

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2024.04.013

床旁膈肌联合心脏超声在有创机械通气患者撤机中的应用

姜艳茹, 王穆群, 刘海涛, 宫蓓蕾

(蚌埠医科大学第一附属医院呼吸与危重症医学科, 安徽蚌埠 233000)

【摘要】目的 探讨床旁膈肌联合心脏超声检测膈肌移动度 (DE)、二尖瓣舒张早期峰值血流速度 (E) / 二尖瓣瓣环舒张早期峰速 (e')、左室射血分数 (LVEF) 等指标在有创机械通气患者撤机中的应用价值。**方法** 选取 2019 年 1 月至 2023 年 8 月在蚌埠医科大学第一附属医院呼吸重症监护室进行有创机械通气的 50 例患者作为研究对象, 根据撤机结局将其分为撤机成功组与撤机失败组, 收集两组患者的一般资料及 DE、 E/e' 、LVEF 水平, 并评估 DE、 E/e' 、LVEF 水平联合预测有创机械通气患者撤机结局的价值。**结果** 有创呼吸机撤机前撤机成功组患者的 DE、LVEF 水平分别为 (1.17 ± 0.26) cm、 (56.84 ± 7.02) %, 高于撤机失败组的 (0.86 ± 0.17) cm、 (46.33 ± 6.86) %, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$), 而撤机成功组患者的 E/e' 水平 (9.64 ± 1.08) 低于撤机失败组患者 (10.67 ± 1.17) , 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。ROC 曲线分析结果显示, DE、 E/e' 、LVEF 水平预测有创机械通气患者撤机结局的 AUC 分别为 0.827、0.721、0.763, 三者联合预测有创机械通气患者撤机结局的 AUC 为 0.935。**结论** 有创机械通气患者床旁膈肌联合心脏超声检测 DE、 E/e' 、LVEF 等指标水平可以预测患者撤机结局, 有助于进一步提高呼吸机撤机结局预测的准确性。

【关键词】 膈肌功能; 床旁心脏超声; 机械通气撤机**【中图分类号】** R445.1**【文献标志码】** A

文章编号: 1674-1242 (2024) 04-0381-06

Application of Bedside Diaphragmatic Ultrasonography and Transthoracic Echocardiography in Patients with Invasive Mechanical Ventilation

JIANG Yanru, WANG Muqun, LIU Haitao, GONG Beilei

(Department of Respiratory and Critical Care Medicine, The First Affiliated Hospital of Bengbu Medical University, Bengbu, Anhui 233000, China)

【Abstract】 Objective To investigate the value of bedside diaphragmic ultrasonography combined with transthoracic echocardiography in detecting diaphragmic excursion (DE), mitral valve early diastolic peak flow velocity (E)/mitral annular early diastolic peak velocity (e'), and left ventricular ejection fraction (LVEF) in the weaning patients with invasive mechanical ventilation. **Methods** Fifty patients who underwent invasive mechanical ventilation in the respiratory intensive care unit of the First Affiliated Hospital of Bengbu Medical University from January 2019 to August 2023 were selected as the study subjects, and they were divided into the successful weaning group and the failed weaning group according to the outcome of the weaning, and the general data and DE, E/e' , and LVEF levels of the patients in the two groups were collected and evaluated to assess the joint prediction of invasive by the levels of DE, E/e'

收稿日期: 2023-08-27。

作者简介: 姜艳茹 (1993—), 女, 汉族, 安徽省蚌埠市人, 硕士研究生, 住院医师; 研究方向: 呼吸系统疾病; 电话 (Tel.): 18856109128; 邮箱 (E-mail): bbmcjyr@163.com; 通信地址: 安徽省蚌埠市恒大翡翠华庭 D 区 20 号楼 902, 蚌埠医科大学第一附属医院呼吸与危重症医学科。

e' , and LVEF in the value of weaning outcome in mechanically ventilated patients. **Results** The DE and LVEF levels of patients in the successful weaning group before weaning of invasive mechanical ventilation were (1.17 ± 0.26) cm and $(56.84 \pm 7.02)\%$, respectively, which were higher than those of patients in the unsuccessful weaning group (0.86 ± 0.17) cm and $(46.33 \pm 6.86)\%$, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$), whereas the E/e' levels of patients in the successful weaning group (9.64 ± 1.08) were lower than those of patients in the failed machine weaning group (10.67 ± 1.17) , and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). The results of ROC curve analysis showed that the AUCs of DE, E/e' , LVEF, and their combined test for predicting the outcome of weaning patients with invasive mechanical ventilation were 0.827, 0.721, and 0.763, respectively, and the AUC for the combination of the three for predicting the outcome of weaning in patients with invasive mechanical ventilation was 0.935. **Conclusions** Bedside diaphragmatic ultrasonography combined with transthoracic echocardiography in invasive mechanically ventilated patients to detect the levels of DE, E/e' , and LVEF can predict patients' weaning outcome, which helps to further improve the accuracy of predicting ventilator weaning outcome.

【Key words】 Diaphragm Function; Bedside Transthoracic Echocardiography; Mechanical Ventilation Weaning

0 引言

有创机械通气是一种广泛应用于重症监护病房的技术,撤机过程非常关键,需要基于可信的临床、放射和实验室参数做出正确的决定。这一决定至关重要,因为有创机械通气患者撤机失败的死亡率明显比撤机成功的高^[1]。自主呼吸试验(Spontaneous Breathing Trial, SBT)是评估有创机械通气患者撤机结局的方法,但仅依靠SBT结果对撤机结局进行预测的准确性有限,传统SBT评估后患者撤机失败率高达10%~25%^[2]。影响撤机成败的因素非常复杂。膈肌作为主要的呼吸运动相关肌肉,多项研究表明,膈肌功能障碍可导致有创机械患者撤机失败^[3,4]。此外,在心脏功能障碍的基础上,有创机械通气撤机后胸膜腔压力发生改变,也会导致撤机失败^[5]。因此,有效评估膈肌及心脏功能有助于降低有创机械通气患者撤机失败的概率。床旁超声具有简单、安全、无创、易于反复进行的优点,可以评估患者膈肌及心脏功能,已成为重症监护病房患者评估和临床管理的重要组成部分^[6]。本研究选取50例有创机械通气患者作为研究对象,分析患者的膈肌移动度(Diaphragmatic Excursion, DE)、左室射血分数(Left Ventricular Ejection Fraction, LVEF)、二尖瓣舒张早期峰值血流速度(E) / 二尖瓣瓣环舒张早期峰速(e')等多重指标联合预测患者撤机结局的能力。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究选取2019年1月至2023年8月蚌埠医科大学第一附属医院呼吸重症监护室收治的有创机械通气患者50例,根据撤机结局将其分为撤机成功组($n=32$)、撤机失败组($n=18$)。撤机成功组患者男23例、女9例,年龄为50~76(62.81 ± 6.89)岁,呼吸系统原发疾病中慢性阻塞性肺疾病患者8例,重症肺炎患者14例,支气管扩张症患者5例。撤机失败组患者男9例、女9例,年龄为36~75(57.11 ± 10.32)岁,呼吸系统原发疾病中慢性阻塞性肺疾病患者6例,重症肺炎患者12例,支气管扩张症患者4例(22.2%)。两组患者一般资料比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。本研究经我院医学伦理委员会批准。

1.2 纳入与排除标准

纳入标准:①年龄大于18周岁;②接受有创机械通气持续时间大于48h。排除标准:①存在膈肌麻痹;②目前气管处于切开状态;③合并中心气道狭窄;④其他原因放弃治疗。

1.3 方法

1.3.1 膈肌功能测定

所有患者在行SBT前采取仰卧位,使用美国通用电气公司GE Vivid E9超声诊断仪器,在患者右腋前线与锁骨中线之间,将频率为3.5~5.0MHz

的低频超声探头横向垂直放置于肋弓下缘，以肝脏作为透声窗，膈肌呈一条高回声线，切换二维模式，在M型超声模式下选取测量线，测量周期内吸气末最高点至呼气末最低点的位移垂直距离为DE。

1.3.2 心脏功能测定

所有患者在SBT前均采用仰卧位，使用美国通用电气公司GE Vivid E9超声诊断仪器，超声探头置于患者标准胸骨旁长轴，采用心尖四腔切面视图。测量左室收缩功能的LVEF，使用脉冲波多普勒成像二尖瓣舒张早期峰值血流速度(E)和舒张晚期峰值血流速度(A)，组织多普勒成像二尖瓣瓣环舒张早期峰速(e')，根据所测指标计算 E/e' 。

1.3.3 自主呼吸试验

有创机械通气患者采取半卧位，呼吸机模式调整为T管模式，通过T管呼吸加温湿化的氧气，进行至少30min的SBT，记录呼吸浅快指数、呼吸频率、心率和潮气量。

1.3.4 撤机结果评价

患者SBT通过，则进行撤机，并密切观察患者48h，若48h内重新插管，说明撤机失败，反之则说明撤机成功。

1.4 观察指标

(1) 对比有创机械通气撤机结局不同组患者

的DE、 e' 、 E 、 E/e' 、LVEF水平。

(2) ROC曲线分析有创机械通气患者DE、 E/e' 、LVEF水平联合预测撤机结局的价值。

1.5 统计学方法

本研究使用SPSS 22.0统计软件对数据进行统计学分析。计量资料符合正态分布，以 $\bar{x} \pm s$ 示，行 t 检验，绘制ROC曲线，分析DE、 E/e' 、LVEF水平联合预测撤机结局的价值， $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 不同撤机结局的有创机械通气患者DE、 e' 、 E 、 E/e' 、LVEF水平比较

撤机成功组患者DE、LVEF水平均高于撤机失败组患者，差异具有统计学意义($P < 0.05$)；撤机成功组患者 E/e' 水平低于撤机失败组患者，差异具有统计学意义($P < 0.05$)。具体数据如表1所示。

2.2 DE、 E/e' 、LVEF水平联合预测有创机械通气患者撤机结局的ROC曲线分析

以撤机失败为阳性标本，以撤机成功为阴性标本，绘制有创机械通气患者DE、 E/e' 、LVEF水平联合预测撤机结局的ROC曲线。结果显示，DE、 E/e' 、LVEF水平联合预测撤机失败的AUC为0.935，敏感度、特异度分别为96.23%和94.52%。具体数

表1 不同撤机结局的有创机械通气患者DE、 e' 、 E 、 E/e' 、LVEF水平比较

Tab.1 Comparison of DE, e' , E , E/e' , and LVEF levels in invasive mechanical ventilation patients with different weaning outcomes

组别	例数/例	DE/cm	e'	E	E/e'	LVEF/%
撤机成功组	32	1.17±0.26	7.92±1.07	75.69±8.73	9.64±1.08	56.84±7.02
撤机失败组	18	0.86±0.17	7.40±0.96	78.11±7.84	10.67±1.17	46.33±6.86
t		20.029	2.945	0.953	6.958	26.237
P		< 0.001	0.093	0.334	0.011	< 0.001

表2 DE、 E/e' 、LVEF水平联合预测有创机械通气患者撤机结局的ROC曲线分析

Tab.2 ROC curves analysis of combined prediction of DE, E/e' , and LVEF levels for weaning outcomes in patients with invasive mechanical ventilation

指标	AUC值(95%CI)	最佳截断值	敏感度/%	特异度/%	P
DE/cm	0.827(0.713~0.943)	1.32	78.63	86.52	< 0.001
E/e'	0.721(0.634~0.914)	10.14	76.32	81.58	< 0.001
LVEF/%	0.763(0.619~0.907)	50	82.36	76.85	0.002
联合预测	0.935(0.895~0.993)		96.23	94.52	< 0.001

据如表2和图1所示。

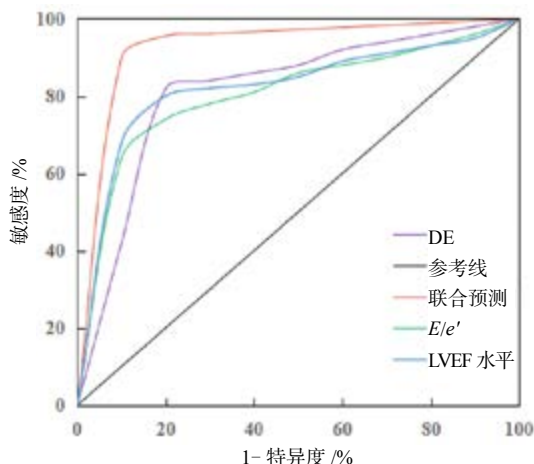


图1 DE、 E/e' 、LVEF水平联合预测有创机械通气患者撤机结局的ROC曲线

Fig.1 ROC curves for predicting weaning outcomes in patients with invasive mechanical ventilation by combining DE, E/e' , and LVEF levels

3 讨论

有创机械通气是危重症患者必备的生命支持技术，当原发疾病改善时，撤机结局会影响患者并发症的发生率和死亡率，撤机失败将导致患者病情反复甚至加重。因此，准确地判断机械通气的撤机时间对改善患者的预后具有重要意义。但是，撤机失败的原因非常复杂，撤机结果的预测准确性受到单种方法、单个器官评估的限制，因此临床亟须新的指标来预测有创机械通气患者的撤机结局。

膈肌是主要的呼吸肌肉，在通气中起着至关重要的作用。脓毒血症机械通气患者往往会出血膈肌功能障碍。Goligher等^[7]的研究表明，有多达50%的患者在机械通气早期出现膈肌厚度减少，这种肌肉萎缩主要出现在机械通气第1周。对机械通气患者进行的动态膈肌超声检查显示，大约40%的患者在前三天膈肌厚度会逐渐减少。Sklar等^[8]的研究表明，几乎一半（49%）的患者在插管24h后存在膈肌活动缺失或降低的情况。同时，陆志华等^[9]的研究也表明脓毒血症机械通气患者膈肌功能障碍发生率较高。以上研究均表明膈肌功能障碍可能与机械通气患者预后不佳有关，包括撤机困难和呼吸重症监护室住院时间延长、并发症发生风险增大、死亡率增加。目前评估成人膈肌功能的金标准是有创的，如通过食道和胃测压气囊测量跨膈压或膈神

经磁刺激，床旁实施存在困难。而超声可以简单地评估患者膈肌功能的改变，成为一项很有前景的评估技术。多项研究表明，床旁膈肌超声可以评估有创机械通气患者撤机结局^[10-12]。本研究结果表明，呼吸机撤机前撤机成功组患者的DE水平为 (1.17 ± 0.26) cm，高于撤机失败组的 (0.86 ± 0.17) cm，且DE预测有创机械通气患者撤机结局能力较佳，这与既往研究的结果一致。

E/e' 是一个反映左心室舒张功能的参数，其变化可以反映左心室充盈压力的改变。有创机械通气患者撤机之后转为自主呼吸，胸膜腔压力发生改变，导致左心室后负荷增加，左室舒张功能下降。因此，有创机械通气撤机可加重患者原有左心室舒张功能障碍，导致撤机失败^[13]。本研究结果表明，撤机成功组患者 E/e' 水平 (9.64 ± 1.08) 低于撤机失败组患者 (10.67 ± 1.17) ，差异具有统计学意义 $(P < 0.05)$ ，与既往研究的结果一致，且 E/e' 水平可以预测有创机械通气患者的撤机结局。LVEF是反映左心室舒张功能的重要指标。有创机械通气患者撤机后，胸膜腔压力发生改变，导致体循环负荷增加，静脉回流增加，进而导致左心室前后负荷增加，可加重心功能不全患者LVEF下降，导致撤机失败。赵敏等^[10]的研究表明，LVEF水平与有创机械通气患者的撤机结局相关。本研究结果显示，有创呼吸机撤机前撤机成功组患者的LVEF水平为 $(56.84 \pm 7.02)\%$ ，高于撤机失败组的 $(46.33 \pm 6.86)\%$ ，差异具有统计学意义 $(P < 0.05)$ ，且患者LVEF水平也可以预测有创机械通气患者撤机结局，也与既往研究的结果^[14]一致。

撤机是一个复杂的过程，涉及多方面的因素，单一结果不能精准地预测撤机成功性。DE反映了膈肌功能，是决定呼吸肌力的重要指标，其与撤机结局显著相关^[15]。 E/e' 反映了左心室舒张功能，与呼吸肌耐力和胸腹压变化密切相关，其异常可能影响膈肌收缩活动^[16]。LVEF反映了心功能状态，心功能不佳可能影响呼吸肌的代谢和工作能力^[17]。因此，联合DE、 E/e' 和LVEF能更加全面地评估患者的生理状态，从而提高预测撤机失败的准确性。本研究结果表明，DE、 E/e' 和LVEF联合预测有创

机械通气患者撤机结局的 AUC 为 0.935, 且特异度和敏感度较高, 进一步证实了多因素联合预测能够较好地区分撤机成功和撤机失败的患者, 为进一步探讨影响有创机械通气患者撤机的因素提供了重要依据, 有助于深入理解撤机失败的潜在机制。

本研究也有一定的局限性: ①本研究为单中心、小样本研究, 研究结论仍需通过大样本、多中心研究进一步证实。②本研究只行右半膈肌检查, 可能会影响膈肌的预测价值。③本研究未行右心室功能测定, 可能会对预测结果有潜在影响。

综上所述, 床边膈肌及心脏超声中 DE、 E/e' 和 LVEF 水平与有创机械通气患者撤机结局相关, 可作为预测患者撤机结局的辅助指标, 最大限度地降低有创机械通气患者撤机失败的概率, 具有很高的推广价值。

参考文献

- [1] BURNS KEA, RAPTIS S, NISENBAUM R, *et al.* International practice variation in weaning critically ill adults from invasive mechanical ventilation[J]. *Annals of the American Thoracic Society*, 2018, 15(4): 494-502.
- [2] 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]. *Journal of the American Medical Association*, 2019, 321(22): 2175-2182.
- [3] 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.
LIU Jinyu, WANG Qiang, WANG Xiaomi, *et al.* Exploring the value of diaphragmatic ultrasound score in predicting the success of mechanical ventilation weaning[J]. *Journal of Clinical Ultrasound in Medicine*, 2020, 22(1): 38-41.
- [4] 任鹏飞, 朱凤琴, 赵勇. 超声膈肌功能评估在指导机械通气患者撤机中的应用[J]. *临床与病理杂志*, 2020, 40(4): 920-925.
REN Pengfei, ZHU Fengqin, ZHAO Yong. Application of ultrasound diaphragmatic function assessment in guiding weaning of mechanically ventilated patients[J]. *Journal of Clinical and Pathological Research*, 2020, 40(4): 920-925.
- [5] DRES M, ROZENBERG E, MORAWIEC E, *et al.* Diaphragm dysfunction, lung aeration loss and weaning-induced pulmonary oedema in difficult-to-wean patients[J]. *Annals of Intensive Care*, 2021, 11(1): 99.
- [6] ROBBIA C, WONG A, POOLE D, *et al.* Basic ultrasound head-to-toe skills for intensivists in the general and neuro intensive care unit population: consensus and expert recommendations of the European Society of Intensive Care Medicine[J]. *Intensive Care Medicine*, 2021, 47(12): 1347-1367.
- [7] GOLIGHER E C, DRES M, FAN E, *et al.* Mechanical ventilation-induced diaphragm atrophy strongly impacts clinical outcomes[J]. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2018, 197(2): 204-213.
- [8] SKLAR M C, MADOTTO F, JONKMAN A, *et al.* Duration of diaphragmatic inactivity after endotracheal intubation of critically ill patients[J]. *Critical Care*, 2021, 25(1): 26.
- [9] 陆志华, 郭丰, 张舸, 等. 脓毒症机械通气患者膈肌功能障碍的临床研究[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2018, 41(9): 696-700.
LU Zhihua, GUO Feng, ZHANG Ge, *et al.* A clinical study on diaphragmatic dysfunction in patients with sepsis undergoing mechanical ventilation[J]. *Chinese Journal of Tuberculosis and Respiratory Diseases*, 2018, 41(9): 696-700.
- [10] 赵敏, 倪卫星, 郑永科, 等. 床旁多脏器联合超声在重症患者机械通气脱机风险评估中的应用价值[J]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2019, 16(2): 95-101.
ZHAO Min, NI Weixing, ZHENG Yongke, *et al.* The application value of bedside multi-organ combined with ultrasound in risk assessment of mechanical ventilation weaning in critically ill patients[J]. *Chinese Journal of Medical Ultrasound (Electronic Edition)*, 2019, 16(2): 95-101.
- [11] 杨旻, 李惠, 尹路, 等. 床旁肺部超声在重症患者机械通气脱机评估中的应用价值[J]. *中国急救医学*, 2017, 37(11): 1000-1004.
YANG Min, LI Hui, YIN Lu, *et al.* The application value of bedside pulmonary ultrasound in the evaluation of mechanical ventilation weaning in critically ill patients[J]. *Chinese Journal of Critical Care Medicine*, 2017, 37(11): 1000-1004.
- [12] LI S, CHEN Z, YAN W. Application of bedside ultrasound in predicting the outcome of weaning from mechanical ventilation in elderly patients[J]. *BMC Pulmonary Medicine*, 2021, 21(1): 217.
- [13] MOSCHIETTO S, DOYEN D, GRECH L, *et al.* Transthoracic echocardiography with doppler tissue imaging predicts weaning failure from mechanical ventilation: evolution of the left ventricle relaxation rate during a spontaneous breathing trial is the key factor in weaning outcome[J]. *Critical Care*, 2012, 16(3): R81.
- [14] 赵浩天, 王华伟, 龙玲, 等. 心脏、肺和膈肌超声联合预测重症机械通气患者撤机的价值[J]. *临床超声医学杂志*, 2022, 24(8): 608-612.
ZHAO Haotian, WANG Huawei, LONG Ling, *et al.* The value of com-

- bined cardiac, pulmonary, and diaphragmatic ultrasound in predicting weaning in patients with severe mechanical ventilation[J]. **Journal of Clinical Ultrasound in Medicine**, 2022, 24 (8): 608-612.
- [15] LEE Y, SON S, KIM D K, *et al.* Association of diaphragm thickness and respiratory muscle strength with indices of sarcopenia[J]. **Annals of Rehabilitation Medicine**, 2023, 47(4): 307.
- [16] HAMMER S M, BRUHN E J, BISSEN T G, *et al.* Inspiratory and leg muscle blood flows during inspiratory muscle metaboreflex activation in heart failure with preserved ejection fraction[J]. **Journal of Applied Physiology**, 2022, 133(5): 1202-1211.
- [17] SALAH H M, GOLDBERG L R, MOLINGER J, *et al.* Diaphragmatic function in cardiovascular disease: JACC review topic of the week[J]. **Journal of the American College of Cardiology**, 2022, 80(17): 1647-1659.