

DOI: 10.20098/j.cnki.1001-5132.2025.0315

膈肌超声预测重症肺炎患者的撤机模式研究

于 钦, 胡占升

(锦州医科大学附属第一医院, 辽宁 锦州 121000)

摘要: 探讨各指标联合膈肌超声对重症肺炎患者撤机的指导价值, 并构建撤机成功的预测模型。以 2023—2024 年住院期间确诊为重症肺炎且需机械通气的 73 例患者为研究对象, 收集患者一般性资料, 观察浅快呼吸指数 (Rapid Shallow Breathing Index, RSBI)、降钙素原 (Procalcitonin, PCT)、动脉血氧分压 (Blood Oxygen Partial Pressure, PaO_2)、呼吸速率 (Respiratory Rate, RR) 等临床指标。自主呼吸试验 (Spontaneous Breathing Trial, SBT) 30 min 时, 通过超声评估膈肌功能, 依据撤机结局分为撤机成功组与失败组。运用 Logistic 回归分析患者撤机的影响因素, 进而构建撤机成功预测模型, 并利用受测者工作特征曲线 (Receiver Operating Characteristic, ROC) 分析模型预测价值。结果表明: 撤机成功组的膈肌增厚比 (Diaphragmatic Thickening Ratio, DTR) 与膈肌移动度 (Diaphragmatic Excursion, DE) 均高于失败组 ($P<0.05$); RSBI、PCT、DTR、DE、机械通气时间 (t) 均为撤机的影响因素 ($P<0.05$); Logistic 回归拟合重症肺炎患者撤机预测模型为 $\ln(P/(1-P)) = 16.107 - 0.828t - 5.304R_{\text{PCT}} - 0.258R_{\text{RSBI}} + 5.132D_{\text{DTR}} + 9.532D_{\text{DE}}$, 该模型拟合优度检验 $\chi^2=0.653$, $P>0.05$; ROC 曲线下面积为 0.965 (95%CI: 0.925~1.000), 敏感度与特异度分别为 96.4%和 86.7%, 约登指数为 0.831。证明多指标联合构建撤机成功预测模型对重症肺炎患者撤机具有指导意义, 可为临床判断撤机时机提供可靠参考。

关键词: 重症肺炎; 机械通气; 膈肌超声; 预测模型

中图分类号: R619

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2025) 05-0113-08

近年来, 重症肺炎患者数量呈上升趋势, 症状加剧, 并伴随着较高病死率^[1-2]。呼吸衰竭作为肺炎患者最严重的临床表现, 通常需要呼吸机辅助治疗以缓解症状, 进而挽救其生命。尽管机械通气能有效恢复肺功能, 但通常伴随着一系列的相关并发症, 其中以膈肌功能障碍为主要原因, 已成为影响撤机的关键制约因素。国内外多项研究表明, 膈肌超声作为一种安全无创、便捷实用的理想工具, 在评估膈肌功能方面展现出独特优势, 并在撤机结局的预测中发挥着重要作用。但目前研究结果仍存在异质性, 亟须结合其他指标来保持治疗决策的稳健性。为确定撤机的最佳时机, 本研究通过整合传统指标与膈肌超声相关参数, 构建一个多维度、综合

性的撤机预测模型, 旨在提高预测重症肺炎患者撤机结局准确率, 为临床撤机策略提供有力证据。

1 材料与方法

1.1 一般资料

选择我院重症医学科 (Intensive Care Unit, ICU) 2023—2024 年期间确诊为重症肺炎接受机械通气治疗 >48 h, 且符合 SBT 试验撤机标准患者为研究对象, 共 73 例。本研究已通过我院研究伦理委员会审核 (伦理号: 202498)。

1.1.1 纳入标准

(1) 年龄 >18 岁; (2) 符合第 9 版的《内科学》^[3]重症肺炎的临床诊断; (3) 呼吸衰竭 ($\text{PaO}_2<$

收稿日期: 2025-03-20

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.g.nbu.edu.cn/>

基金项目: 辽宁省教育厅基本科研项目 (JYTMS20231728)

第一作者: 于 钦, 硕士研究生, 主要研究方向为机械通气及膈肌超声相关领域。E-mail: yuqin19980220@163.com

*通信作者: 胡占升, 主任医师, 主要研究方向为机械通气及膈肌超声相关领域。E-mail: 1341309612@qq.com

60 mmHg 或氧合指数 ≤ 150 mmHg), 须进行气管插管, 并机械通气 >48 h; (4) 符合脱离机械通气标准^[4], 并维持呼吸稳定的能力(无呼吸困难, $RR < 25$ 次/min, 血氧饱和度 $SpO_2 \geq 95\%$)。

1.1.2 排除标准

(1) 伴多器官功能衰竭且血流动力学不稳定; (2) 存在中枢神经系统相关膈神经损伤; (3) 曾接受肺叶切除手术、胸廓畸形或肋骨骨折; (4) 既往存在慢性阻塞性肺疾病(Chronic Obstructive Pulmonary Diseases, COPD) 或肺纤维化者; (5) 妊娠期妇女; (6) 研究期间自行出院患者。

1.1.3 诊断标准

重症肺炎根据第9版《内科学》^[3]进行诊断。首先需具备肺炎典型症状, 包括咳嗽、咳痰、发热、乏力及呼吸困难, 在此基础上, 若指标符合下列1项主要诊断标准或3项次要标准, 即可诊断为重症肺炎。主要标准: (1) 需行气管插管并接受机械通气治疗; (2) 脓毒症休克经积极液体复苏后, 仍需血管活性药物治疗。次要标准: (1) $RR \geq 30$ 次/min, 氧合指数 ≤ 150 mmHg; (2) 多肺叶浸润; (3) 意识障碍或定向障碍; (4) 血尿素氮 ≥ 20 mg/dL (7.14 mmol/L); (5) 收缩压 <90 mmHg, 需要积极的液体复苏。此外, 根据肺炎典型的临床表现和重症严重程度的诊断标准, 再辅以影像学证据。肺X线检查可显示肺纹理增粗、外形模糊、网纹状影且透光度减低, 此后的肺部CT检查显示双肺广泛存在弥漫性结节影、斑片影、实变影为主要表现, 部分表现还伴有空洞、胸腔积液、树芽征及支气管充气征等其他影像学检查诊断。

1.2 方法

所有入组患者均在ICU病房内接受重症监护, 包括生命体征监测、呼吸机辅助呼吸等常规治疗, 并积极治疗原发病。研究期间采集患者身高、体重, 计算体质指数(BMI), 同时进行全身性感染相关性器官功能衰竭评分(Sepsis Related Organ Failure Assessment, SOFA)。当入组患者满足撤机条件后, 进行SBT试验。本研究的SBT试验采用低水平压力支持模式, 具体参数为压力支持5 cmH₂O, 呼气末正压5 cmH₂O, 氧浓度保持恒定。撤机前采集患者桡动脉血液进行血气分析, 记录动脉血氧分压(PaO₂)、动脉血二氧化碳分压(PaCO₂), 并计算

氧合指数。在SBT试验30 min时, 以右侧膈肌为声窗进行超声检查, 并记录相关数值。采用B超定位测量点, M超模式下测量膈肌增厚比(DTR)及膈肌移动度(DE), 且膈肌超声数值均使用同一台诊断仪, 严格按照说明书操作步骤, 并由同一位专业超声医师完成。此外, 患者撤机与否由临床医师独立评估决定, 且临床医师对超声检查结果并不知情。

1.2.1 膈肌厚度检查方法

将患者处于仰卧位(床头抬高30°~45°), 在B超扫描模式下, 将频率为8.0~12.0 MHz的高频线性探头置于腋前线与腋中线之间的第8或第9肋间隙处, 即膈肌与胸壁的交界区域, 并以肝脏作为右侧膈肌的观察声窗。通过二维超声图像可清晰显示膈肌结构形态, 膈肌主要呈现为三层典型的混合回声结构, 肝脏前缘两层高回声亮线表示胸膜和腹膜, 中间低回声显示羽毛状或星点状的筋膜结构为膈肌^[5], 两层高回声带之间的垂直距离即为膈肌厚度(图1)。待膈肌运动处于较平稳状态, 且超声图像清晰后, 将扫描模式切换为M型超声模式, 观察膈肌厚度随呼吸节律的动态变化, 测量膈肌最大吸气时的厚度及呼气末端时的厚度, 并以此数据计算膈肌增厚比(图2和图3)。监测采样线位置在3个呼吸周期中的膈肌厚度变化, 取其3次平均值作为最终测量结果。

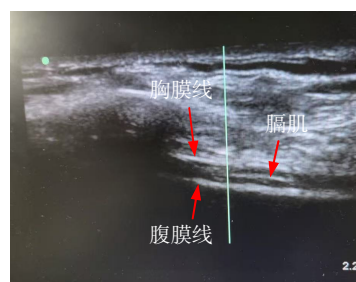


图1 B超模式下取得膈肌厚度测量点

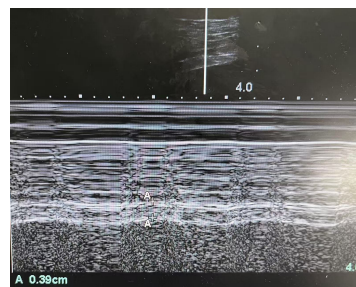


图2 M超模式下吸气时的膈肌厚度测量点

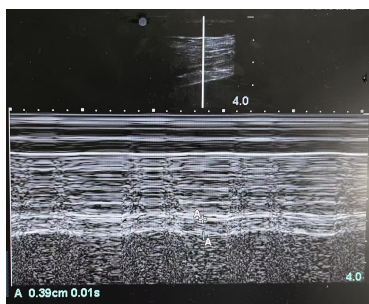


图3 M超模式下呼气时的膈肌厚度测量点

1.2.2 膈肌移动度检查方法

将患者处于仰卧位,使用B型超声模式,将频率1.2~5.0 MHz的凸阵探头放置于腋前线或锁骨中线与肋弓下缘交会区域,以肝脏作为观察膈肌右侧声窗。操作时探头朝向内侧、头侧及背侧,使超声波束垂直投射至膈膜圆顶^[6],以便较好地观察膈膜结构(图4)。选定最佳位置后,切换为M超模式,使M超取样线垂直于膈肌,获取膈肌运动轨迹曲线。在一个完整呼吸周期中,M超图像中运动轨迹的最高点与最低点间的距离即为膈肌移动度(图5)。监测采样线位置在3个呼吸周期中膈肌移动度变化,取其3次平均值作为最终测量结果。

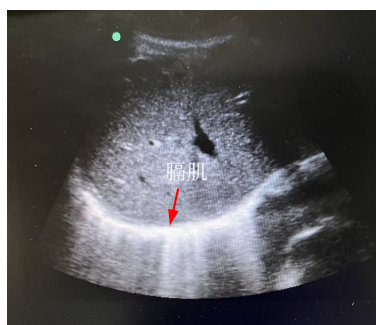


图4 B超模式下取得DE测量点

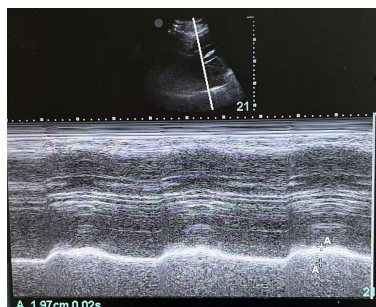


图5 M超模式下DE的测量点

1.3 观察指标

1.3.1 撤机标准

(1) 导致呼吸衰竭和机械通气的病因好转或

祛除,即无呼吸困难;(2) 患者氧合状态良好,氧合指数 ≥ 150 mmHg, $\text{FiO}_2 \leq 40\%$;(3) 血流动力学情况稳定,即无显著性低血压,无需进行血管活性药物治疗,或只需要少量活性药物予以维持;(4) 具有自主呼吸能力。

1.3.2 撤机判定及数据采集

通过SBT试验,且撤机后48 h内无需任何辅助通气设备,患者仍可维持自主呼吸则视为撤机成功。未通过SBT试验,或撤机后48 h内患者出现气促、血氧指标下降,需重新气管插管进行有创机械通气或无创呼吸机辅助通气则视为撤机失败。

对两组患者年龄、性别、既往病史、身高、体重、心率、潮气量(TV)、机械通气时间(t)、ICU住院时间、体质指数、平均动脉压(MAP)、呼吸频率、血氧饱和度、气道闭合压(P0.1)、降钙素原、C反应蛋白(CRP)、动脉血氧分压、动脉血二氧化碳分压、氧合指数、膈肌增厚比与膈肌移动度等指标进行分析比较。

1.4 统计学分析

应用SPSS 27.0和R-Studio分析所有数据。组间比较时,根据是否符合正态分布,选用 t 检验或Mann-Whitney U检验。符合正态分布的计量数据以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,非正态分布计量数据则采用中位数及四分位间距 $M(Q_1, Q_2)$ 表示。分类变量采用卡方检验,计数数据以频数和百分数表示,在单因素分析中筛选出具有统计学意义($P < 0.05$)的变量作为自变量,以撤机是否成功作为因变量(是/否=1/0),运用多因素Logistic回归分析方法筛选撤机成功的独立影响因素,并构建预测模型,以 $P > 0.05$ 判定为模型拟合度良好。为了进一步比较各参数及预测模型的敏感度、特异度及约登指数等指标,绘制ROC曲线,并计算ROC曲线下面积(Area under the Curve, AUC),以 $P < 0.05$ 为差异,判定是否具有统计学意义。

2 结果

2.1 单因素结果分析

2.1.1 一般临床资料比较

本研究共纳入73例患者,排除超声图像不清晰2例,自动出院1例,最终入组70例,按照撤机结局分组,撤机成功组患者计55例(78.6%),

撤机失败组患者 15 例（21.4%）。入组患者中男性 39 例，女性 31 例，上述患者均为首次撤机。两组患者一般临床情况如性别、年龄、BMI、既往病史、SOFA 评分等指标均无统计学差异（ $P>0.05$ ），但撤机失败组机械通气时间较撤机成功组延长，在两组之间存在统计学差异（ $P<0.05$ ）（表 1）。

2.1.2 生化指标比较

在撤机前当日抽取患者桡动脉血液进行生化指标化验，结果显示，撤机成功组和失败组在 pH、

PaO₂、PaCO₂、白细胞计数、CRP 等指标上无统计学差异（ $P>0.05$ ），但撤机失败组 PCT 略高于撤机成功组，差异具有统计学意义（ $P<0.05$ ）（表 2）。

2.1.3 SBT 试验 30 min 时的体征指标比较

在 SBT 试验进行至 30 min 时，两组患者的心率、平均动脉压、SpO₂、RR 及 VT 等指标无统计学意义（ $P>0.05$ ）。但撤机失败组的浅快呼吸指数（RSBI）高于撤机成功组，差异具有统计学意义（ $P<0.05$ ）（表 3）。

表 1 撤机成功组与失败组的重症肺炎患者一般资料比较

参数	撤机成功组（ $n=55$ ）	撤机失败组（ $n=15$ ）	t	u	χ^2	P 值
性别（男/女）	31/24	8/7			0.044	0.834
年龄/岁	64.45±11.23	69.80±8.56	1.709			0.092
BMI/(kg·m ⁻²)	23.44±3.18	24.14±3.36	0.746			0.458
高血压 ^①	是	21（38.2%）			2.291	0.130
	否	34（61.8%）				
糖尿病 ^②	是	14（25.5%）			0.370	0.543
	否	41（74.5%）				
SOFA 评分 ^③	4（3，8）	5（3，7）		-0.461		0.645
机械通气时间/d	7.52±2.24	9.17±2.65	2.428			0.018*
ICU 住院/d	10.80±2.82	12.40±2.95	1.931			0.058

注：①是否存在高血压；②是否存在糖尿病；③全身性感染相关性器官功能衰竭评分；* $P<0.05$ ，具有统计学意义，下表同。

表 2 撤机成功组与失败组的重症肺炎患者生化指标比较

参数	撤机成功组（ $n=55$ ）	撤机失败组（ $n=15$ ）	t	u	P 值
pH	7.40±0.05	7.42±0.05	1.682		0.097
PaO ₂ /mmHg	91.50（81.50，103.70）	88.60（70.80，108.00）		-0.787	0.431
PaCO ₂ /mmHg	40.30（37.3，42.5）	41.20（38.00，44.00）		-0.623	0.533
氧合指数/mmHg	262.00（241.00，309.00）	260.00（240.00，282.00）		-0.107	0.914
CRP/(mg·L ⁻¹)	16.34（13.26，20.13）	19.82（16.43，24.18）		-1.911	0.056
PCT/(ng·mL ⁻¹)	2.78±0.51	3.12±0.39	2.330		0.023*
白细胞计数/(10 ⁹ ·L ⁻¹)	13.24（11.17，15.36）	14.85（13.72，15.45）		-1.882	0.060

表 3 撤机成功组与失败组的重症肺炎患者生命体征与呼吸指标比较

参数	撤机成功组（ $n=55$ ）	撤机失败组（ $n=15$ ）	t	u	P 值
体温/℃	36.50（36.40，36.70）	36.60（36.50，36.80）		-1.545	0.122
心率/(次·min ⁻¹)	86.00（76.00，95.00）	94.00（79.00，103.00）		-1.704	0.088
SpO ₂ /%	99.00（98.00，99.00）	98.00（97.00，99.00）		-0.896	0.370
平均动脉压/mmHg	94.87（88.81，102.63）	90.02（86.30，102.91）		-1.214	0.229
P0.1	3.43±0.86	2.95±1.07	-1.856		0.068
VT/L	0.58±0.11	0.54±0.09	-1.469		0.147
RR/(次·min ⁻¹)	21.18±6.11	24.19±4.55	1.769		0.081
RSBI/(次·(min·L) ⁻¹)	36.56±8.21	45.77±8.61	3.812		0.010*

2.1.4 SBT 试验 30 min 时的超声指标比较

两组患者在 SBT 试验 30 min 时的膈肌超声结果显示, 撤机成功组的膈肌增厚比 (DTR) 与膈肌移动度 (DE) 均明显高于撤机失败组。具体而言, 撤机成功组膈肌厚度更厚 (DTR 值 1.39 vs 1.17), 运动幅度更大 (DE 值 (1.43±0.39) cm vs (1.17±0.32) cm); 组间差异同样具有统计学意义 ($P<0.05$) (表 4)。

2.2 多因素结果分析

2.2.1 多因素 Logistic 分析独立影响因素

以撤机结果作为因变量 (撤机成功组为 1, 撤机失败组为 0), 对单因素分析中有统计学意义的指标进行多因素 Logistic 回归分析, 将机械通气时间、PCT、RSBI、DTR、DE 实测值作为自变量纳入模型。结果表明, 以上指标均为重症肺炎机械通气患者撤机成功的独立影响因素 ($P<0.05$) (表 5)。

2.2.2 各单一独立影响因素的分析

为探究各独立危险因素与撤机结果之间的具体关系, 构建 ROC 受试者工作曲线, 结果发现机械通气时间、PCT、RSBI、DTR、DE 均有预测价值 (表 6 和图 6)。

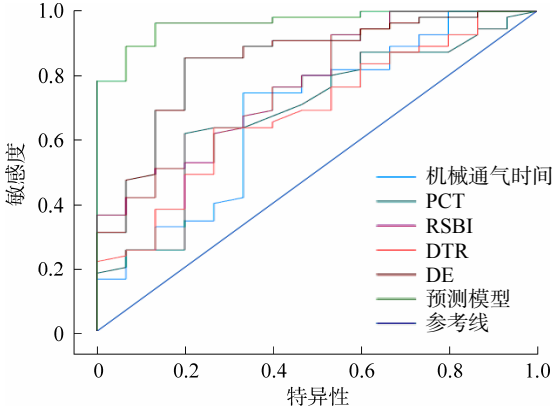


图 6 各单一独立影响因素及预测模型撤机的 ROC 曲线

2.2.3 联合预测模型的预测价值结果分析

以撤机是否成功为因变量 (成功为 1, 失败为 0), 重症肺炎患者撤机结局的独立影响因素为自变量, 根据多因素结果, 以 Logistic 回归分析拟合预测重症肺炎患者脱离机械通气的风险预测模型, $\ln(P/(1-P)) = 16.107 - 0.828t - 5.304R_{PCT} - 0.258 \times R_{RSBI} + 5.132D_{DTR} + 9.532D_{DE}$, 该模型拟合优度检验 $\chi^2=0.653$, $P>0.05$ 。预测模型撤机结果 AUC 为 0.965 (95%CI: 0.925~1.000), 敏感度 96.4%, 特异度 86.7%, 最大约登指数为 0.831 (表 6 和图 6)。

表 4 撤机成功组与失败组在 SBT 试验 30 min 时膈肌超声指标比较

参数	撤机成功组 (n=55)	撤机失败组 (n=15)	t	u	P 值
DTR	1.39 (1.35, 1.48)	1.17 (0.91, 1.30)		-4.083	0.010*
DE/cm	1.43±0.39	1.17±0.32	-2.384		0.020*

表 5 多因素 logistic 回归分析重症肺炎患者脱离机械通气的独立影响因素

影响因素	β 系数	标准误差	Wald 卡方	OR 值	P 值
机械通气时间	-0.828	0.371	4.994	0.753	0.025*
PCT	-5.304	2.539	4.363	0.335	0.037*
RSBI	-0.258	0.101	6.570	0.875	0.010*
DTR	5.132	2.411	4.529	3.192	0.033*
DE	9.532	3.684	6.696	7.387	0.010*

表 6 各单一独立影响因素及联合预测模型对重症肺炎患者撤机的预测价值

影响因素	AUC	约登指数	临界值	敏感度/%	特异度/%	95%CI
机械通气时间	0.683	0.412	8.652	74.5	66.7	0.523~0.843
PCT	0.687	0.418	2.910	61.8	80.0	0.583~0.836
RSBI	0.771	0.394	47.870	92.7	46.7	0.641~0.901
DTR	0.685	0.370	1.240	63.6	73.3	0.540~0.831
DE	0.845	0.655	1.305	85.5	80.0	0.733~0.958
联合预测模型	0.965	0.831		96.0	86.7	0.925~1.000

3 讨论与结论

CRP、PCT 作为重症肺炎反应中的两把“量尺”，其浓度与炎症水平呈正相关^[7-9]。在炎症反应刺激下，免疫细胞合成并释放出大量 PCT，使其水平急剧升高，因此 PCT 对疾病的早期诊断与病情严重程度的评估具有高度敏感性^[10-11]。本研究撤机失败组患者 PCT 水平高于撤机成功组，这与患者炎症反应加重、气道分泌物较难清除、肺部易感性增加有关，从而导致撤机成功率降低。也有研究^[12]指出，CRP 水平升高被认为与撤机失败存在关联，但本研究中两组 CRP 水平无明显差异，推测有可能与临床用药方案有关。动脉血气分析虽然也能反映撤机前的血氧状况，但在本研究中无体现。

机械通气治疗的核心目标是实现人工呼吸机的成功撤离。本研究结果显示，撤机失败组的机械通气时间普遍长于成功组，原因可能是呼吸机过度辅助通气引起氧化应激反应，致使膈肌线粒体产生过量的活性氧自由基，进而引起膈肌肌纤维的减少和破坏，最终造成膈肌肌肉的萎缩损伤，使撤机失败^[13-14]。Schepens 等^[15]的研究也同样显示，机械通气诱发的膈肌萎缩具有时间依赖性，即通气时间越长，收缩功越低，下降幅度越大，造成撤机风险增加。临床时常用 VT、RR、P0.1 等指标来评估撤机结局，但这些指标受干扰因素较大，且特异性差，所以应用价值受限。RSBI 结合了 RR 与 VT 的特点，被广泛应用于临床撤机指导。但 RSBI 评估的是整体呼吸肌群，如果发生膈肌功能障碍，其他辅助呼吸肌可代偿性增强时，仍可使 RSBI 处于正常范围，从而造成撤机决策出现偏差。既往研究多以 RSBI<105 为撤机成功指标，本研究显示撤机失败组的 RSBI 数值虽较撤机成功组高，但均小于 105，表明该指标特异性存在较大差异。Sassoon 等^[16]研究认为，当 RSBI≤60 时对撤机的预测能力最佳。但本文结果则显示 RSBI≤47.870 时，结果均在研究范围内，同样为本研究结果提供了强有力的支持。

膈肌作为呼吸运动的主要肌肉，占潮气量 70% 以上^[17]。撤机过程中，保持呼吸肌力量与呼吸负荷间的平衡，确保自主呼吸能力满足呼吸做功需要是撤机成功的关键因素。国外有研究^[18]指出，撤机前评估膈肌功能是必要的，可作为指导临床诊治的重

要切入点。相比跨膈压、膈肌电位等传统评估方法，超声技术直观便捷，能实时提供膈肌位置、厚度及活动度等信息，已成为评估膈肌的常用方法，为评估和监测呼吸功能提供了新的手段和依据。

膈肌厚度能较好体现膈肌肌肉收缩强度，可作为有效的评估指标^[19]。DTR 计算简易，虽然患者体位（直立与仰卧）对膈肌厚度值也有潜在影响，但 DTR 依然可能是诊断膈肌功能障碍进而影响撤机结果更为准确的方法^[20]。基于以上内容，本研究撤机成功组 DTR 值为 1.39，符合正常下限 1.20。膈肌厚度增加，核心力量增强，呼吸功能恢复越好，撤机成功率越高^[20]。而撤机失败组 DTR 值为 1.17，可能是随着病情恶化，膈肌发生代偿性纤维类型转变，厌氧型肌纤维减少，需氧型肌纤维增加，同时伴随着肌球蛋白的分解，使膈肌收缩强度降低，进而引发撤机失败^[21]。进一步研究发现，当 DTR>1.24 时，对重症肺炎患者撤机结局具有较高整体效能，此结果与 Bhatia 等^[22]研究基本相符，表明了 DTR 的可靠性与有效性。DE 同样反映膈肌的收缩功能，且与撤机成功率呈正相关^[23-24]。既往研究^[6]表明，平静呼吸时的 DE 值为 1.3~2.1 cm。本文撤机成功组 DE 值为 1.43 cm±0.39 cm，处于正常区间；而撤机失败组 DE 值低于正常水平，可能是部分患者的生理功能衰弱，呼吸潮气量增大，膈肌做功需克服气道阻力而代偿性增加，呼吸肌被动缩短，造成膈肌运动幅度变小^[25]。本研究还发现 DE 值对撤机的影响程度显著高于其他指标（OR=7.387）。国内外研究^[26-27]认为 DE 是衡量膈肌收缩功能的关键因素，可作为临床撤机主要依据，且预测撤机成功与否的临界值范围为 1.0~1.4 cm。本文中 DE 临界值为 1.305 cm，预测重症肺炎患者撤机结果的 AUC 为 0.845，敏感度、特异度均高于其他指标，且与 Saravanan^[28]、Elshazly 等^[29]研究结果相近，更加验证了 DE 指标在撤机中的预测价值。综上，膈肌超声参数（DTR 与 DE）均可作为重症肺炎患者撤机提供客观参考依据，有助于更精准地施行撤机决定。

本研究还进一步探讨了重症肺炎机械通气患者撤机的独立影响因素。经 ROC 分析发现，机械通气时间、DTR、DE、RSBI、PCT 均为预测撤机结局的良好预测因子。由于受重症患者病情复杂多变等综合因素的影响，通过多指标联合建模方式，

发现该组合预测重症肺炎患者撤机结果的曲线下面积最大, AUC 为 0.965, 且特异性与敏感性均优于单一预测指标。结果表明本文方法兼顾了呼吸中枢、呼吸肌及呼吸负荷等指标的关系, 能够使临床医师全面地评估撤机风险, 改善患者的撤机结局。

综上所述, 膈肌超声凭借便捷无创的优势已成为监测膈肌功能的理想工具。当 DTR>1.24, DE>1.305 cm 时, 提示膈肌收缩力较好, 可作为预测撤机成功的良好指标。采用多种撤机指标联合应用方式构建脱离机械通气的预测模型, 可显著提高预测效能, 对重症肺炎患者的撤机决策具有指导意义。但因超声主观性较强, 测量结果仍受人为操作手法的影响; 此外, 未来须扩大研究样本量, 并纳入更多的临床指标来进一步完善模型, 验证不同临床情境的评估标准, 以提升临床实用性。

参考文献:

- [1] GRASSELLI G, ZANGRILLO A, ZANELLA A, et al. Baseline characteristics and outcomes of 1591 patients infected with SARS-CoV-2 admitted to ICUs of the Lombardy Region, Italy[J]. JAMA, 2020, 323(16):1574-1581.
- [2] ASHISH A, UNSWORTH A, MARTINDALE J, et al. CPAP management of COVID-19 respiratory failure: a first quantitative analysis from an inpatient service evaluation[J]. BMJ open respiratory research, 2020, 7(1):e000692.
- [3] 葛均波, 徐永健, 王辰. 内科学[M]. 9 版. 北京: 人民卫生出版社, 2018:139-148.
- [4] THEERAWIT P, EKSOMBATCHAI D, SUTHERASAN Y, et al. Diaphragmatic parameters by ultrasonography for predicting weaning outcomes[J]. BMC pulmonary medicine, 2018, 18(1):175.
- [5] 唐智生. 膈肌功能障碍的超声检测进展[J]. 中国实用医药, 2023, 18(10):177-180.
- [6] 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.
- [7] BAEK M S, PARK S, CHOI J H, et al. Mortality and prognostic prediction in very elderly patients with severe pneumonia[J]. Journal of intensive care medicine, 2020, 35(12):1405-1410.
- [8] 柯江维, 徐锦, 冉飞. SAA单独与CRP联合检测在儿童感染性疾病中的应用专家共识[J]. 检验医学, 2021, 36(7):685-690.
- [9] 降钙素原在成人下呼吸道感染性疾病分级管理中的应用专家共识组. 降钙素原在成人下呼吸道感染性疾病分级管理中的应用专家共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2021, 30(4):393-401.
- [10] 郑伟伟, 吴宗辉, 凤慧娟, 等. 超声联合下腔静脉呼吸变异度及 CRP 和 PCT 与 IL-6 对重症肺炎患者容量反应性的评估价值[J]. 中华医院感染学杂志, 2024, 34(24):3698-3701.
- [11] 燕江雪, 丁霞, 焦琼杰, 等. 儿童重症肺炎支原体肺炎中 TLR7、TLR9 和 IFN-I 的变化及意义[J]. 新医学, 2023, 54(3):177-181.
- [12] 刘海红. 重症肺炎所致 ARDS 患者血 NT-proBNP、CRP/ALB 相关性及其联合预测预后效能分析[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2021(10):1133-1137.
- [13] GOLIGHER E C, JONKMAN A H, DIANTI J, et al. Clinical strategies for implementing lung and diaphragm-protective ventilation: avoiding insufficient and excessive effort[J]. Intensive care medicine, 2020, 46(12):2314-2326.
- [14] 张菊梅, 涂锐, 关发升, 等. 线粒体活性氧在机械通气导致的膈肌功能障碍中作用的研究进展[J]. 山西医科大学学报, 2022, 53(12):1610-1615.
- [15] SCHEPENS T, VERBRUGGHE W, DAMS K, et al. The course of diaphragm atrophy in ventilated patients assessed with ultrasound: a longitudinal cohort study[J]. Critical care, 2015, 19:422.
- [16] SASSOON C S, MAHUTTE C K. Airway occlusion pressure and breathing pattern as predictors of weaning outcome[J]. The american review of respiratory disease, 1993, 148(4):860-866.
- [17] PATEL S, BEAR D, PATEL B, et al. Clinical application of ultrasound in intensive care unit-acquired weakness[J]. Ultraschall in der medizin, 2020, 41(3):244-266.
- [18] FORMENTI P, UMBRELLO M, DRES M, et al. Ultrasonographic assessment of parasternal intercostal muscles during mechanical ventilation[J]. Annals of intensive care, 2020, 10(1):120.
- [19] 黄嘉炜, 王明军, 韩佳欣, 等. 膈肌功能测定与膈肌超声评估进展[J]. 临床医学研究与实践, 2022, 7(3):186-190.
- [20] PATEL Z, FRANZ C K, BHARAT A, et al. Diaphragm and phrenic nerve ultrasound in COVID-19 patients and beyond: imaging technique, findings, and clinical applications[J]. Journal of ultrasound in medicine, 2022, 41(2):285-299.
- [21] 卢静, 张永利. ICU 危重症患者膈肌功能障碍研究进展

- [J]. 中国急救医学, 2025, 45(2):171-178.
- [22] BHATIA N S, KUNZWEILER S, CONLEY C, et al. Predictive value of diaphragm muscle ultrasound for ventilator weaning outcomes after cervical spinal cord injury: a retrospective case series[J]. Journal of ultrasound in medicine, 2025, 44(1):119-126.
- [23] 吴嘉丽, 胡阳, 李英华, 等. 超声评估膈肌功能的方法及其在临床中的应用[J]. 医学信息, 2023, 36(16):174-178.
- [24] 伍松柏, 戴瑶, 何峻, 等. 超声测量膈肌增厚分数联合膈肌位移在预测机械通气成功撤机中的价值[J]. 实用医学杂志, 2021, 37(12):1592-1597.
- [25] BASTOS H N E, NEVES I, REDONDO M, et al. Influence of emphysema distribution on pulmonary function parameters in COPD patients[J]. Jornal brasileiro de pneumologia, 2015, 41(6):489-495.
- [26] PALKAR A, NARASIMHAN M, GREENBERG H, et al. Diaphragm excursion-time index: a new parameter using ultrasonography to predict extubation outcome[J]. Chest, 2018, 153(5):1213-1220.
- [27] 刘晋豫, 王强, 汪晓蜜, 等. 膈肌超声评分预测机械通气撤机的价值探讨[J]. 临床超声医学杂志, 2020, 22(1):38-41.
- [28] SARAVANAN R, NIVEDITA K, KARTHIK K, et al. Role of diaphragm ultrasound in weaning mechanically ventilated patients: a prospective observational study[J]. Indian journal of anaesthesia, 2022, 66(8):591-598.
- [29] ELSHAZLY M I, KAMEL K M, ELKORASHY R I, et al. Role of bedside ultrasonography in assessment of diaphragm function as a predictor of success of weaning in mechanically ventilated patients[J]. Tuberculosis and respiratory diseases, 2020, 83(4):295-302.

Diaphragmatic ultrasound predicts weaning in severe pneumonia patients

YU Qin, HU Zhansheng

(The First Affiliated Hospital of Jinzhou Medical University, Jinzhou 121000, China)

Abstract: This study aims to analyze the predictive value of diaphragmatic ultrasound in combination with other clinical indicators for weaning from mechanical ventilation in patients with severe pneumonia, and to construct a predictive model for successful weaning. A prospective study was conducted on 73 patients diagnosed with severe pneumonia requiring mechanical ventilation from 2023 to 2024. General clinical data were collected, and clinical indicators such as the Rapid Shallow Breathing Index (RSBI), Procalcitonin (PCT), Blood Oxygen Partial Pressure (PaO_2), and respiratory rate were observed. Diaphragmatic function was assessed using ultrasound during a 30 minute Spontaneous Breathing Trial (SBT). Patients were divided into successful and failed weaning groups based on the outcome of the weaning. Logistic regression analysis was used to identify factors influencing weaning in patients with severe pneumonia and to construct a predictive model for the successful weaning. The predictive value of the model was analyzed using the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve. The successful weaning group had significantly higher Diaphragmatic Thickening Ratio (DTR) and Diaphragmatic Excursion (DE) as compared to the failed weaning group, $P < 0.05$. Mechanical ventilation duration, PCT, RSBI, DTR, and DE were identified as factors influencing weaning in patients with severe pneumonia ($P < 0.05$). The logistic regression model for predicting weaning success was formulated as follows: $\ln(P/(1-P)) = 16.107 - 0.828t - 5.304R_{\text{PCT}} - 0.258R_{\text{RSBI}} + 5.132D_{\text{DTR}} + 9.532D_{\text{DE}}$. The model's goodness-of-fit test showed $\chi^2 = 0.653$, $P > 0.05$. The Area Under the Curve (AUC) was 0.965 (95%CI: 0.925–1.000), with a sensitivity of 96.4% and specificity of 86.7%, and a Youden index of 0.831. The results demonstrated that this predictive model incorporating multiple indicators provides significant guidance for weaning in patients with severe pneumonia, and it can provide a reliable reference for clinical judgment on the timing of weaning from mechanical ventilation.

Keywords: severe pneumonia; mechanical ventilation; diaphragmatic ultrasound; predictive model

(责任编辑 章践立)