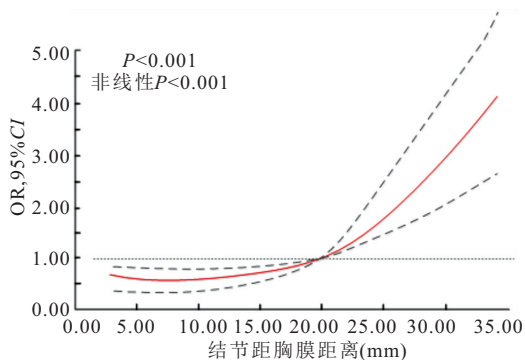


图 2 结节距胸膜距离与术后气胸发生的剂量反应关系

Figure 2 Dose-response relationship between distance between nodules and pleura and postoperative pneumothorax occurrence

表 11 结节距胸膜距离与术后气胸发生的阈值效应分析结果

Table 11 Threshold effect analysis results of distance between nodules and pleura and postoperative pneumothorax occurrence

模型	OR(95%CI)	P
模型 1 标准线性效应	1.524(1.453~1.621)	<0.001
模型 2 结节距胸膜距离的拐点	20.04 mm	—
结节距胸膜距离 ≤ 20.04 mm	0.216(0.043~0.864)	<0.001
结节距胸膜距离 >20.04 mm	1.864(1.766~1.967)	<0.001
效应差	1.524(1.411~1.549)	<0.001
对数似然比检验	—	<0.001

3 讨论

肺结节是指边界清楚、类圆形或不规则形病灶, 影像学表现为密度增高的影像^[13]。VATS 作为肺结节主要的治疗手段之一, 不仅为患者带来更优的治疗体验, 还提升了康复效果^[14]。然而, VATS 术后出现的气胸问题不容忽视^[15]。术后气胸不仅会延长患者的住院时间, 还会增加术后并发症发生风险^[16]。肺结节胸腔镜切除术后气胸的发生率较高, 故探究其发生的影响因素至关重要。

研究^[17-18]表明, 胸膜作为覆盖肺表面的双层膜结构, 是维持胸腔负压的关键。当结节距离胸膜较近时, 其所在的肺组织通常更靠近胸壁, 此处的肺组织血管和纤维分布相对密集, 且胸膜本身具有一定的支撑作用。当手术切除此类结节时, 创面往往能更快被胸膜组织或邻近肺组织贴合覆盖, 术后闭合创面的难度较低, 气体漏出的概率也相应减少。而当结节距离胸膜较远时, 结节位于肺实质深层, 此处的肺组织更偏向于疏松的肺泡结构, 血管和纤维支撑较少。切除后形成的创面周围缺乏胸膜的直接支撑, 闭合过程中更容易因肺组织的弹性回缩或呼吸运动产生裂隙, 导致气体从肺泡或细支气管残端漏入胸腔, 引发气胸。本研究结果表明, 气胸组中, 结节距胸膜较远的比例高于无气胸组, 而结节距胸膜较近的比例低于无气胸组。别志欣等^[19]研究表明, 结节距胸膜距离是引发气胸的独立危险因素。结节距胸膜 >20 mm 时, 气胸发生的风险越高, 这是由于穿刺深度较大的结节时, 对肺组织的伤害会加重, 从而让外界气体进入胸腔的概率大幅增加。本研究进一步发现, 结节距胸膜距离与术后气胸发生呈正相关, 随着结节距胸膜距离增加, 肺结节患者胸腔镜切除术后气胸的风险上升, 特别当结节距胸膜距离 >20.04 mm 时, 肺结节患者术后气胸发生的风险达到了 67.14%。该结果表明肺结节距胸膜距离是 VATS 术后气胸发生的重要风险因素, 可为临床术前评估气胸风险、筛选高风险患者、制定个体化手术方案提供依据。

研究^[20-21]表明, 双肺上叶的肺泡相对较大, 肺泡

壁较薄。当存在结节等病变时,上叶结节周围的肺组织更容易受到通气压力的影响而发生损伤,增加气胸的发生风险。下叶肺组织,受到的机械应力相对较小,即使存在结节,也不易因呼吸运动导致肺组织破裂形成气胸。实性结节和部分实性结节(实性成分 $>50\%$)往往结节内的细胞成分较多,会使结节的质地变硬,与周围肺组织的力学性能差异增大。这种差异导致在呼吸等过程中,结节周围的肺组织更容易出现应力集中,当应力超过肺组织的承受能力时,就容易引发气胸。纯磨玻璃结节对肺组织的破坏程度不高,肺组织具有较好的弹性和完整性,术后发生气胸的概率较低。本研究结果表明,气胸组中,双肺上叶结节、实性结节和部分实性结节(实性成分 $>50\%$)的比例高于无气胸组,而右肺中叶/双肺下叶结节和纯磨玻璃结节的比例低于无气胸组。此外,术后恢复情况及手术切除范围也影响气胸发生。因气胸损伤肺组织,修复过程持续产生气体和液体,需更长时间携带胸引管以保证排出,促进肺复张和伤口愈合,同时引发强烈炎症反应^[22]。楔形切除对肺组织影响小,漏气风险低,气胸发生率最低;肺叶切除对胸膜损伤大,气胸发生率升高;肺段切除后剩余肺段可代偿,肺组织膨胀回缩较稳定,气胸发生风险相对较低^[23-24]。本研究主要采用胸腔镜微创手术,其中楔形切除占比达 35.71%,肺段切除 34.29%,肺叶切除仅 30%。这表明 VATS 在降低气胸复发风险方面具有优势。

研究^[25]表明,双肺上叶靠近纵隔,结节易向肺实质深层生长,距胸膜更远,而右肺中叶及双肺下叶结节多向外周胸膜方向生长;实性结节和部分实性结节(实性成分 $>50\%$)多为浸润性病变,易向肺实质深层生长,距胸膜距离较大,纯磨玻璃结节则多位于肺外周;结节距胸膜越远,手术创面越大且位于肺实质深层,肺泡漏气风险高,需更长时间携带胸引管引流,并为保证完整切除需扩大切除范围(如肺叶切除),而近胸膜结节多采用楔形切除。这些因素共同形成了对结节距胸膜距离的正向影响。本研究结果显示,结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、切除范围会对结节距胸膜距离产生正向影响关系。这表明了以上因素的特征决定了结节距胸膜距离的规律性变化,且这种关联为肺结节的精准诊疗提供了依据。

研究^[26]表明,结节距胸膜距离能够提高术后气胸发生风险预测模型的预测效能。本研究结果发现,在基础模型(结节位置、结节密度、术后携带胸引管时间、切除范围)中加入结节距胸膜距离后,新模型的预测效能提升,且模型拟合优度更佳。故结节距胸膜距离与肺结节胸腔镜切除术后气胸发生正相关,将其纳

入预测模型的构建中,可有效实现对患者术后气胸发生风险的评估。

本研究纳入的患者数量有限,可能导致研究结果无法充分涵盖 VATS 在不同患者群体中的疗效与安全性表现,且观察周期相对较短,未全面纳入肺功能指标、术中操作细节等潜在影响因素,同时 CT 测量结节距胸膜距离的准确性可能受层厚、重建方式等因素干扰。后续研究可扩大样本量、延长随访时间,纳入更多潜在风险因素进行分析,以更全面准确地评估结节距胸膜距离与术后气胸的关联。

4 结论

结节距胸膜距离和肺结节 VATS 后气胸发生呈正相关。将结节距胸膜距离纳入术后风险预测模型,可实现对气胸风险的精准预判,为临床制定个体化手术方案提供依据。

【参考文献】

- [1] HALLOWELL R W, DANOFF S K. Diagnosis and management of myositis-associated lung disease[J]. *Chest*, 2023, 163(6): 1476-1491.
- [2] OLSSON K M, CORTE T J, KAMP J C, *et al.* Pulmonary hypertension associated with lung disease: new insights into pathomechanisms, diagnosis, and management[J]. *Lancet Respir Med*, 2023, 11(9): 820-835.
- [3] YAO Y, YANG Y H, HU Q X, *et al.* A nomogram combining CT-based radiomic features with clinical features for the differentiation of benign and malignant cystic pulmonary nodules[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2024, 19(1): 392.
- [4] 邱莉华,路子蕴,徐璐,等. 胸腔镜辅助肺结节手术患者非计划再就诊危险因素分析[J]. *中国临床研究*, 2023, 36(8): 1152-1156.
- [5] SUN H P, HUANG Y C, HAN Y Y, *et al.* Perioperative outcomes of thoracoscopic versus non-thoracoscopic minimally invasive repair of pectus excavatum: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2024, 19(1): 603.
- [6] MA S X, LI F, LI J, *et al.* Risk factor analysis and nomogram prediction model construction of postoperative complications of thoracoscopic non-small cell lung cancer[J]. *J Thorac Dis*, 2024, 16(6): 3655-3667.
- [7] QIU B, HAN J L, ZHAO J. Effect of thoracoscopic and thoracotomy on postoperative wound complications in patients with lung cancer: a meta-analysis[J]. *Int Wound J*, 2023, 20(10): 4217-4226.
- [8] XIA T, ZHOU Z Y, FANG Z Y, *et al.* The effectiveness and safety of computed tomography-guided hook-wire localization for secondary video-assisted thoracoscopic surgery: a retrospective study[J]. *J Thorac Dis*, 2024, 16(12): 8350-8362.
- [9] FENG G, JIA Y T, ZHAO G X, *et al.* Risk factors for postoperative pulmonary complications in elderly patients undergoing video-assisted thoracoscopic surgery lobectomy under general anesthesia: a retrospective study[J]. *BMC Surg*, 2024, 24(1): 153.

- [10] HUANG N B, HE S, CHEN S T, *et al.* Incidence and risk factors for recurrent primary spontaneous pneumothorax after video-assisted thoracoscopic surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Thorac Dis*, 2024, 16(6): 3696-3710.
- [11] 邓宇, 高明朗, 曾国军, 等. 美国胸科医师学会第九版静脉血栓栓塞症抗栓治疗指南第二次更新解读[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2022, 29(3): 275-278.
- [12] GIORDANO R, CAPRIOTTI C, GERRA M C, *et al.* A potential link between inflammatory profiles, clinical pain, pain catastrophizing and long-term outcomes after total knee arthroplasty surgery[J]. *Eur J Pain*, 2024, 28(7): 1202-1212.
- [13] WANG Y F, CHEN E G. Advances in the localization of pulmonary nodules: a comprehensive review[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2024, 19(1): 396.
- [14] RODRIGUEZ G R, KUCERA J, ANTEVIL J L, *et al.* Contemporary video-assisted thoracoscopic lobectomy for early-stage lung cancer[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2024, 34(9): 798-807.
- [15] IGAI H, MATSUURA N, NUMAJIRI K, *et al.* Feasibility of tubeless thoracoscopic bullectomy in primary spontaneous pneumothorax patients[J]. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 2023, 71(2): 138-144.
- [16] SAHA B K, CHONG W H, HU K, *et al.* Pressure-dependent persistent air leak in a patient with secondary spontaneous pneumothorax[J]. *Am J Med Sci*, 2022, 364(6): 782-788.
- [17] SHI C X, ZHANG Y Y, ZHOU R, *et al.* Risk factors of pain after CT-guided preoperative localization of pulmonary nodules with four-hook needle[J]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 2022, 102(37): 2939-2943.
- [18] ABDELGHANI R, ESPINOZA D, URIBE J P, *et al.* Cone-beam computed tomography-guided shape-sensing robotic bronchoscopy *vs.* electromagnetic navigation bronchoscopy for pulmonary nodules[J]. *J Thorac Dis*, 2024, 16(9): 5529-5538.
- [19] 别志欣, 李彬, 李元明. CT 引导肺穿刺活检术后大量气胸的发生风险及相关因素分析[J]. *中国医学影像学杂志*, 2024, 32(12): 1282-1288.
- [20] WU S H, WU J Y, XIONG J K, *et al.* Risk factors of pneumothorax in computed tomography guided lung nodule marking using autologous blood: a retrospective study[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2024, 19(1): 317.
- [21] LEE S B, KIM M J, LEE I J. Assessment of diagnostic accuracy and complication rates of CT-guided percutaneous core-needle biopsy for lung lesion: difference between solid and sub-solid nodules based on propensity score matching analysis[J]. *Clin Radiol*, 2023, 78(9): e620-e626.
- [22] HONG Z Q, LU Y J, SHENG Y N, *et al.* Comparison of three-dimensional reconstruction and CT-guided Hook-wire segmental resection for pulmonary nodules: a propensity score matching study[J]. *World J Surg Oncol*, 2023, 21(1): 161.
- [23] WANG N, XUE T Y, LIU P, *et al.* Hydrodissection technique for pain relief during peri-microwave ablation in patients with subpleural non-small cell lung cancers[J]. *Int J Hyperthermia*, 2024, 41(1): 2424897.
- [24] 胡坚, 陈军, 陈昶, 等. 肺部结节(≤ 2 cm)楔形切除胸外科全国专家共识(2023 版)[J]. *中国肺癌杂志*, 2023, 26(5): 338-347.
- [25] KAWAKITA N, TOBA H, MIYAMOTO N, *et al.* Intraoperative transbronchial metallic coil marking for small peripheral pulmonary lesions in a hybrid operation room[J]. *Cancers*, 2024, 16(23): 4038.
- [26] YANG S M, MALWADE S, CHUNG W Y, *et al.* Nontraumatic intraoperative pulmonary nodule localization with laser guide stamping in a hybrid operating room[J]. *Updates Surg*, 2024, 76(7): 2531-2540.

(收稿日期: 2025-06-25; 修回日期: 2025-09-28; 编辑: 王小菊)

(上接第 889 页)

- [16] 张治业, 余醒醒, 张璐, 等. CD166 对多发性骨髓瘤 RPMI-8226 细胞增殖、凋亡及自噬的影响实验研究[J]. *陕西医学杂志*, 2023, 52(12): 1675-1679.
- [17] 任立伟, 吴涛, 王宗慧, 等. 泊马度胺在复发/难治性多发性骨髓瘤中的研究进展[J]. *临床血液学杂志*, 2022, 35(5): 388-392.
- [18] 张柳芸, 向云会, 李艳英, 等. M 蛋白在多发性骨髓瘤与淋巴瘤中的临床作用[J]. *中国实验血液学杂志*, 2022, 30(4): 1281-1285.
- [19] 刘志伟, 陈玉玲, 郭桂凤, 等. 红细胞参数在多发性骨髓瘤筛查中的临床价值[J]. *临床血液学杂志*, 2023, 36(2): 128-132.
- [20] 王思英, 邱东巍, 范翠花. 血清白细胞介素-33、 $\beta 2$ -微球蛋白水平与多发性骨髓瘤患者 DS 分期的相关性[J]. *中国实验血液学杂志*, 2023, 31(3): 788-793.
- [21] 蒋翔宁, 陈俊峰, 汪勇. 血清游离轻链 κ/λ 比值联合免疫固定电泳在多发性骨髓瘤患者预后评估中的价值[J]. *中国实验血液学杂志*, 2020, 28(1): 191-195.
- [22] FENG Y B, XIONG Y L, QIAO T Y, *et al.* Lactate dehydrogenase A: a key player in carcinogenesis and potential target in cancer therapy[J]. *Cancer Med*, 2018, 7(12): 6124-6136.
- [23] RICHARDSON P G, PERROT A, SAN-MIGUEL J, *et al.* Isatuximab plus pomalidomide and low-dose dexamethasone versus pomalidomide and low-dose dexamethasone in patients with relapsed and refractory multiple myeloma (ICARIA-MM): follow-up analysis of a randomised, phase 3 study[J]. *Lancet Oncol*, 2022, 23(3): 416-427.
- [24] USMANI S Z, QUACH H, MATEOS M V, *et al.* Final analysis of carfilzomib, dexamethasone, and daratumumab vs carfilzomib and dexamethasone in the CANDOR study[J]. *Blood Adv*, 2023, 7(14): 3739-3748.
- [25] HAN F Y, SHENG N, SHENG C C, *et al.* The diagnostic and prognostic value of haematologic parameters in multiple myeloma patients[J]. *Hematology*, 2023, 28(1): 2240145.
- [26] FRICKER L D. Proteasome inhibitor drugs[J]. *Annu Rev Pharmacol Toxicol*, 2020, 60: 457-476.

(收稿日期: 2025-06-06; 修回日期: 2026-03-16; 编辑: 王小菊)