

不同膈肌超声功能指标 在腹部手术后肺部并发症中的预测价值

李红梅^{1,2}, 蔡敏², 周立¹, 姚欣雨¹, 刘力¹

(1.西南医科大学附属医院麻醉科,四川 泸州 646000; 2.成都市第五人民医院麻醉科,四川 成都 611130)

摘要:目的 比较不同膈肌超声功能指标:平静呼吸膈肌移动度(diaphragmatic excursion during quiet breathing, DE-QB)、深呼吸膈肌移动度(diaphragmatic excursion during deep breathing, DE-DB)、膈肌增厚分数(thickening fraction of diaphragm, TFdi)在腹部手术后肺部并发症(postoperative pulmonary complications, PPCs)中的预测价值。方法 选取全麻下行腹腔镜腹部手术患者154例,在术前和术后24h分别行床旁超声测量患者DE-QB、DE-DB和TFdi。记录术后7d肺部并发症情况,以是否发生PPCs,将患者分为PPCs组($n=48$)和n-PPCs组($n=106$),比较两组患者膈肌功能指标间的差异。选取差异显著的膈肌功能指标绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,以3种功能指标ROC曲线的最佳界值将患者分为PPCs高风险组和PPCs低风险组。分析3种膈肌超声功能指标对腹部手术PPCs预测价值,通过Lasso-Logistic回归分析建立PPCs的预测模型,并与单一膈肌功能指标进行对比。结果 PPCs组和n-PPCs组术前DE-QB、DE-DB和TFdi差异无统计学意义($P>0.05$),PPCs组术后DE-QB、DE-DB和TFdi均低于n-PPCs组,差异有统计学意义($P<0.001$),术后DE-QB、DE-DB、TFdi的ROC曲线的曲线下面积(area under the curve, AUC)分别为0.780、0.779、0.713,三者间无明显差异。以术后DE-QB区分患者时(最佳界值为0.93cm),PPCs高风险组与PPCs低风险组肺部并发症发生率差异有统计学意义(14.1% vs. 61.8%, $P<0.001$);以术后DE-DB区分患者时(最佳界值为2.41cm),PPCs高风险组与PPCs低风险组肺部并发症发生率差异有统计学意义(13.3% vs. 56.3%, $P<0.001$);以术后TFdi区分患者时(最佳界值为0.23),PPCs高风险组与PPCs低风险组肺部并发症发生率差异有统计学意义(16.5% vs. 52.4%, $P<0.001$)。通过Lasso-Logistic回归分析,最终纳入预测模型的危险因素包括年龄、吸烟史、手术时间、术后DE-QB和术后DE-DB,Lasso-Logistic回归模型(AUC=0.851)优于任一单一膈肌功能指标。结论 术后24h DE-QB、DE-DB和TFdi单独使用时均能在一定程度上预测PPCs的发生率,但通过测量膈肌移动度(diaphragmatic excursion, DE)对PPCs的预测价值优于TFdi。通过Lasso-Logistic回归建立的预测模型相较于单一膈肌功能指标可以更好地预测PPCs的发生率。

关键词:膈肌移动度;膈肌增厚分数;腹部手术;超声;肺部并发症

中图分类号:R572

文献标志码:A

Comparison of different diaphragmatic ultrasound functional indices in predicting pulmonary complications after abdominal surgery

LI Hongmei^{1,2}, CAI Min², ZHOU Li¹, YAO Xinyu¹, LIU Li¹

(1. Department of Anesthesiology, The Affiliated Hospital, Southwest Medical University, Luzhou 646000, Sichuan, China;

2. Department of Anesthesiology, Chengdu Fifth People's Hospital, Chengdu 611130, Sichuan, China)

Abstract: Objective To compare different diaphragmatic ultrasound functional indices, diaphragmatic excursion during quiet breathing (DE-QB), diaphragmatic excursion during deep breathing (DE-DB), thickening fraction of dia-

phragm (TFdi), in predicting postoperative pulmonary complications (PPCs) after abdominal surgery. **Methods** A total of 154 patients scheduled for elective laparoscopic abdominal surgery under general anesthesia were selected. DE-QB, DE-DB, and TFdi were measured by bedside ultrasound before and 24 hours after surgery. Postoperative pulmonary complications were recorded for 7 days. Patients were divided into two groups according to the occurrence of pulmonary complications: the pulmonary complications group (PPCs group, $n=48$) and the non-pulmonary complications group (n-PPCs group, $n=106$). The differences in diaphragm function indices between the two groups were compared, and those with significant differences were selected to plot ROC curves. The ROC curves were compared to assess the predictive value of three ultrasound diaphragmatic functional indices for postoperative pulmonary complications after abdominal surgery. A predictive model for postoperative pulmonary complications was created using Lasso Logistic regression analysis and compared with individual diaphragmatic functional indices. **Results** The differences in preoperative DE-QB, DE-DB, and TFdi between the two groups were not statistically significant ($P>0.05$). However, the postoperative DE-QB, DE-DB, and TFdi in the PPCs group were lower than those in the n-PPCs group, with statistically significant differences ($P<0.001$). The areas under the ROC curve (AUC) for postoperative DE-QB, DE-DB, and TFdi were 0.780, 0.779, and 0.713, respectively, with no significant differences. Patients were divided into high-risk PPCs and low-risk PPCs groups according to the optimal cut-off value of the ROC curves of the three functional indices. When patients were differentiated by postoperative DE-QB (optimal cut-off value of 0.93 cm), the incidence of pulmonary complications differed between the high-risk and the low-risk groups (14.1% vs. 61.8%, $P<0.001$); when patients were differentiated by postoperative DE-DB (optimal cut-off value of 2.41 cm), there was a difference in the incidence of pulmonary complications between the high-risk and the low-risk groups (13.3% vs. 56.3%, $P<0.001$); when patients were differentiated by postoperative TFdi (optimal cut-off value of 0.23), there was a difference in the incidence of pulmonary complications between the high-risk and the low-risk groups (16.5% vs. 52.4%, $P<0.001$). By Lasso Logistic regression analysis, the final risk factors included in the prediction model were age, smoking history, duration of surgery, DE-QB (postoperative), and DE-DB (postoperative), and the Lasso Logistic regression model (AUC=0.851) outperformed any single index of diaphragm function. **Conclusion** The DE-QB, DE-DB and TFdi measured at 24h post-operatively alone can predict the occurrence of post-operative pulmonary complications (PPCs) to some extent when used individually, however the measurement of diaphragmatic excursion (DE) provided better predictive value for PPCs than TFdi. The predictive model established by Lasso Logistic regression can better predict the incidence of PPCs than any single diaphragm function index.

Key words: Diaphragm excursion; Fraction of diaphragm thickening; Abdominal surgery; Ultrasound; Pulmonary complications

膈肌作为最主要的呼吸肌,在呼吸过程中起着至关重要的作用^[1-2]。研究表明,膈肌功能受损常引起肺功能受损,从而增加术后肺部并发症(post-operative pulmonary complications, PPCs)的发生率^[3-6]。因此对膈肌功能的监测不仅有助于进行及时临床干预,还能进一步预防膈肌功能损伤相关并发症的发生。目前评价膈肌功能的方法很多,如跨膈压、肺功能、X线、CT及MRI等^[7],相较于前述方法,超声无创、简单且更能为患者所接受,同时超声可实时观察膈肌形态及运动情况,监测患者膈肌功能^[8-9]。目前常用超声评估膈肌功能指标包括平静呼吸时膈肌移动度(diaphragmatic excursion during quiet breathing, DE-QB)、深呼吸时膈肌移动度(diaphragmatic excursion during deep breathing, DE-DB)、膈肌厚度(diaphragm thickness, DT)、膈肌增厚分数(thickening fraction of diaphragm, TFdi)、

TFdi-浅快呼吸指数(rapid shallow breathing index, RSBI)和DE-RSBI^[10],但膈肌移动度(diaphragmatic excursion, DE)和TFdi更能反映膈肌收缩能力,同时也被认为与膈肌功能评估的金标准跨膈压高度相关^[11]。本研究选取DE-QB、DE-DB和TFdi评估其与PPCs发生的关系。拟通过超声测量三种膈肌功能指标,进而比较其在围术期预测PPCs方面的应用价值,通过Lasso-Logistic回归分析建立PPCs的预测模型,并与单一膈肌功能指标进行对比,以期为临床工作提供一定参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

1.1.1 研究对象

选取2022年4月至12月在西南医科大学附属医院全麻下行腹部大手术患者154例,其中男70

例,女 84 例,19~85 岁,平均(59±15)岁。根据有无 PPCs 分为 n-PPCs 组($n=106$)和 PPCs 组($n=48$)。同时以 3 种膈肌功能指标受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线最佳界值分为 PPCs 高风险组和 PPCs 低风险组,依据术后 DE-OB 的 ROC 曲线最佳界值分组,得出 PPCs 高风险组 55 例,PPCs 高风险组肺部并发症发生率为 62%,PPCs 低风险组肺部并发症期望发生率为 20%。设定样本率差的双侧置信区间宽度为 0.28,计算得出 PPCs 低风险组样本量为 76 例。考虑到 20%的脱落率,最终确定 PPCs 低风险组的样本量最少需要 92 例。

本研究经西南医科大学附属医院伦理委员会批准(KY2022089 号),并在中国临床试验注册中心注册(ChiCTR2200055735)。在术前就诊期间均获得所有研究对象书面知情同意。

1.1.2 纳入标准与排除标准

纳入标准:①年龄 ≥ 18 岁;②美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists, ASA)分级 I~III 级;③预计手术时间 ≥ 3 h;④术前无合并神经肌肉疾病;⑤未行放化疗或其他可能影响膈肌功能的治疗;⑥计划术后 12 h 内可拔除气管插管。排除标准:①术前出现肺部感染、肺不张、呼吸衰竭及急性呼吸窘迫综合征等肺部并发症;②神经肌肉疾病史;③合并严重心肺疾病;④体质量指数(body mass index, BMI) >30 ;⑤正在怀孕或哺乳期;⑥既往行损伤膈神经或者膈肌相关手术史;⑦严重皮下气肿;⑧无法配合呼吸行膈肌超声检查;⑨超声测量时 VAS 评分 >3 分。

1.2 方法

1.2.1 麻醉方法

麻醉诱导使用异丙酚 1.5~2 mg/kg,舒芬太尼 0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和罗库溴铵 0.6 mg/kg,到达适宜的麻醉深度后可视喉镜下行气管插管。气管导管男性 7.5 号,女性 7.0 号。所有患者均采用容量控制模式进行机械通气(呼吸参数设置:潮气量 6~8 mL/kg 预测体质量,呼吸频率 12~16 次/min,吸呼比 1:2,维持呼气末二氧化碳分压在 35~45 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)。手术开始前在超声引导下经桡动脉穿刺置管。术中持续吸入 2%~3%七氟醚,静脉输注瑞芬太尼 0.1~0.2 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{min})$ 维持麻醉,氧流量 2 L/min。采用脑电双谱指数(bispectral index, BIS)监测麻醉深度,保持 BIS 指数在 40~60 之间。

术中间断给予罗库溴铵以维持 TOF 计数 ≤ 2 。脉搏氧饱和度维持在 98%~100%,平均动脉压维持在基础值 $\pm 20\%$,同时监测心率、体温。预计手术结束前 30 min 停止追加肌松药,术毕 TOF 计数=4,无药物禁忌情况下均给予新斯的明 0.02~0.05 mg/kg 以及阿托品 0.01~0.025 mg/kg 拮抗残余肌松^[12]。主管麻醉医师根据患者意识、肌力、呼吸恢复情况在手术室内拔管。拔管后送入 PACU 观察至少 30 min,待患者 Steward 评分达到 5 分后送回病房。

1.2.2 术后镇痛

采用多模式镇痛,全麻诱导前行超声引导下双侧腰方肌阻滞(Q2 入路:即经后内侧入路行 L2 水平腰方肌阻滞),同时复合 PCIA,镇痛泵配方为:舒芬太尼 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$,格拉司琼 9 mg,酮咯酸氨丁三醇 60 mg 加生理盐水至 150 mL。给药方案:负荷剂量 2 mL,维持剂量 2 mL/h,自控剂量每次 0.5 mL,锁时 15 min。采用 NRS 数值评分量表(0=无疼痛;10=最严重的疼痛)评估术后静息和运动疼痛。当运动疼痛评分 >3 分时,给予额外静脉注射酮咯酸氨丁三醇 30 mg,以保证患者术后膈肌超声测量时 NRS 评分 ≤ 3 分,从而尽量避免患者因疼痛影响测量结果。

1.2.3 膈肌超声测量

由一名训练有素、有 3 年执业经验且对患者病情及手术经过不知情的麻醉医师进行膈肌功能评估。使用迈瑞 TE8 床旁超声机,分别于术前、术后 24 h 测量膈肌移动度(diaphragmatic excursion, DE)和膈肌增厚分数(fraction of diaphragm thickening, TFdi)。DE 测量方法依据参考文献[13]:嘱患者平卧位,将凸阵探头放置于右侧肋弓下缘,朝头侧方向下压,可获取膈顶切面,选择 M 型超声,将采样线垂直于膈肌,嘱患者平静呼吸并测量 DE-QB,再嘱患者做深呼吸(经鼻缓慢吸入空气,直到腹部微微鼓胀,屏气 1~2s 后缩唇慢慢吐出肺内气体),测量 DE-DB 并记录,见图 1。TFdi 测量方法:将线阵探头置于右侧腋中线 8~10 肋间隙,探头垂直于肋间隙放置,选择 M 型超声,嘱患者用力呼吸(方法如前),可测量膈肌外侧(Zone 区)吸气末膈肌厚度和呼气末膈肌厚度。TFdi=(吸气末的膈肌厚度-呼气末的膈肌厚度)/呼气末的膈肌厚度 $\times 100\%$ ^[14-15],见图 2。进行膈肌超声测量时,为减少测量误差,通过测量 3 个连续的呼吸周期,取其均值进行计算。

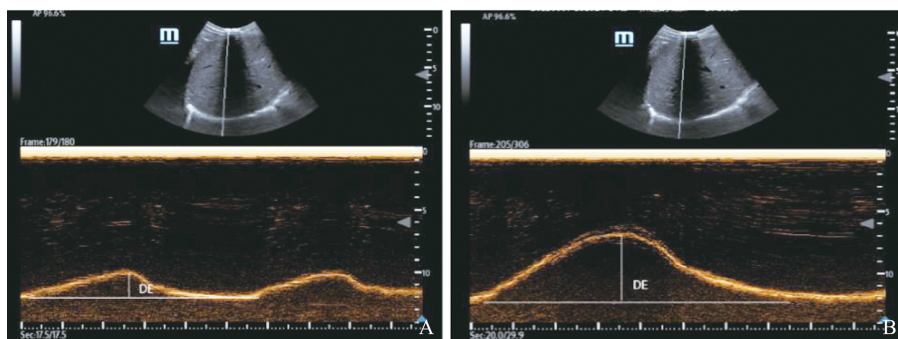


图1 DE测量方法,波峰与波谷之间垂直距

A:平静呼吸;B:用力呼吸。

Figure 1 DE measurement method, vertical distance between wave crest and trough

A: quiet-breathing; B: deep-breathing.

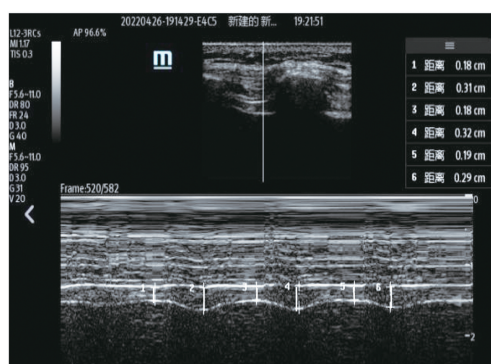


图2 膈肌厚度和增厚分数测量方法(1,3,5表示呼气末膈肌厚度;2,4,6表示吸气末膈肌厚度)

Figure 2 Measurement methods for diaphragm thickness and thickening fraction(1,3,5 represent end-expiratory diaphragm thickness; 2,4,6 represent end-inspiratory diaphragm thickness)

1.2.4 资料收集

一般资料收集:包括年龄、性别、体质量指数(BMI)、吸烟史、术前血清白蛋白、术前血红蛋白、术前合并症;手术资料:手术部位、手术时间、出血量;膈肌超声指标:术前及术后24 h DE-QB、DE-DB、TFdi;术后资料:术后1~7 d肺部并发症及术后住院天数。

1.2.5 肺部并发症诊断标准

根据2015年欧洲围术期临床结局(European perioperative clinical outcome, EPCO)标准^[16],其中包括:①急性呼吸衰竭(吸空气时, $\text{PaO}_2 < 60 \text{ mmHg}$,氧合指数 $< 300 \text{ mmHg}$,或 $\text{SaO}_2 < 90\%$,需要氧疗);②肺部感染(怀疑肺部感染接受抗生素治疗同时至少满足以下1条:新出现痰或者性状改变,胸片或胸部CT提示新出现肺部渗出或者增多,体温 $> 38.3 \text{ }^\circ\text{C}$,白细胞数 $> 12.0 \times 10^9/\text{L}$);③支气管痉挛(新发展的呼气性喘息,需要用支气管扩张剂治疗);④胸腔积液(站立时X线胸片显示肋间角变圆钝,同侧横膈边缘模糊,周围解剖结构出现移位或者侧卧位一侧

胸部通亮度减低,保留肺血管纹理);⑤肺不张(在胸片或胸部CT上见肺实变且伴肺门、纵隔向患侧移位,同时健侧肺代偿性过度通气);⑥气胸(胸片或胸部CT见胸膜腔积气,脏层胸膜周围无血管床)。

1.3 统计学处理

采用SPSS 26.0、Medcalc 20.022及R-4.1.2分析数据。连续性变量通过Kolmogorov-Smirnov检验数据正态性分布,符合正态分布以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用成组 t 检验;偏态分布以中位数和四分位数 $Md(P_{25}, P_{75})$ 表示,组间比较采用Mann-Whitney U 检验。计数资料以例数(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验或Fisher精确检验。对3种膈肌超声指标绘制的ROC曲线,并计算曲线下面积(area under the curve, AUC)和确定最佳界值。通过Spearman相关分析相关性。采用单因素方差分析进行变量筛选,将筛选出的变量进行Lasso回归,通过10折交叉验证选取lambda.min作为最佳 λ 值以保证拟合度的同时纳入最少变量,并评估所构建模型的稳定性。根据Logistic回归模型的结果,进一步生成列线图并绘制ROC曲线,计算模型ROC曲线下面积(AUC),评估预测模型在PPCs中的预测价值, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本资料比较

初步纳入患者163例,其中超声图像不清2例,皮下气肿2例,未完成术后超声评估5例,最终纳入患者154例。术后肺部并发症48例,发生率31.2%,PPCs主要类型为胸腔积液(67.3%),肺部感染(51%),肺不张(36.7%)和急性呼吸衰竭(16.3%)等,严重程度为Clavien-Dindo分级^[19]

II~III级。两组患者手术部位、性别、BMI、ASA 分级、术前血红蛋白、术前白蛋白、出血量差异无统计

学意义 ($P>0.05$), 年龄、吸烟、手术时间、术后住院时间差异有统计学意义 ($P<0.05$), 见表 1。

表 1 两组患者一般情况比较

Table 1 Comparison of the general conditions of patients in the two groups

指标	PPCs 组 ($n=48$)	n-PPCs 组 ($n=106$)	$t/Z/\chi^2$	P
手术部位/ n (%)			7.002	0.064
肝胆胰脾术	18(37.5)	23(21.7)		
胃切除术	8(16.7)	13(12.3)		
结直肠术	19(39.6)	52(49.1)		
其他	3(6.3)	18(17.0)		
性别/ n (%)			0.581	0.446
男	24(50.0)	46(43.4)		
女	24(50.0)	60(56.6)		
年龄/岁	64(53, 77)	52(41, 60)	-2.988	0.003
BMI	23.5±3.7	23.1±3.5	-0.583	0.561
ASA 分级/ n (%)			5.944	0.051
I 级	3(6.3)	23(21.7)		
II 级	31(64.6)	61(57.5)		
III 级	14(29.2)	22(20.8)		
血红蛋白/(g/L)	117(107, 131)	126(117, 134)	-1.918	0.055
白蛋白/(g/L)	39.6±4.6	40.5±3.9	1.351	0.179
吸烟史/ n (%)	24(50.0)	31(29.2)	6.199 ^a	0.013
手术时间/min	255(193, 328)	195(115, 255)	-3.742	<0.001
术后住院天数/d	11(9, 15)	8(7, 11)	-5.884	<0.001
失血量/mL	125(50, 300)	200(100, 375)	-0.492	0.063
PPCs 类型/ n (%)				
急性呼吸衰竭	8(16.7)	—	—	—
肺部感染	25(52.0)	—	—	—
胸腔积液	33(68.7)	—	—	—
肺不张	18(37.5)	—	—	—
支气管痉挛	3(6.3)	—	—	—

2.2 两组患者不同膈肌功能指标比较

两组患者术前 DE-QB、DE-DB、TFdi 差异无统计学意义 ($P>0.05$), PPCs 组术后 DE-QB、DE-DB、TFdi 值均低于 n-PPCs 组, 差异均有统计学意义

($P<0.05$); 组间比较, 两组患者术后 24 h DE-QB、DE-DB、TFd 均较术前下降, 差异有统计学意义 ($P<0.001$), 见表 2。

表 2 两组患者不同膈肌功能指标比较

Table 2 Comparison of different indicators of diaphragm function between the two groups of patients

组别	术前			术后		
	DE-QB/cm	DE-DB/cm	TFdi	DE-QB/cm	DE-DB/cm	TFdi
n-PPCs 组	1.61(1.32, 1.94)	4.95(4.20, 6.22)	0.93(0.67, 1.91)	1.36(1.10, 1.73)	3.39(2.36, 4.35)	0.36(0.20, 0.58)
PPCs 组	1.47(1.19, 1.82)	4.65(3.52, 5.92)	0.97(0.65, 1.35)	0.80(0.70, 2.23)	1.82(1.21, 2.51)	0.17(0.11, 0.32)
P	0.057	0.135	0.95	<0.001	<0.001	<0.001

2.3 不同膈肌功能指标下术后肺部并发症 ROC 曲线分析

术后 DE-QB、DE-DB、TFdi 评估 PPCs 时, ROC 曲线最佳界值分别为: 0.93 cm、2.41 cm、0.23, AUC 分别为: 0.780(95% CI: 0.706~0.843)、0.779(95% CI: 0.705~0.842)、0.713(95% CI: 0.635~0.783)。

3 种膈肌功能指标 ROC 曲线的 AUC 比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。

2.4 PPCs 高风险组和 PPCs 低风险组 PPCs 发生率比较

通过术后 DE-QB、DE-DB 和 TFdi 的 ROC 曲线最佳界值分别将患者分为 PPCs 高风险组和 PPCs

低风险组,以术后 DE-QB 区分时,PPCs 高风险组(术后 DE-QB ≤ 0.93 cm)肺部并发症发生率高于 PPCs 低风险组(术后 DE-QB > 0.93 cm),差异有统计学意义($P < 0.05$)。以术后 DE-DB 区分时,PPCs 高风险组(术后 DE-DB ≤ 2.41 cm)肺部并发症发生

率高于 PPCs 低风险组(术后 DE-DB > 2.41 cm),差异有统计学意义($P < 0.05$)。以 TFdi (术后)区分时,PPCs 高风险组(术后 TFdi ≤ 0.23)肺部并发症发生率高于 PPCs 低风险组(术后 TFdi > 0.23),差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 3。

表 3 PPCs 高风险组和低风险组 PPCs 发生率比较/ n (%)

Table 3 Comparison of the incidence of PPCs between high-risk and low-risk groups for PPCs/ n (%)

指标	组别	最佳界值	例数	PPCs/ n (%)	χ^2	P
术后 DE-QB	PPCs 低风险组	> 0.93 cm	99	14(14.1)	37.461	< 0.001
	PPCs 高风险组	≤ 0.93 cm	55	34(61.8)		
术后 DE-DB	PPCs 低风险组	> 2.41 cm	90	12(13.3)	32.111	< 0.001
	PPCs 高风险组	≤ 2.41 cm	64	36(56.2)		
术后 TFdi	PPCs 低风险组	> 0.23	91	15(16.4)	22.361	< 0.001
	PPCs 高风险组	≤ 0.23	63	33(52.5)		

2.5 3种膈肌功能指标相关性分析

相关性分析表明,术后 DE-QB 与术后 DE-DB ($r_s = 0.733, P < 0.001$)、术后 DE-QB 与术后 TFdi

($r_s = 0.437, P < 0.001$)、术后 DE-QB 与术后 TFdi ($r_s = 0.575, P < 0.001$)均呈正相关,见图 3。

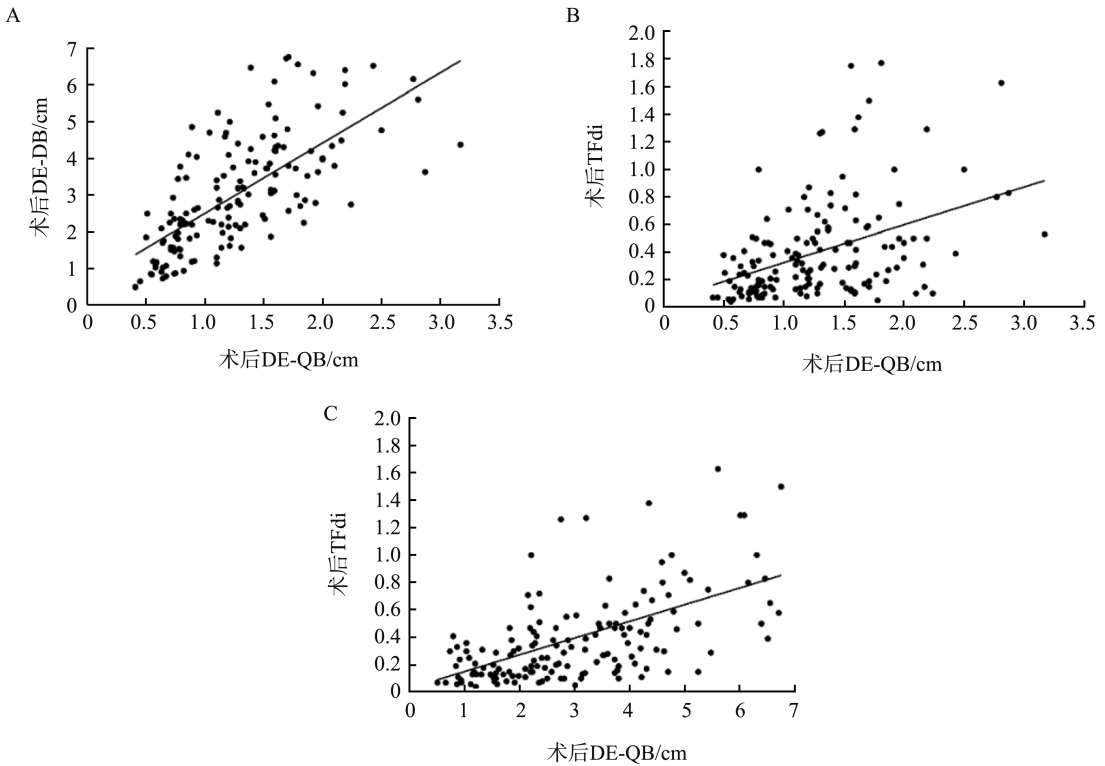


图 3 3种膈肌功能指标相关性分析

A: 术后 DE-QB 与 DE-DB 相关性分析; B: 术后 DE-QB 与 TFdi 相关性分析; C: 术后 DE-DB 与 TFdi 相关性分析。

Figure 3 Correlation analysis of three diaphragm function indicators

A: Correlation analysis between postoperative DE-QB and postoperative DE-DB; B: Correlation analysis between postoperative DE-QB and postoperative TFdi; C: Correlation analysis between postoperative DE-DB and postoperative TFdi.

2.6 Lasso-logistic 回归预测模型的构建

根据单因素分析初步筛选出年龄、吸烟史、手术时间、术后 DE-QB、术后 DE-DB 和术后 TFdi 在 PPCs 组和 n-PPCs 组之间差异有统计学意义($P < 0.05$)。将以上变量纳入 Lasso 回归得到回归方程为 Logit $P = 1.611 + 0.046 \times$ 年龄(岁) $+ 1.153 \times$ 吸烟史

$+ 0.003 \times$ 手术时间(min) $- 1.760 \times$ 术后 DE-QB $- 0.411 \times$ 术后 DE-DB, 见图 4、5。通过 10 折交叉验证法得到预测模型准确率为 0.79, Kappa 值为 0.49, 其中年龄、吸烟史和术后 DE-QB 是该模型重要预测因素,见图 6。基于上述 Lasso-logistic 预测模型, AUC 为 0.851(95% CI: 0.784~0.903), 见图 7。

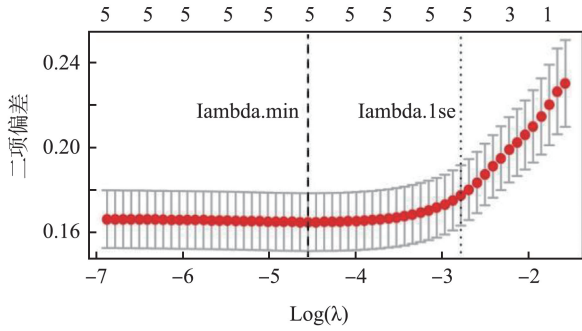


图4 Log(λ) 值与模型误差 (lambda.min:模型误差最小时的λ值;lambda.1se:模型误差一个标准误差范围内的λ值)
 Figure 4 Log(λ) value and model error (lambda.min: the value of λ when the model error is the smallest; lambda.1se: the value of λ when the model error is within one standard error)

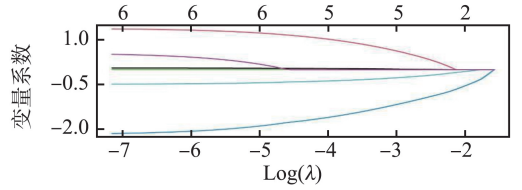


图5 Log(λ) 值与 Lasso 回归系数
 Figure 5 Log(λ) values and Lasso regression coefficients

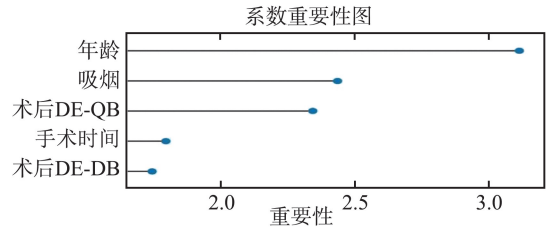


图6 逻辑回归重要性图
 Figure 6 Logistic regression importance chart

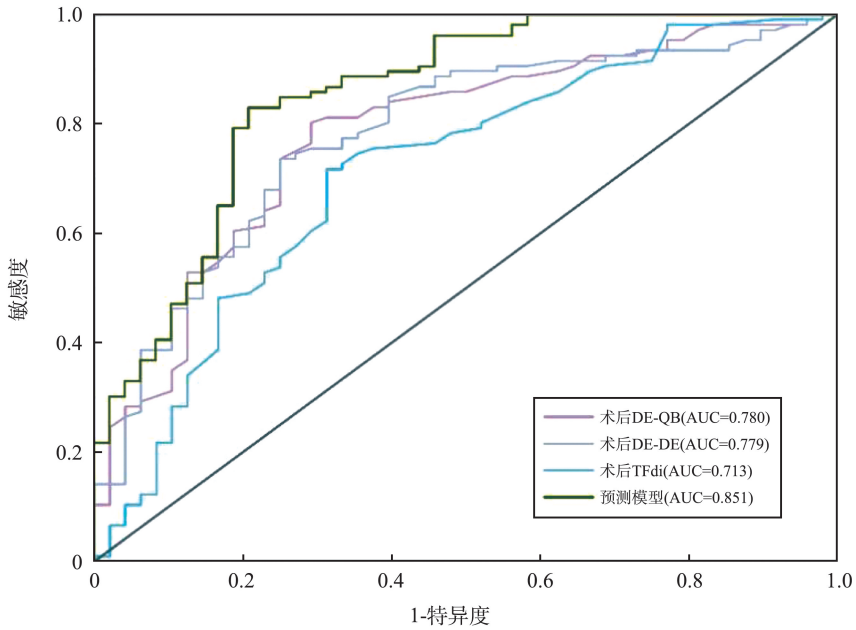
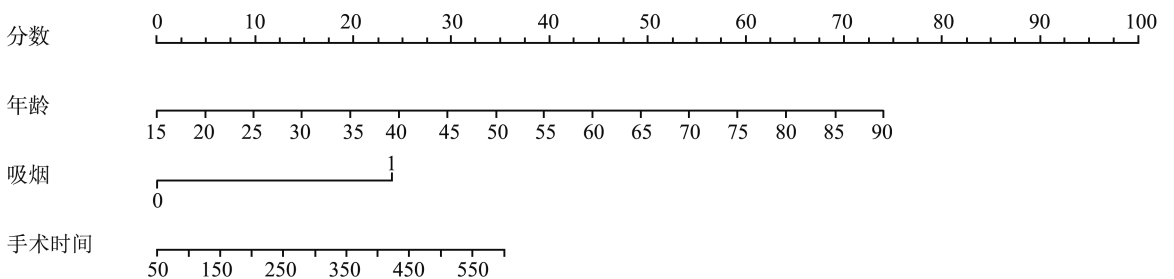


图7 预测模型的 ROC 曲线
 Figure 7 ROC curve of the predictive model

2.7 列线图预测模型的构建

根据 Lasso-logistic 回归分析结果, 纳入年龄、吸烟史、手术时间、术后 DE-QB 和术后 DE-DB 对模型进行可视化, 构建预测 PPCs 列线图模型, nomo

图显示, 年龄越大、手术时间越长、吸烟、术后 DE-QB 和 DE-DB 值越低, PPCs 风险越高。通过读取每个变量的得分, 然后将总分映射到“预测概率”轴上, 估算患者的 PPCs 风险, 见图 8。



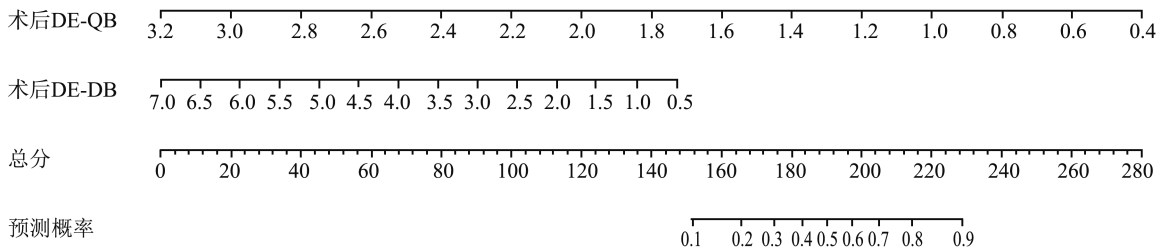


图8 PPCs 预测列线图模型

Figure 8 Prediction nomogram model

3 讨论

超声是临床上一种常用于评估膈肌功能障碍的方法,相对于传统评估膈肌功能方法,床旁超声具有无创、便捷、重复性好,经济无辐射等优势^[18],同时其在监测膈肌厚度变化率和移动度方面更加的简便易行且可重复性更高^[19-20]。膈肌作为最主要的呼吸肌,在呼吸过程中起着主导作用。由于解剖差异,左侧膈肌下方靠近胃,胃内气体常对膈肌超声图像造成干扰,使左侧膈肌显示相对困难^[21]。有研究表明,在仅考虑存在单侧膈肌麻痹时才有必要进行双侧膈肌超声检查^[10,15]。因此,本研究仅评估了右侧膈肌运动情况。

本研究结果表明,术前两组膈肌功能指标无差异,而 PPCs 组膈肌功能指标(DE-QB, DE-DB, TFdi)较 n-PPCs 组在术后均表现出一定程度的下降。表明术后膈肌超声功能指标的变化与 PPCs 可能存在一定的关系,既往研究指出,膈肌超声功能指标 TFdi/DE 可预测 PPCs 发生率^[13,22-23]。因此本研究对 3 种术后膈肌超声功能指标评估 PPCs 的临床效能分别进行了 ROC 曲线分析,在通过 DE-QB(术后)评估肺部并发症时,最佳界值为 0.93 cm,与 Spadaro 等^[13]研究(DE-QB<1 cm)基本一致。在通过术后 DE-DB 评估 PPCs 时,最佳界值为 2.41 cm。在通过术后 TFdi 评估 PPCs 时,最佳界值为 0.23,与 Cavayas 等^[23]研究结果(TFdi<0.38)不一致,分析其原因可能为: Cavayas 等研究与本研究手术类型不同,且使用的是术前 TFdi,从而导致上述差异。本研究通过术后 DE-QB、术后 DE-DB 和术后 TFdi 的 ROC 曲线最佳界值将患者分为 PPCs 高风险组和 PPCs 低风险组,通过两组 PPCs 发生率比较,发现 3 种膈肌功能指标下 PPCs 高风险组肺部并发症发生率明显高于 PPCs 低风险组,上述结果表明,3 种术后膈肌功能指标均在一定程度上与 PPCs 发生相关。通过对 ROC 曲线下面积(AUC)的比较,未发

现 3 种术后膈肌功能指标在评估 PPCs 的临床效能上存在统计学差异。相关性分析也表明术后 DE-QB、术后 DE-DB 和术后 TFdi 三者间存在明显相关。故上述结果表明,3 种膈肌功能指标在评估 PPCs 的临床价值上可能无明显差异。既往研究表明,相较于膈肌移动度,膈肌厚度及膈肌增厚分数的测量变异性更大^[24-25]。本研究结果表明,TFdi 在评估 PPCs 发生率的曲线下面积的绝对值上劣于 DE,同时, Lasso 回归模型表明 TFdi 在预测模型中的价值低于 DE,由此可见,3 种膈肌功能指标单独用于评估 PPCs 的临床价值上可能相差不大,但在临床实践中通过测量 DE 对 PPCs 的评估可能更具临床实用性,同时,本研究结果表明,通过 Lasso-Logistic 回归建立的预测模型相较于单一膈肌功能指标可以更好地预测 PPCs 的发生率。

Lasso-Logistic 回归分析表明年龄、吸烟史和手术时间均为 PPCs 危险因素,其中年龄占据较大影响因素。多项研究表明,年龄是围手术期肺部并发症风险的重要独立预测因素。由于老年患者存在小气道萎陷、胸壁及肺顺应性下降、膈肌强度降低、呼吸肌群收缩力减弱等解剖及生理功能改变,且时常伴随有膈肌萎缩、老化以及肌肉减少症,故全麻后老年患者术后膈肌功能障碍发生率不可避免的增高^[26-27]。既往研究也表明,吸烟史、手术时间长和高龄是 PPCs 发生的危险因素^[28-29]。吸烟可引起气道炎症,降低患者咳嗽排痰能力,同时吸烟也可能导致膈肌细胞凋亡过度激活,从而影响膈肌功能^[30]。长时间的全身麻醉可能影响麻醉药物代谢及神经肌肉的敏感性,从而导致术后膈肌功能恢复延迟^[31]。本研究所有患者均为 CO₂ 气腹下行腹腔镜手术,研究表明长时间的 CO₂ 气腹可导致膈肌形态和功能损害^[32],因此对有吸烟史、长手术时间及高龄患者行腹腔镜手术时,及时进行膈肌功能监测,有利于筛查 PPCs 高危人群,进而利于进行早期相应的干预如围手术期呼吸功能锻炼等,从而改善患者膈肌功能状态以减少 PPCs 发生,进一步减少术后住院时

间及改善患者近期愈后^[33-34]。

本研究尚存在一定局限性:第一,本研究仅限于腹部腔镜手术,对于其他部位手术及不同手术方式结果可能会存在差异。第二,本研究的腹部手术没有局限于单一病种,而不同手术对患者膈肌功能影响程度可能有偏差,导致研究结果产生偏倚。第三,本研究膈肌超声测量仅由一人完成,因此无法通过一致性检验评判3种膈肌功能指标中哪种膈肌功能指标在临床实际应用中的结果更稳定。第四,本研究纳入人群年龄范围较大,而交叉验证的重要性图结果表明年龄在PPCs的预测中极为重要,因此未来相关研究应做好年龄分层以进一步优化膈肌超声功能指标在评估PPCs中的应用价值。最后,这是一项小样本的单中心研究,未来需要更大规模的多中心研究来进一步验证不同膈肌超声功能指标在评估PPCs中的价值。

综上所述,术后DE-QB、术后DE-DB和术后TFdi单独使用均能在一定程度上预测PPCs的发生,通过Lasso回归分析所构建的预测模型对预测PPCs的发生优于单一膈肌功能指标。同时对有吸烟史、年龄偏大以及长手术时间的患者,应该及时进行干预从而减少PPCs发生率,减少术后住院时间并改善患者近期愈后。

参考文献:

- [1] Patel Z, Franz CK, Bharat A, et al. Diaphragm and phrenic nerve ultrasound in COVID-19 patients and beyond: imaging technique, findings, and clinical applications[J]. *J Ultrasound Med*, 2022, 41(2): 285-299.
- [2] 陈颖, 易杰. 膈肌超声在麻醉管理中的应用进展[J]. *中国医学科学院学报*, 2022, 44(5): 891-898.
CHEN Ying, YI Jie. Advances of diaphragm ultrasound in anesthesia management [J]. *Academiae Medicinae Sinicae*, 2022, 44(5): 891-898.
- [3] Huang YT, Lin YJ, Hung CH, et al. The fully engaged inspiratory muscle training reduces postoperative pulmonary complications rate and increased respiratory muscle function in patients with upper abdominal surgery: a randomized controlled trial[J]. *Ann Med*, 2022, 54(1): 2222-2232.
- [4] Kim SH, Na S, Choi JS, et al. An evaluation of diaphragmatic movement by M-mode sonography as a predictor of pulmonary dysfunction after upper abdominal surgery[J]. *Anesth Analg*, 2010, 110(5): 1349-1354.
- [5] Laghnam D, Naudin C, Srour A, et al. Persistent diaphragm dysfunction after cardiac surgery is associated with adverse respiratory outcomes: a prospective observational ultrasound study[J]. *Can J Anaesth*, 2023, 70(2): 228-236.
- [6] 岳红, 王小文, 李林峻, 等. 膈肌移动度与肺切除术后肺部并发症及近期预后的关系[J]. *临床超声医学杂志*, 2021, 23(4): 276-279.
YUE Hong, WANG Xiaowen, LI Linjun, et al. Relationship between diaphragmatic excursion and pulmonary complications and short-term prognosis after pneumonectomy [J]. *Journal of Clinical Ultrasound in Medicine*, 2021, 23(4): 276-279.
- [7] Laghi FA, Saad M, Shaikh H. Ultrasound and non-ultrasound imaging techniques in the assessment of diaphragmatic dysfunction[J]. *BMC Pulm Med*, 2021, 21(1): 85.
- [8] Kilaru D, Panebianco N, Baston C. Diaphragm ultrasound in weaning from mechanical ventilation[J]. *Chest*, 2021, 159(3): 1166-1172.
- [9] Boon AJ, Sekiguchi H, Harper CJ, et al. Sensitivity and specificity of diagnostic ultrasound in the diagnosis of phrenic neuropathy [J]. *Neurology*, 2014, 83(14): 1264-1270.
- [10] Haaksma ME, Smit JM, Boussuges A, et al. Expert consensus On Diaphragm UltraSonography in the critically ill (EXODUS): a Delphi consensus statement on the measurement of diaphragm ultrasound-derived parameters in a critical care setting[J]. *Crit Care*, 2022, 26(1): 99.
- [11] 陈梦, 王白冰, 王丹丹, 等. 超声评估膈肌功能的应用进展[J]. *临床超声医学杂志*, 2022, 24(5): 378-381.
CHEN Meng, WANG Baibing, WANG Dandan, et al. Application progress of ultrasound evaluation of diaphragm function. [J]. *Journal of Clinical Ultrasound in Medicine*, 2022, 24(5): 378-381.
- [12] Thilen SR, Weigel WA, Todd MM, et al. 2023 American society of anesthesiologists practice guidelines for monitoring and antagonism of neuromuscular blockade: a report by the American society of anesthesiologists task force on neuromuscular blockade [J]. *Anesthesiology*, 2023, 138(1): 13-41.
- [13] Spadaro S, Grasso S, Dres M, et al. Point of care ultrasound to identify diaphragmatic dysfunction after thoracic surgery[J]. *Anesthesiology*, 2019, 131(2): 266-278.
- [14] Goligher EC, Dres M, Fan E, et al. Mechanical ventilation-induced diaphragm atrophy strongly impacts clinical outcomes[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2018, 197(2): 204-213.
- [15] Summerhill EM, El-Sameed YA, Glidden TJ, et al. Monitoring recovery from diaphragm paralysis with ultrasound[J]. *Chest*, 2008, 133(3): 737-743.

- [16] Jammer I, Wickboldt N, Sander M, et al. Standards for definitions and use of outcome measures for clinical effectiveness research in perioperative medicine: European perioperative clinical outcome (EPCO) definitions: a statement from the ESA-ESICM joint taskforce on perioperative outcome measures [J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2015, 32(2): 88-105.
- [17] Katayama H, Kurokawa Y, Nakamura K, et al. Extended Clavien-Dindo classification of surgical complications; Japan clinical oncology group postoperative complications criteria[J]. *Surg Today*, 2016, 46(6): 668-685.
- [18] Corbellini C, Boussuges A, Villafañe JH, et al. Diaphragmatic mobility loss in subjects with moderate to very severe COPD may improve after in-patient pulmonary rehabilitation [J]. *Respir Care*, 2018, 63(10): 1271-1280.
- [19] Dubé BP, Dres M, Mayaux J, et al. Ultrasound evaluation of diaphragm function in mechanically ventilated patients; comparison to phrenic stimulation and prognostic implications[J]. *Thorax*, 2017, 72(9): 811-818.
- [20] Goligher EC, Laghi F, Detsky ME, et al. Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients: feasibility, reproducibility and validity [J]. *Intensive Care Med*, 2015, 41(4): 734.
- [21] Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values [J]. *Chest*, 2009, 135(2): 391-400.
- [22] 曹延祥, 刘朝阳, 程芮. 老年肝胆外科手术患者术后肺部并发症与膈肌功能的相关性[J]. *中华老年多器官疾病杂志*, 2023, 22(2): 110-113.
CAO Yanxiang, LIU Chaoyang, CHENG Rui. Correlation between postoperative pulmonary complications and diaphragm function in elderly patients undergoing hepatobiliary surgery [J]. *Chinese Journal of Multiple Organ Diseases in the Elderly*, 2023, 22(2): 110-113.
- [23] Cavayas YA, Eljaiek R, Rodrigue É, et al. Preoperative diaphragm function is associated with postoperative pulmonary complications after cardiac surgery[J]. *Crit Care Med*, 2019, 47(12): e966-e974.
- [24] Poulard T, Bachasson D, Fossé Q, et al. Poor correlation between diaphragm thickening fraction and transdiaphragmatic pressure in mechanically ventilated patients and healthy subjects [J]. *Anesthesiology*, 2022, 136(1): 162-175.
- [25] Tralhão A, Cavaleiro P, Arrigo M, et al. Early changes in diaphragmatic function evaluated using ultrasound in cardiac surgery patients: a cohort study[J]. *J Clin Monit Comput*, 2020, 34(3): 559-566.
- [26] Ticinesi A, Meschi T, Narici MV, et al. Muscle ultrasound and sarcopenia in older individuals; a clinical perspective [J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2017, 18(4): 290-300.
- [27] Bordoni B, Morabito B, Simonelli M. Ageing of the diaphragm muscle[J]. *Cureus*, 2020, 12(1): e6645.
- [28] Kokotovic D, Degett TH, Ekeloef S, et al. The ARISCAT score is a promising model to predict postoperative pulmonary complications after major emergency abdominal surgery: an external validation in a Danish cohort[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2022, 48(5): 3863-3867.
- [29] 王芳, 朱晓素, 王丽华. 胃癌术后患者肺部并发症风险预测 logistic 回归模型的建立[J]. *中国医药导报*, 2023, 20(5): 116-119.
WANG Fang, ZHU Xiaosu, WANG Lihua. Establishment of logistic regression model for predicting the risk of pulmonary complications in patients with gastric cancer after operation[J]. *China Medical Herald*, 2023, 20(5): 116-119.
- [30] 任慧敏, 韩树池, 薛乾隆, 等. 内质网应激在吸烟 COPD 模型小鼠膈肌细胞凋亡中的作用及机制研究[J]. *中国免疫学杂志*, 2023, 39(1): 22-26.
REN Huimin, HAN Shuchi, XUE Qianlong, et al. Effect and mechanism of endoplasmic reticulum stress in apoptosis of diaphragm cells in smoking induced COPD model mice [J]. *Chinese Journal of Immunology*, 2023, 39(1): 22-26.
- [31] 曹雁, 陈雪, 刘胡青, 等. Aldrete 评分、Steward 评分、OAA/S 评分在日间胸腔镜手术全麻术后苏醒的应用价值对比[J]. *国际麻醉学与复苏杂志*, 2022, 43(9): 944-949.
CAO Yan, CHEN Xue, LIUHUqing, et al. Comparison of the application value of aldrete score, steward score, and observer's assessment of alertness/sedation score in recovery after daytime thoracoscopic surgery under general anesthesia [J]. *Journal of Anesthesia and Resuscitation*, 2022, 43(9): 944-949.
- [32] Kim K, Jang DM, Park JY, et al. Changes of diaphragmatic excursion and lung compliance during major laparoscopic pelvic surgery: a prospective observational study [J]. *PLoS One*, 2018, 13(11): e0207841.
- [33] Daniel M, Lang E, Huynh TM, et al. Prevalence and time-course of diaphragmatic dysfunction following lung resection: a repeated ultrasonic assessment[J]. *Anaesth Crit Care Pain Med*, 2022, 41(2): 101024.
- [34] Boden I, Skinner EH, Browning L, et al. Preoperative physiotherapy for the prevention of respiratory complications after upper abdominal surgery: pragmatic, double blinded, multicentre randomised controlled trial [J]. *Bmj*, 2018, 360: j5916. doi:10.1136/bmj.j5916.