

• 论著—临床研究 •

ICU 呼吸衰竭机械通气患者重症超声膈肌定量参数特点及对撤机结局的预测价值*

黄翔¹ 陆芳洁¹ 吕强² 张丽雯¹ 王忆梅¹ 任义¹

[摘要] 目的:探讨重症超声膈肌定量参数对呼吸衰竭患者撤机结局的预测价值。方法:选取 2018 年 1 月—2022 年 6 月于我院 ICU 接受机械通气(mechanical ventilation, MV)治疗的呼吸衰竭患者 214 例,按 7 : 3 比例随机分为训练集和验证集,其中训练集 150 例,依据撤呼吸机情况将训练集数据分为撤机失败组(35 例)和撤机成功组(115 例)。验证集 64 例,其中撤机失败组(16 例)和撤机成功组(48 例)。比较训练集两组患者的一般临床资料,并通过 LASSO 和回归分析筛选危险因素,构建列线图模型,并对模型进行验证。受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析对浅快呼吸指数(rapid shallow breath index, RSBI)、膈肌增厚率(diaphragm thickening fraction, DTF)和膈肌移动度(diaphragmatic excursion, DE)对呼吸衰竭患者撤机结局的预测价值。结果:RSBI、DE、DTF、DE-RSBI、DTF-RSBI 均是呼吸衰竭患者撤机失败的独立预测因素($P < 0.05$)。RSBI、DE、DTF、DE-RSBI、DTF-RSBI 的 AUC 分别为 0.715(95%CI:0.681~0.855)、0.796(95%CI:0.729~0.860)、0.721(95%CI:0.648~0.788)、0.820(95%CI:0.756~0.880)和 0.872(95%CI:0.823~0.920)。结论:膈肌超声定量参数 DT、DTF 联合传统 RSBI 指标可有效精确预测撤机结局,优于传统 RSBI 指标,可作为床旁超声评价呼吸衰竭患者撤机流程的新兴手段。

[关键词] 呼吸衰竭;机械通气;膈肌功能;超声定量参数;撤机;结局预测

DOI:10.13201/j.issn.1009-5918.2023.10.001

[中图分类号] R563.8 [文献标志码] A

Quantitative parameters of phrenic muscle in ICU patients with mechanical ventilation for respiratory failure and their predictive value to the outcome of withdrawal

HUANG Xiang¹ LU Fangjie¹ LV Qiang² ZHANG Liwen¹ WANG Yimei¹ REN Yi¹

(¹Department of Critical Care Medicine, Changshu Hospital of Traditional Chinese Medicine, Changshu, Jiangsu, 215500, China; ²Department of Ultrasound Medicine, Changshu Hospital of Traditional Chinese Medicine)

Corresponding author: REN Yi, E-mail: 5914590743@163.com

Abstract Objective: To explore the prediction of weaning outcome in patients with respiratory failure by quantitative parameters of severe ultrasonic diaphragm. **Methods:** In a prospective study, 214 patients with respiratory failure who were treated with mechanical ventilation(MV) in ICU from January 2018 to June 2022 were randomly divided into training set and verification set according to the proportion of 7 : 3. According to the condition of ventilator withdrawal, the data of the training set were divided into failure group($n=35$) and successful group($n=115$). There were 64 cases in the verification set, including withdrawal failure group($n=16$) and successful withdrawal group($n=48$). The general clinical data of the two groups were compared, and the risk factors were screened by LASSO and logistic regression analysis. A Nomogram model was constructed based on the screened risk factors, and the model was verified. Receiver operating characteristic(ROC) curve was used to analyze the predictive value of rapid shallow breath index(RSBI), diaphragm thickening fraction(DTF) and diaphragmatic excursion(DE) on weaning outcomes in patients with respiratory failure. **Results:** RSBI, DE, DTF, DE-RSBI and DTF-RSBI were independent predictors of weaning failure in patients with respiratory failure($P < 0.05$). The AUC of RSBI, DE, DTF, DE-RSBI and DTF-RSBI was 0.715(95%CI: 0.681—0.855), 0.796(95%CI: 0.729

*基金项目:常熟市中医院青年科研基金项目(No:cszyy201904)

¹常熟市中医院重症医学科(江苏常熟,215500)

²常熟市中医院超声医学科

通信作者:任义, E-mail:5914590743@163.com

引用本文:黄翔,陆芳洁,吕强,等. ICU 呼吸衰竭机械通气患者重症超声膈肌定量参数特点及对撤机结局的预测价值[J]. 临床急诊杂志, 2023, 24(10):499-505. DOI:10.13201/j.issn.1009-5918.2023.10.001.

-0.860), 0.721 (95% CI: 0.648 - 0.788), 0.820 (95% CI: 0.756 - 0.880) and 0.872 (95% CI: 0.823 - 0.920), respectively. **Conclusion:** Diaphragm ultrasound quantitative parameters DT and DTF combined with traditional RSBI index can effectively and accurately predict the outcome of weaning, which is better than traditional RSBI index. It can be used as a new method for bedside ultrasound to evaluate the weaning process of patients with respiratory failure.

Key words respiratory failure; mechanical ventilation; diaphragm function; ultrasound quantitative parameters; withdrawal; outcome prediction

呼吸衰竭患者通常借助机械通气(mechanical ventilation, MV), 保证气道通畅, 从而顺利度过危险期。然而, 约 20% 的 MV 患者在撤离呼吸机时难以从支持呼吸状态转变为自主呼吸, 从而危及生命, 而且这些患者的整体撤机耗时较长^[1]。MV 时间延长会增加胃肠道出血、感染等各种并发症发生风险; 过早停止 MV 会导致低氧血症、心肺压力骤增等症状的发生。有研究报道^[2], 约 25% 的患者需要进行二次插管, 给患者带来极大痛苦。因此, 临床需要具备精确的监测手段, 保证准确把握撤机时机, 降低患者 MV 使用不当造成的不适及相关并发症的发生。以往临床普遍使用的浅快呼吸指数(rapid shallow breath index, RSBI) 仅可反映呼吸肌肉的整体功能, 无法反映膈肌在呼吸中的主导作用^[3]。此外, 经口腔闭气(P0.1)、膈电磁刺激等评价膈肌功能的方法均存在一定程度的床旁实施难度, 导致临床使用受限^[4]。近年来, 越来越多的国内外研究开始探讨通过床旁超声评估膈肌功能。然而, 目前有关膈肌功能定量参数预测脱机的数据仍很少。越来越多的国内外研究开始探讨通过超声评估膈肌功能。本研究基于患者一般临床资料及膈肌增厚率(diaphragm thickening fraction, DTF)和膈肌移动度(diaphragmatic excursion, DE)超声定量参数构建列线图模型, 分析重症超声膈肌定量参数对呼吸衰竭患者撤机结局的预测价值, 为临床研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 临床资料

选取 2018 年 1 月—2022 年 6 月于我院 ICU 接受 MV 治疗的呼吸衰竭患者 214 例, 按 7:3 比例随机分为训练集和验证集, 其中训练集 150 例, 依据撤呼吸机情况将训练集数据分为撤机失败组(35 例)和撤机成功组(115 例)。验证集 64 例, 其中撤机失败组 16 例, 撤机成功组 48 例。

纳入标准: ①符合撤机标准时行自主呼吸试验(spontaneous breathing trial, SBT)筛查; ②经口气管插管通气者; ③于 ICU 接受 MV 治疗且 MV 时间 > 48 h 者。排除标准: ①年龄不满 18 周岁; ②合并神经肌肉相关疾病者; ③入组时已有膈肌功能障碍; ④气胸及纵膈积气者。

1.2 研究方法

1.2.1 撤机标准及 SBT 撤机标准^[5]: ① MV 监护仪呼气末正压通气(PEEP) < 5 cmH₂O

(1 cmH₂O = 0.098 kPa); ②可自主且有力咳嗽; ③氧合指数 > 150 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa)。

SBT^[6]: 患者取半卧位, 在低水平压力支持通气模式下进行 SBT, 设置吸氧浓度为 35%~40%, 压力支持水平为 5~7 cmH₂O, 试验持续 30~60 min。进行 SBT 时, 对于不耐受患者应终止试验; 对于耐受患者, 由主治医师评估其气道保护能力, 明确是否拔管。

SBT 成功标准^[7]: ①收缩压(SBP)改变 < 20%, 心率(HR)改变 < 20%; ②血氧饱和度(SpO₂) ≥ 85%~90%, 氧分压(PaO₂) ≥ 50~60 mmHg, 二氧化碳分压(PaCO₂)增加 ≤ 10 mmHg, pH ≥ 7.32; ③神志清楚, 无出汗, 无感觉不适; ④呼吸频率(RR) ≤ 30~35 次/min 或改变 < 50%。

SBT 失败的标准^[7]: 对于无法耐受 SBT 且在 60 min 内再次给予通气支持的患者判定为 SBT 失败, 不进行数据分析。

撤机成功标准^[8]: 符合 SBT 撤机标准, 拔管或撤机 2 d 内未给予无创或有创呼吸机支持。

1.2.2 超声监测 DE 方法 于 SBT 30 min 时, 床头抬高 30°, 患者仰卧位, 使用彩色多普勒超声仪(M9, 迈瑞, 中国), 将心脏探头(3.5 MHz)置于患者右侧腋前线与肋弓下缘交界处, 在同一呼吸周期内, 最大和最小处膈肌运动位移定义为 DE, 测量 3 次取平均值, 见图 1。膈肌功能障碍定义为任意一侧膈肌随呼吸出现反常运动^[9]。

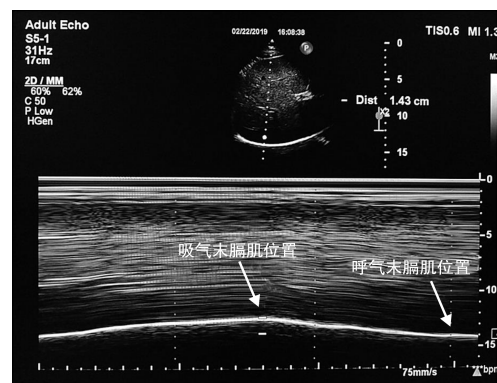


图 1 DE 测量

1.2.3 超声监测 DTF 方法 于 SBT 30 min 时, 患者仰卧位, 床头抬高 30°, 将迈瑞高频血管探头(≥10 MHz)置于患者右侧腋前线与第 8~10 肋间^[10], 可观察到壁层胸膜和腹膜。见图 2。位于 2 条线间的低回声结构即为膈肌。曲样线垂直于胸

膜线和腹膜线,测量 1 个呼吸周期内膈肌的最大、最小厚度,各测量 3 次取平均值,最终 DTF 为呼气、吸气末膈肌厚度差与呼气末膈肌厚度的比值,若 $DTF < 20\%$ 则为膈肌功能障碍^[11]。

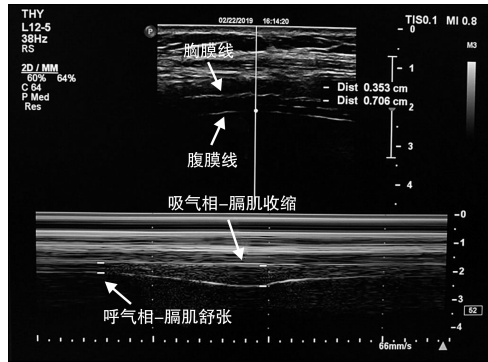


图 2 DTF 测量

1.3 观察指标

观察并记录所有受试者的一般资料,包括 SOFA 评分、年龄、性别、MV 时间、住院时间、疾病类型、APACHE II 评分。准备撤机前检查患者动脉血氧分析,记录 PaO_2 、pH、氧合指数 (PaO_2/FiO_2)、

FiO_2)、 $PaCO_2$ 。记录患者在 SBT 30 min 时测量指标:HR、平均动脉压(MAP)、RR、潮气量(V_t)、 $RSBI = RR/V_t$ 。记录患者在 SBT 30 min 时膈肌超声指标:DTF-RSBI、DE-RSBI、DTF、DE,将 DE 和 DTF 取代 RSBI 中的 V_t ,得到 DTF-RSBI、DE-RSBI。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 22.0 和 R3.5.3 软件进行数据分析。计量资料以 $\bar{X} \pm S$ 表示,使用 t 检验进行组间比较;计数资料以频数表示,使用 χ^2 检验进行分析;LASSO 回归、logistic 回归分析筛选影响因素。构建呼吸衰竭患者撤机失败的 Nomogram 预测模型;通过受试者工作特征(ROC)曲线评价 Nomogram 模型的预测价值;通过校准曲线评价准确性;通过决策曲线分析法(DCA)评价临床实用性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2 组一般资料比较

撤机成功组和撤机失败组的 APACHE II 评分、SOFA 评分、住院时间、pH、 $PaCO_2$ 、MV 时间、RR、RSBI、DE、DTF、DE-RSBI、DTF-RSBI 进行比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。见表 1。

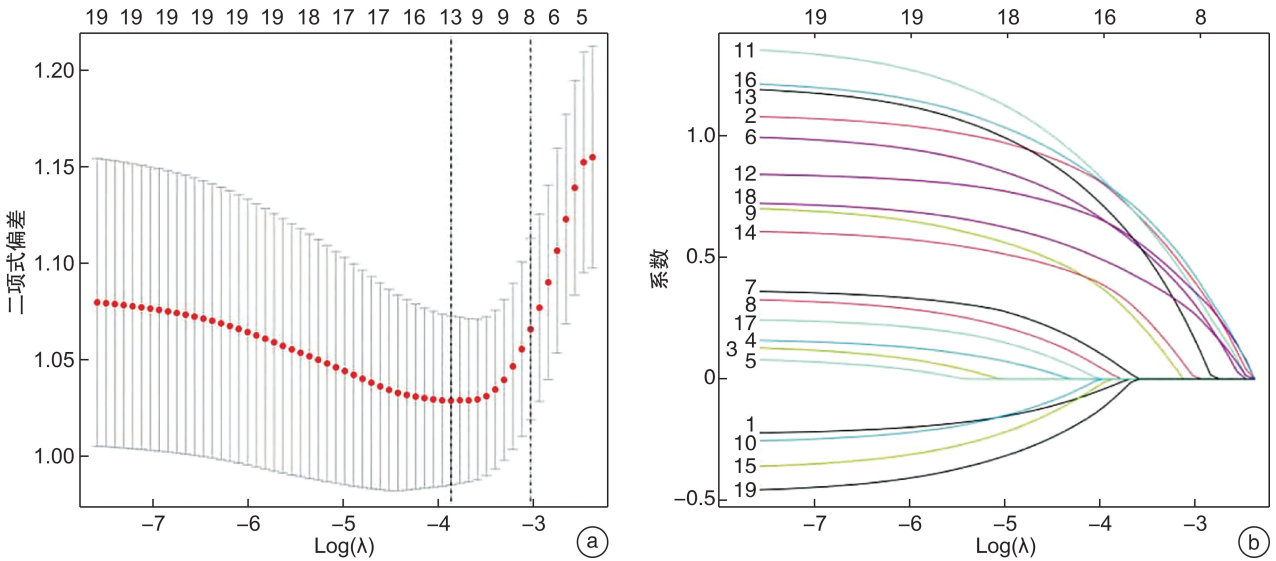
表 1 2 组一般资料比较

临床资料	撤机成功组(115 例)	撤机失败组(35 例)	t/χ^2	$\bar{X} \pm S$ P
年龄/岁	67.66 ± 13.29	68.41 ± 12.07	0.298	0.766
性别/例(%)			0.298	0.585
男	78(67.83)	22(62.86)		
女	37(32.17)	13(37.14)		
疾病类型/例(%)			1.920	0.589
脑外伤	30(26.09)	9(25.71)		
脑卒中	8(6.96)	5(14.29)		
感染性休克	39(33.91)	10(28.57)		
重症肺炎	38(33.04)	11(31.43)		
APACHE II 评分/分	13.24 ± 8.83	18.56 ± 9.79	3.042	0.003
SOFA 评分/分	7.62 ± 2.97	9.14 ± 3.35	2.572	0.011
ICU 住院时间/d	9.41 ± 2.37	10.74 ± 3.35	2.622	0.010
SBT 前血气分析指标				
pH	7.35 ± 0.14	7.41 ± 0.16	2.146	0.034
$PaCO_2$ /mmHg	41.47 ± 8.51	37.87 ± 7.04	2.275	0.024
PaO_2 /mmHg	97.02 ± 6.55	98.16 ± 6.34	0.908	0.365
PaO_2/FiO_2	243.49 ± 35.03	236.11 ± 33.18	1.104	0.271
MV 时间/d	7.54 ± 2.18	8.67 ± 3.85	2.202	0.029
SBT 30 min 时测量指标				
HR/(次/min)	87.03 ± 12.14	91.22 ± 14.98	1.689	0.093
RR/(次/min)	22.10 ± 3.01	25.50 ± 3.62	5.573	<0.001
V_t /L	0.39 ± 0.13	0.40 ± 0.16	0.377	0.707
MAP/mmHg	91.33 ± 9.31	92.26 ± 9.64	0.513	0.609
RSBI/[次/(mL·min)]	56.67 ± 10.82	63.75 ± 17.69	2.881	0.005
膈肌超声指标				
DE/mm	12.32 ± 2.36	10.54 ± 2.25	3.949	<0.001
DTF/%	25.23 ± 3.31	19.60 ± 3.07	8.956	<0.001
DE-RSBI/[次/(min·mm)]	1.93 ± 0.67	2.64 ± 0.79	5.259	<0.001
DTF-RSBI/[次/(min·mm)]	66.20 ± 7.33	105.64 ± 9.61	25.821	<0.001

2.2 LASSO 回归分析筛选预测因素

基于训练集数据进行 LASSO 分析,结果显示,APACHE II 评分、SOFA 评分、pH、PaCO₂、

MV 时间、RR、RSBI、DE、DTF、DE-RSBI、DTF-RSBI 均是系数不为零的预测因素。见图 3。



a: 表示 λ(最优参数值)=0.024 时绘制垂直线,选取 11 个变量关系图;b: 表示调整 λ 后,特征变量与 log(λ) 的关系图。

图 3 LASSO 回归分析筛选预测因素

2.3 影响呼吸衰竭患者撤机失败的 logistic 回归分析

以呼吸衰竭患者撤机结局(失败=1,成功=0)为因变量,以上筛选的 11 个因素为自变量,进行多因素 logistic 回归分析,结果显示,RSBI、DE、DTF、DE-RSBI、DTF-RSBI 均是呼吸衰竭患者撤机失败的独立预测因素(P<0.05)。见图 4。

2.4 呼吸衰竭患者撤机失败的列线图模型构建

将多因素分析中的独立影响因素用于构建呼吸衰竭患者撤机失败的列线图模型,结果显示,RSBI 积分 17 分、DE 积分 20 分、DTF 积分 21 分、DE-RSBI 积分 24 分、DTF-RSBI 积分 26 分,总分为 108 分,对应呼吸衰竭患者撤机失败风险值为 0.859,预测呼吸衰竭患者撤机失败概率为 85.9%。见图 5。

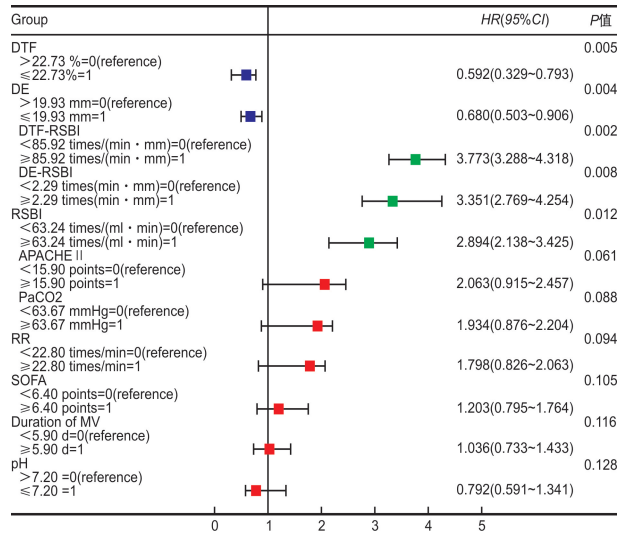


图 4 多因素 logistic 回归分析森林图

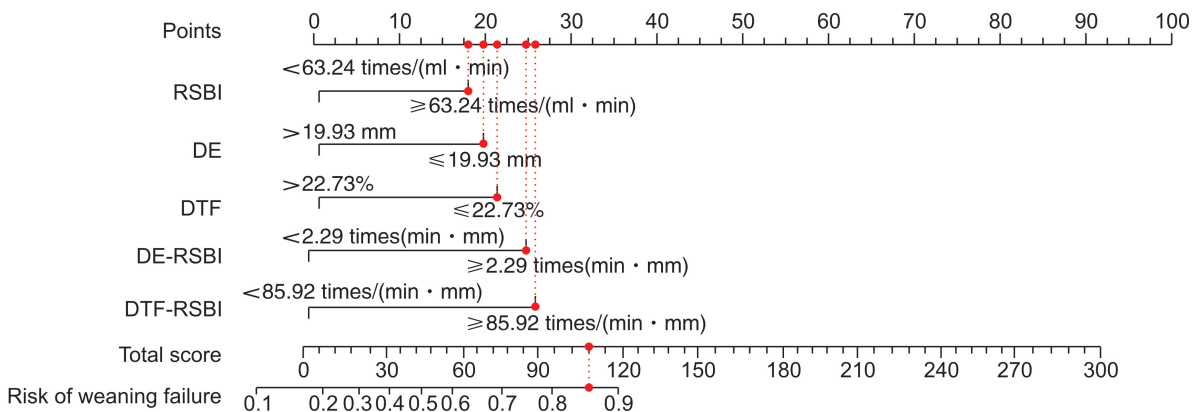


图 5 呼吸衰竭患者撤机失败的列线图模型构建

2.5 列线图模型的验证

使用 Bootstrap 法对列线图模型进行内部验证,并利用验证集对模型进行外部验证,结果显示:训练集和验证集的 C-index 分别为 0.820(95%CI: 0.805~0.849)、0.811(95%CI: 0.782~0.836),

两数据集校准曲线走向与理想曲线较为贴近,见图 6;ROC 曲线下面积(AUC)分别为 0.806(95%CI: 0.764~0.840)、0.798(95%CI: 0.772~0.832),见图 7;决策曲线显示阈值概率在 1%~90%时,有较高的净获益值,见图 8。

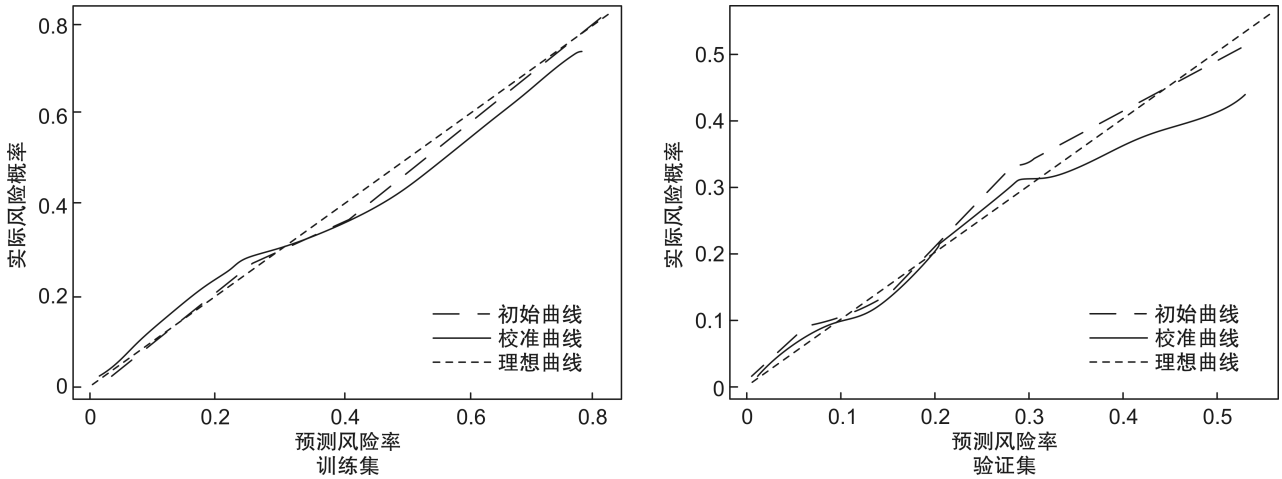


图 6 列线图模型的校正曲线验证图

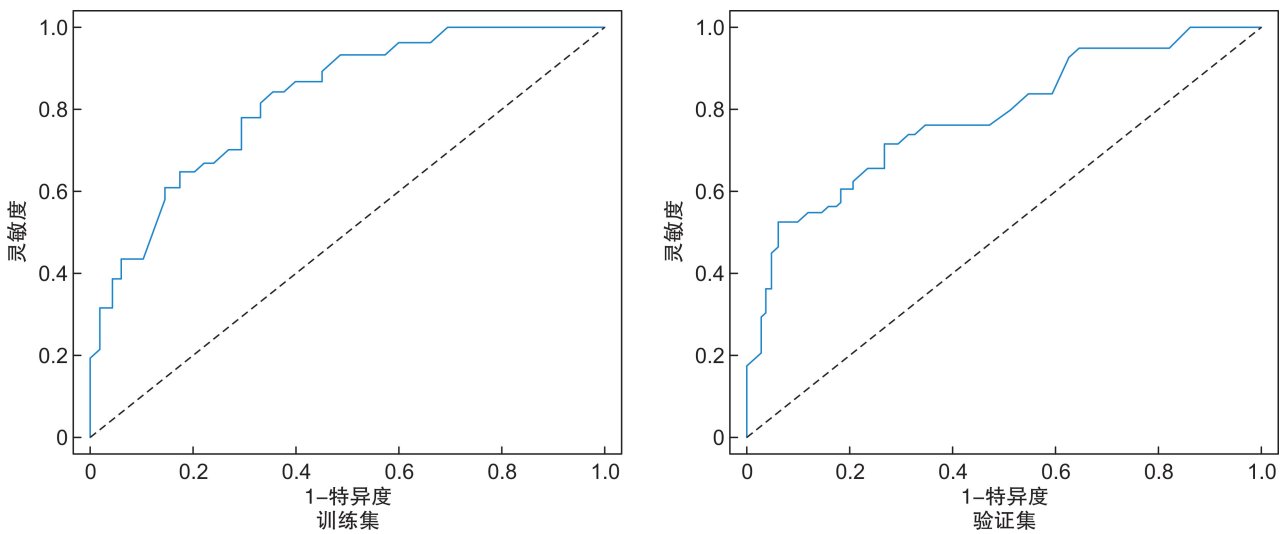


图 7 列线图模型的 ROC 曲线验证图

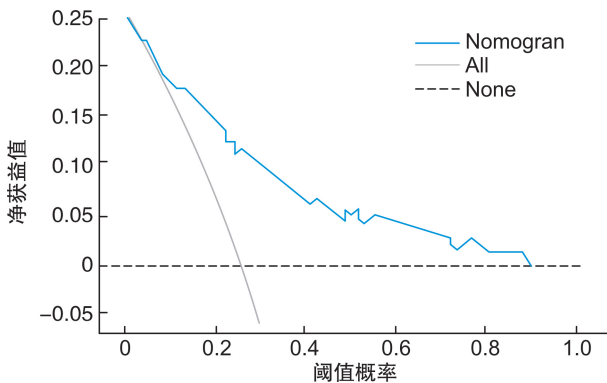


图 8 列线图模型的决策曲线图

2.6 各定量参数对撤机失败的预测价值

采用 ROC 曲线分析各定量参数对呼吸衰竭患者撤机失败的预测价值,结果如表 2 和图 9 所示,RSBI、DE、DTF、DE-RSBI、DTF-RSBI 的 AUC 分别为 0.715(95%CI: 0.681~0.855)、0.796(95%CI: 0.729~0.860)、0.721(95%CI: 0.648~0.788)、0.820(95%CI: 0.756~0.880)和 0.872(95%CI: 0.823~0.920),灵敏度分别为 75.33%、82.95%、76.21%、88.36%和 96.42%,特异度分别为 72.08%、80.16%、87.65%、84.73%和 93.28%。

表 2 各定量参数对撤机失败的预测价值

项目	AUC	截断值	95%CI	P	灵敏度/%	特异度/%	约登指数
RSBI	0.715	67.02 次/(mL·min)	0.681~0.855	<0.001	75.33	72.08	0.474
DE	0.796	10.9 mm	0.729~0.860	<0.001	82.95	80.16	0.631
DTF	0.721	30.11%	0.648~0.788	<0.001	76.21	87.65	0.639
DE-RSBI	0.820	2.04 次/(min·mm)	0.756~0.880	<0.001	88.36	84.73	0.731
DTF-RSBI	0.872	73.15 次/(min·mm)	0.823~0.920	<0.001	96.42	93.28	0.897

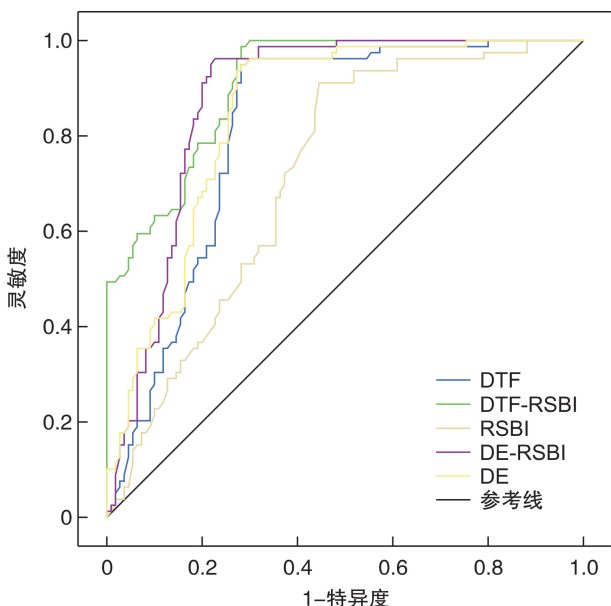


图 9 各定量参数对撤机失败的预测价值

3 讨论

RSBI 是以往最精确的 SBT 拔管时机判断指标之一,它反映的是包括斜角肌、辅助呼吸肌、膈肌和肋间肌的所有吸气肌肉的功能^[12]。然而,RSBI 计算公式中的 V_t 反映了整体呼吸肌肉的能力,在不同研究中的特异度、灵敏度、阴性预测值及阳性预测值的变数较大^[13]。此外,无法排除以下情况:在 MV 期间可能发生膈肌萎缩,凭借辅助肌肉的代偿作用通过 SBT,成功拔管,但辅助肌肉较易疲劳,导致拔管后再次行气管插管,造成潜在气道损伤^[14]。本研究发现,RSBI 预测撤机结局的截断值为 67.02 次/(mL·min)时,灵敏度、特异度分别为 75.33%、72.08%,AUC 为 0.715,与撤机参考标准值 105 相差较大,提示 RSBI 并不是撤机的最佳预测指标。

膈肌超声可有效评估膈肌形态学和量化肌肉功能。本研究对 150 例呼吸衰竭患者在入组前进行膈肌评估,均确保无膈肌功能障碍。DE 和 DTF 可有效评估膈肌功能,预测 MV 患者撤机结局^[15]。Alam 等^[16]的研究使用超声测量 DE 发现,DE 的最佳临界点为 1.14 cm,预测拔管成功的特异度、灵敏度分别为 75.0%、98.2%。本研究发现,撤机成功者的 DE 高于撤机失败者,ROC 曲线显示 DE

预测撤机成功的截断值为 10.9 mm,灵敏度和特异度分别为 82.95%、80.16%。提示 DE 可有效预测撤机结局,作为指导撤机的良好指标。目前 DTF 是预测呼吸机负荷的最好指标之一。本研究中 DTF 的最佳截断值为 30.11%,灵敏度和特异度分别为 76.21%、87.65%,较以往文献报道略高^[17-18]。这可能是由于超声最小分辨度为 1 mm,而膈肌平均厚度值为 1.5~2.0 mm,因此即使使用 10 MHz 高频血管探头测量厚度仍有一定误差。此外,部分患者由于肥胖、个体差异等因素导致膈肌回声不清晰,造成测量结果不标准。

本研究将 RSBI 公式进行调整,引入 DE-RSBI、DTF-RSBI,可更准确地对撤机结局进行预测。膈肌新公式重点突出膈肌结构和功能对自主呼吸的作用^[19],DE-RSBI 截断值为 2.04 次/(min·mm),AUC、灵敏度和特异度均有所改善;DTF-RSBI 截断值为 73.15 次/(min·mm),AUC、灵敏度、特异度均有较大改善。提示膈肌超声指标联合 RSBI 可更准确地预测撤机结局。然而,目前膈肌超声量化相关数据尚不足,未来仍需更多研究进行验证。

列线图可将复杂数据可视化,使预测模型更为直观,有利于对患者进行个体化风险评估^[20]。相较于 Rello 等^[21]构建的预测呼吸衰竭患者撤机失败的 logistic 回归预警模型,本研究先使用 LASSO 分析及多因素回归筛选出预测因素,然后基于筛选的预测因素构建列线图模型,构建的模型更为直观、准确。此外,本研究为避免模型的过度拟合,使用校正曲线、ROC 曲线及决策曲线对模型进行验证,结果显示,训练集和验证集的 C-index 分别为 0.820(95%CI:0.805~0.849)、0.811(95%CI:0.782~0.836),两数据集校准曲线走向与理想曲线较为贴近,AUC 分别为 0.806(95%CI:0.764~0.840)、0.798(95%CI:0.772~0.832),决策曲线显示进一步证明列线图模型对呼吸衰竭患者撤机失败有良好的临床实用性。

综上所述,膈肌超声定量参数 DT、DTF 联合传统 RSBI 可准确预测撤机,优于传统 RSBI 指标。不足之处:①膈肌厚度较薄,无法排除误差可能。②肥胖患者脂肪层较厚或胃肠气体较多,导致超声图像清晰度欠佳,从而影响测量结果准确性。③本

研究为前瞻性研究,且为单中心研究,纳入病例数有限,与国外多中心乃至大规模临床研究仍存在较大差距。后续本研究将持续关注更多相关研究,不断充实临床数据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 李睿, 宋秋鸣. 慢性阻塞性肺疾病急性加重期患者有创机械通气拔管失败的风险预测[J]. 临床急诊杂志, 2021, 22(10):673-677.
- [2] Neumann B, Angstwurm K, Mergenthaler P, et al. Myasthenic crisis demanding mechanical ventilation: A multicenter analysis of 250 cases[J]. *Neurology*, 2020, 94(3):e299-e313.
- [3] Trivedi V, Chaudhuri D, Jinah R, et al. The Usefulness of the Rapid Shallow Breathing Index in Predicting Successful Extubation: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. *Chest*, 2022, 161(1):97-111.
- [4] 刘荃乐, 黄满花, 奚小土, 等. 肺部超声在严重急性低氧性呼吸衰竭中的应用进展[J]. 临床急诊杂志, 2022, 23(2):154-160.
- [5] Towner JE, Rahmani R, Zammit CG, et al. Mechanical ventilation in aneurysmal subarachnoid hemorrhage: systematic review and recommendations [J]. *Crit Care*, 2020, 24(1):e575.
- [6] Dadam MM, Gonçalves ARR, Mortari GL, et al. The Effect of Reconnection to Mechanical Ventilation for 1 Hour After Spontaneous Breathing Trial on Reintubation Among Patients Ventilated for More Than 12 Hours: A Randomized Clinical Trial[J]. *Chest*, 2021, 160(1):148-156.
- [7] Subirà C, Hernández G, Vázquez A, et al. Effect of Pressure Support vs T-Piece Ventilation Strategies During Spontaneous Breathing Trials on Successful Extubation Among Patients Receiving Mechanical Ventilation: A Randomized Clinical Trial[J]. *JAMA*, 2019, 321(22):2175-2182.
- [8] Ziaka M, Exadaktylos A. Brain-lung interactions and mechanical ventilation in patients with isolated brain injury[J]. *Crit Care*, 2021, 25(1):e358.
- [9] Schepens T, Dres M, Heunks L, et al. Diaphragm-protective mechanical ventilation [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2019, 25(1):77-85.
- [10] 梁子坤, 黄远生, 杨勇. 超声评估膈肌功能在指导重症慢阻肺机械通气患者撤机中的应用价值分析[J]. 影像研究与医学应用, 2022, 6(5):35-37.
- [11] 赵浩天, 龙玲, 任珊, 等. 膈肌超声联合呼吸力学指标对 ICU 老年患者撤机预后评价功能[J]. 中国老年学杂志, 2021, 41(10):2065-2069.
- [12] Munshi FA, Bukhari ZM, Alshaikh H, et al. Rapid Shallow Breathing Index as a Predictor of Extubation Outcomes in Pediatric Patients Underwent Cardiac Surgeries at King Faisal Cardiac Center[J]. *Cureus*, 2020, 12(6):e8754.
- [13] Figueroa-Casas JB, Montoya R, Garcia-Blanco J, et al. Effect of Using the Rapid Shallow Breathing Index as Readiness Criterion for Spontaneous Breathing Trials in a Weaning Protocol[J]. *Am J Med Sci*, 2020, 359(2):117-122.
- [14] Fiatt M, Bosio AC, Neves D, et al. Accuracy of a spontaneous breathing trial for extubation of neonates[J]. *J Neonatal Perinatal Med*, 2021, 14(3):375-382.
- [15] Sandoval Moreno LM, Casas Quiroga IC, Wilches Luna EC, et al. Efficacy of respiratory muscle training in weaning of mechanical ventilation in patients with mechanical ventilation for 48 hours or more: A Randomized Controlled Clinical Trial[J]. *Med Intensiva(Engl Ed)*, 2019, 43(2):79-89.
- [16] Alam MJ, Roy S, Iktidar MA, et al. Diaphragm ultrasound as a better predictor of successful extubation from mechanical ventilation than rapid shallow breathing index[J]. *Acute Crit Care*, 2022, 37(1):94-100.
- [17] Grassi A, Ferlicca D, Lupieri E, et al. Assisted mechanical ventilation promotes recovery of diaphragmatic thickness in critically ill patients: a prospective observational study[J]. *Crit Care*, 2020, 24(1):e85.
- [18] Cammarota G, Rossi E, Vitali L, et al. Effect of awake prone position on diaphragmatic thickening fraction in patients assisted by noninvasive ventilation for hypoxic acute respiratory failure related to novel coronavirus disease[J]. *Crit Care*, 2021, 25(1):e305.
- [19] Acar H, Yamanoglu A. Rapid Shallow Breathing Index as a Predictor for Intubation and Mortality in Acute Respiratory Failure [J]. *Respir Care*, 2022, 67(5):562-571.
- [20] Dong YM, Sun J, Li YX, et al. Development and Validation of a Nomogram for Assessing Survival in Patients With COVID-19 Pneumonia [J]. *Clin Infect Dis*, 2021, 72(4):652-660.
- [21] Rello J, Ramirez-Estrada S, Romero A, et al. Factors associated with ventilator-associated events: an international multicenter prospective cohort study[J]. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*, 2019, 38(9):1693-1699.

(收稿日期:2023-07-18)