

胸腔积液水平预测机械通气撤机失败的价值研究

程伟,任艳,程玲霞,刘伟,陈然贵,徐平

四川省自贡市第四人民医院急诊科,四川 自贡 643000

【摘要】目的 评估胸腔积液水平对机械通气患者撤机结局的预测价值。**方法** 纳入 2024 年 4 月至 2025 年 5 月自贡市第四人民医院急诊重症监护室(EICU)符合撤机条件的机械通气患者 71 例。拔管前利用无创心输出量监测仪测定胸腔积液水平、每搏输出量、心输出量、外周血管阻力及心肌收缩力,同时采集动脉血气、脑钠肽(BNP)及心脏超声左室射血分数,计算氧合指数。根据拔管后 48 小时内是否需再次通气,分为撤机成功组 48 例与失败组 23 例。采用 R 语言绘制 ROC 曲线,比较胸腔积液水平、BNP 及氧合指数对撤机失败的预测效能。**结果** 失败组 APACHE-II 评分、NP 及胸腔积液水平水平显著高于成功组($P < 0.01$)。胸腔积液水平预测撤机失败的 AUC 为 0.927(95% CI 0.861~0.993),优于 BNP(AUC 0.709)与氧合指数(AUC 0.519)。当胸腔积液水平取最佳截断值 $47 \text{ k}\Omega^{-1}$ 时,敏感性为 85.2%,特异性为 87.0%。**结论** 胸腔积液水平可作为机械通气患者撤机失败的有效预测指标,其准确性优于 BNP 及氧合指数,具备无创、床旁、可重复的优势,值得在多中心研究中进一步验证。

【关键词】 机械通气;撤机预测;胸腔积液水平;无创心输出量监测;脑钠肽

【中图分类号】 R459.7

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-6170(2026)02-0142-05

Predictive value of thoracic fluid content for weaning failure in mechanically ventilated patients CHENG Wei, REN Yan, CHENG Ling-xia, LIU Wei, CHEN Ran-gui, XU Ping *Emergency Department, Zigong Fourth People's Hospital, Zigong 643000, China*

【Corresponding author】 XU Ping

【Abstract】Objective To evaluate the predictive value of thoracic fluid content (TFC) for weaning outcome in mechanically ventilated patients. **Methods** Seventy-one ventilated patients meeting weaning criteria in the Emergency Intensive Care Unit (EICU) in our hospital from April 2024 to May 2025 were enrolled. Before extubation, use a non-invasive cardiac output monitor to measure TFC, stroke volume, cardiac output, peripheral vascular resistance, and myocardial contractility. At the same time, arterial blood gas, B-type natriuretic peptide (BNP) and echocardiographic left-ventricular ejection fraction were also collected to calculate the oxygenation index. According to the need for re-ventilation within 48 h after extubation, the patients were divided into a weaning success group (48 cases) and a failure group (23 cases). ROC curves were drawn using R language to compare the predictive performance of thoracic fluid level, BNP, and oxygenation index for weaning failure. **Results** The APACHE-II score, NP, and thoracic fluid level were significantly higher in the failure group ($P < 0.01$). The AUC of thoracic fluid level for predicting weaning failure was 0.927 (95% CI 0.861~0.993), which was superior to BNP (AUC 0.709) and oxygenation index (AUC 0.519). When the thoracic fluid level took the best cut-off value of $47 \text{ k}\Omega^{-1}$, the sensitivity was 85.2% and the specificity was 87.0%. **Conclusion** Thoracic fluid level can be used as an effective prediction index for weaning failure in mechanically ventilated patients, with advantages of non-invasive, bedside, and repeatable, which is worth further verification in multicenter research.

【参考文献】

- [1] Vinson AJ, Zanjir W, Nallbani M, et al. Predictors of hyperkalemia among patients on maintenance hemodialysis transported to the emergency department by ambulance [J]. *Kidney*, 2022, 3 (4): 615-626.
- [2] Li H, Gu X, Qiu L, et al. The effect of dietary fiber on hyperkalemia in maintenance hemodialysis patients: a cross-sectional study [J]. *J Ren Nutr*, 2025, 35(1): 181-186.
- [3] 刘芳芳, 娄小平, 王文娇, 等. 风险分级管理对慢性肾脏病高钾血症患者的效果研究 [J]. *中国血液净化*, 2023, 22(6): 467-471.
- [4] 梅长林, 陈晓农, 郝传明, 等. 慢性肾脏病高钾血症风险评估及管理专家建议 (2020 版) [J]. *中华医学杂志*, 2020, 100 (44): 3489-3493.
- [5] Charytan DM, Winkelmayer WC, Granger CB, et al. Effects of dialysate potassium concentration of 3.0 mmol/l with sodium zirconium cyclosilicate on dialysis-free days versus dialysate potassium concentration of 2.0 mmol/l alone on rates of cardiac arrhythmias in hemodialysis patients with hyperkalemia [J]. *Kidney Int*, 2025, 107(1): 169-179.
- [6] Shome-Vasanthan E, Chou S, Hemmett J, et al. Reducing the frequency of surveillance blood work in patients treated with maintenance hemodialysis: a local quality improvement initiative [J]. *Can J Kidney Health Dis*, 2024, 11: 20543581241255784.
- [7] 耿全利, 张培, 刘倩, 等. 零缺陷护理干预在连续性血液净化治疗重症监护病房高钾血症患者中的效果观察 [J]. *山西医药杂志*, 2023, 52(14): 1102-1105.
- [8] 中华医学会肾脏病学分会专家组. 中国慢性肾脏病患者血钾管理实践专家共识 [J]. *中华肾脏病杂志*, 2020, 36(10): 781-792.
- [9] Sharma A, Verma S, Mirzai S, et al. Implementing a self-reported immunosuppression adherence questionnaire to screen for non-adherence in routine care of kidney transplant recipients [J]. *Clin Transplant*, 2024, 38(1): e15157.
- [10] Lasanthika C, Wanigasuriya K, Hettiaratchi U, et al. Psychometric properties of end stage renal disease-adherence questionnaire-sinhalese version among patients receiving haemodialysis [J]. *PLoS One*, 2023, 18(10): e0292938.
- [11] 贾会学, 孙尚念, 李六亿. 基于风险分级的经腹直肠癌切除术后器官腔隙感染防控效果 [J]. *中华医院感染学杂志*, 2023, 33(2): 300-304.
- [12] 高玉梅, 吴桃峰, 林丽华, 等. 风险评估工具在血液透析患者高钾血症分级管理中的应用 [J]. *中国血液净化*, 2022, 21(9): 692-696.
- [13] 李婷, 裴永菊, 卫晓静, 等. 风险分级护理模式对围术期患者压力性损伤的预防效果 [J]. *齐鲁护理杂志*, 2023, 29(16): 31-34.
- [14] 梁灿, 范艳丽. 风险分级护理联合优势内容递增宣教对维持性血液透析患者的影响 [J]. *国际护理学杂志*, 2025, 44(2): 256-260.

(收稿日期: 2025-09-08; 修回日期: 2025-11-16)

(本文编辑: 彭羽)

ning success group ($n=48$) and a weaning failure group ($n=23$). ROC curves were constructed with R software to compare the predictive performance of TFC, BNP and oxygenation index for weaning failure. **Results** The APACHE-II score, levels of BNP and TFC were significantly higher in the failure group than those in the success group ($P<0.01$). The AUC for predicting weaning failure using TFC was 0.927 (95% CI 0.861~0.993), that was superior to AUC 0.709 of BNP and AUC 0.519 of oxygenation index. When TFC was set at the optimal cutoff of $47\text{ k}\Omega^{-1}$, the sensitivity was 85.2% and the specificity was 87.0%. **Conclusions** TFC is an effective, non-invasive and bedside-reproducible predictor of weaning failure in mechanically ventilated patients. Its accuracy is better than that of BNP and oxygenation index. Its advantages are non-invasive, bedside and reproducible. It is worth further verified in multicenter studies

【Key words】 Mechanical ventilation; Weaning prediction; Thoracic fluid content; Non-invasive cardiac output monitoring; Brain natriuretic peptide

机械通气是重症监护室挽救患者生命的重要治疗措施^[1],撤机是机械通气治疗的关键节点。研究报道美国 1 年需要机械通气患者高达 100 万^[2],撤机失败可能导致高达 25%~50% 病死率^[3-5]。现行国内外撤机流程指南普遍以自主呼吸试验(spontaneous breathing trial, SBT) 作为拔管标准^[6-10],但长时间通气患者即便通过 SBT,仍有约 16% 需再次插管^[11]。近期机器学习研究指出,意识状态、呼吸参数及液体平衡是撤机成败的三大核心要素^[12],容量管理在撤机决策中具有独立地位。电子心力测量法(electrical cardiometry, EC)可在床旁无创、实时地测定胸腔积液水平(TFC),该指标综合反映血管内、外及胸膜腔液体总量,是量化肺外水肿的可靠参数。本研究拟验证 TFC 对机械通气患者撤机结局的预测效能,为临床提供简便、客观的决策工具。

1 资料与方法

1.1 一般资料 连续纳入 2024 年 4 月至 2025 年 5 月自贡市第四人民医院 EICU 接受机械通气的患者 71 例。纳入标准:①经口或经鼻气管插管机械通气;②年龄 ≥ 18 岁;③计划通过自主呼吸试验(SBT)撤机并拔管。排除标准:①气管切开、自行或意外拔管;②胸壁烧伤/皮损导致电极无法贴附;③植入心脏起搏器或主动脉内球囊反搏运行中;④严重主动脉瓣狭窄/关闭不全;⑤严重升主动脉扩张 $> 55\text{ mm}$;⑥气胸;⑦GCS 评分 ≤ 8 分;⑧诊断为慢性心力衰竭;⑨临床资料不全患者。本研究经医院医学伦理委员批准(审批号:EC-2024-078)

1.2 方法

1.2.1 撤机流程 撤机流程参照《2006 年机械通气临床应用指南》^[13]。原发病因控制后进入撤机筛查,先行 3 min 自主呼吸试验(SBT),通过后再持续 30 min;若自主呼吸试验成功即拔除气管导管,失败则立即恢复机械通气。SBT 开始前 5 min,采用 EC 采集血流动力学参数,并行床旁心脏超声测定左室

射血分数(EF)。SBT 成功客观标准:①血气: $\text{FiO}_2 < 0.40$ 时 $\text{SpO}_2 \geq 0.90$, $\text{PaO}_2 > 60\text{ mmHg}$, $\text{pH} \geq 7.32$, PaCO_2 上升 $\leq 10\text{ mmHg}$;②循环: $\text{HR} < 140$ 次/分钟且波动 $< 20\%$,收缩压 $90\sim 180\text{ mmHg}$ 且变化 $< 20\%$,无需血管活性药;③呼吸: $\text{RR} \leq 35$ 次/min 且变动 $< 50\%$ 。失败主观指标:意识障碍(嗜睡、昏迷、躁动)、出汗、辅助呼吸肌参与或矛盾呼吸。

1.2.2 EC 操作方法及原理 电子心力测量仪采用德国 OSYPKA。SBT 开始前 5 分钟进行 EC^[14]:患者平卧位,连接电极前对皮肤进行清洁,A 电极片粘贴于左/右侧耳垂附近平坦区域,B 电极片黏贴于左/右侧颈动脉肩颈交接处,C 电极片粘贴于左/右侧剑突水平线于腋中线交接处平坦部位,D 电极片黏贴于 C 电极片往下约 15 cm,电极片首选左侧,A~B 间隔 5 cm 以上,C~D 间隔 15 cm(见图 1)。信号稳定后机器每 20 s 自动计算 1 次,连续记录 3 次测量值,取平均值。

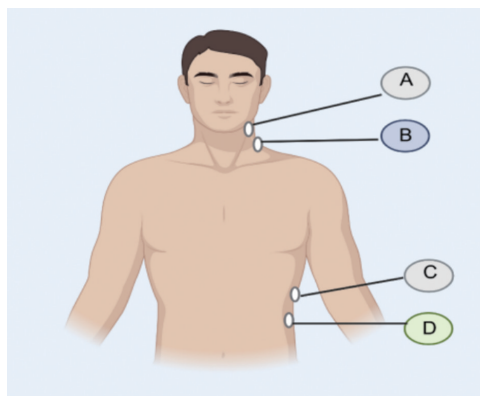


图 1 无创心输出量测量电极片粘贴位置示意图

1.2.3 撤机成功与失败定义^[15] 脱机成功:顺利通过 SBT 过程,且气管插管拔除后 48 h,可自主呼吸,无需再次机械通气。脱机失败:SBT 过程中,出现生命体征恶化,如:呼吸急促(呼吸频率超过 35 次/分),吸入氧浓度为 40% 时,氧饱和度低于 90% 或 PaO_2 低于 60 mmHg ,辅助呼吸肌活动明显增加,以及呼吸窘迫的明显面部体征,需调回之前呼吸支持模式及参数;气管插管拔除后 48 h 需再次插管行机械通气,甚至 48 h 内死亡。

【基金项目】四川省科技厅项目(编号:2024JDKP0021);自贡市科技局项目(编号:2024-YCY-02-09)

【通讯作者】徐平

1.3 观察指标 记录患者一般情况,包括患者年龄、性别、APACHE-II 评分、SBT 开始前 24 小时液体平衡、SBT 开始后 24 小时液体平衡、机械通气时间以及血红蛋白、BNP 等实验室指标。统计拔管前血气分析相关指标,包括 pH、PaO₂、PaCO₂、实测剩余碱(HCO₃⁻)、标准剩余碱(standard base excess, SBE)、实际碳酸氢盐(actual base excess, ABE)、乳酸(lactic acid, Lac),并计算氧合指数。采用 EC 获取指标,包括 TFC、每搏输出量(Stroke volume, SV)、心输出量(cardiac output, CO)、外周血管阻力(systemic vascular resistance, SVR)、心肌收缩力(myocardial contractility, ICON)。彩超测量 EF 值。结局指标是脱机 24 小时是否再次通气。

1.4 统计学方法 选用 R 语言对数据进行分析处

理,分类变量以频数(百分比)表示,符合正态分布数据以均值±标准差的形式呈现,连续非正态分布变量数据以中位数(Q₁, Q₃)表示。组间比较采用 Mann-Whitney U 检验,计算各指标预测脱机结局的 ROC 曲线,包括曲线下面积、敏感性、特异性等。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者基本资料比较 71 例患者中 48 例(67.6%)撤机成功,23 例(32.4%)失败。基线特征显示,两组性别分布差异无统计学意义($P = 0.581$)。失败组 APACHE-II 评分显著高于成功组($P < 0.05$)。两组间 SBT 前 24 h、开始后 24 h 液体平衡、机械通气时间及血红蛋白水平比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。

表 1 两组基线资料比较

变量	成功(n=48)	失败(n=23)	统计量	P
男[n(%)]	15(31.2)	5(21.7)	-	0.581
年龄(岁)	59(43.5,71.5)	69(56,77)	$U=416.5$	0.097
APACHE-II 评分(分)	18.17±7.54	24.13±7.84	$t=-3.04$	0.004
SBT 开始前 24 小时液体平衡(ml)	-306.15±1000.1	75.65±1249.29	$t=-1.28$	0.208
SBT 开始后 24 小时液体平衡(ml)	850(447.5,1800)	1160(365,2515)	$U=510$	0.61
机械通气时间(h)	49(13.75,87.75)	71(30.5,205)	$U=425$	0.12
血红蛋白(g/L)	95.17±20.25	88.13±17.89	$t=1.49$	0.144

2.2 两组血气分析比较 血气指标 pH、氧分压(PO₂)、二氧化碳分压(PCO₂)、HCO₃⁻、SBE、ABE、

Lac 及氧合指数(PO₂/FiO₂)在两组间差异均无统计学意义($P > 0.05$)。见表 2。

表 2 两组血气分析结果比较

血气分析指标	成功(n=48)	失败(n=23)	统计量	P
pH	7.43±0.06	7.42±0.06	0.097	$t=0.923$
PO ₂ (mmHg)	132.1±39.28	122.09±29.79	$t=1.19$	0.239
PCO ₂ (mmHg)	38.55(35.27, 41.15)	40.6(36,44)	$U=499$	0.519
HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	1.18±4.26	1.29±4.28	$t=539.5$	0.915
SBE	1.2(-2, 3.52)	1.1(-1.45, 2.65)	$U=553$	0.995
ABE	25.45(23.55,28.1)	25.1(23, 27.05)	$U=-0.11$	0.883
Lac (mmol/L)	1.5(1.1, 1.95)	1.4(1.15, 2.1)	$U=585$	0.689
PO ₂ /FiO ₂ (mmHg)	268.04±65.89	264.38±59.76	$t=0.234$	0.816

2.3 两组心脏功能比较 失败组 BNP 显著高于成功组($P = 0.004$),TFC 明显高于成功组($P < 0.001$),

两组间 SV、CO、SVR、ICON 及 EF 等指标差异均无统计学意义($P > 0.05$)。见表 3。

表 3 两组 EC 结果比较

变量	成功(n=48)	失败(n=23)	统计量	P
BNP (pg/ml)	57.27(38.09,172.49)	226.94(90.67,1115.15)	$U=321$	0.004
TFC (kΩ ⁻¹)	35.5(30.75,42)	63(53,78)	$U=81$	< 0.001
SV (mL/beat)	68.07±23.36	76.78±23.3	$t=-1.47$	0.148
CO (L/min)	5.85(5.05,8.55)	7.3(5.05,9.75)	$U=437$	0.159
SVR (dyn·s·cm ⁻⁵)	1156.5(834.25,1535.5)	1004(725.5,1262)	$U=670.5$	0.147
ICON	47.21±16.34	45.77±15.19	$t=0.36$	0.717
EF (%)	0.65(0.62,0.66)	0.62(0.56,0.65)	$U=670.5$	0.143

2.4 撤机失败的多因素 Logistic 回归分析 多因素 Logistic 回归分析结果显示,校正年龄、APACHE-II 评分及 BNP 后,TFC 仍是撤机失败的独立预测因子(OR=1.13,95% CI 1.07~1.21)。而年龄、BNP 和 APACHE-II 评分在多因素模型中未显示独立预测价值。见表 4。

2.5 不同指标预测脱机结局的 ROC 曲线分析

ROC 分析显示,TFC 预测撤机失败的 AUC 为 [0.927 (0.867, 0.986)], 优于 BNP [0.709 (0.565, 0.853)] 和氧合指数 [0.519 (0.373, 0.666)], 且在最佳截断值下敏感性、特异性更高。见图 2。

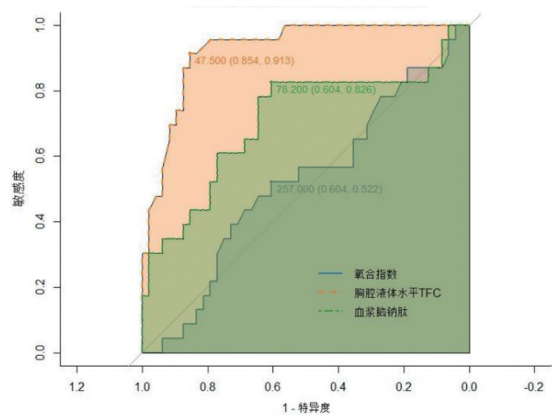


图 2 不同指标预测脱机结局的 ROC 曲线比较

表 4 撤机失败的多因素 Logistic 回归分析

危险因素	B	SE	Wald χ^2	P	OR	95% CI
TFC	1.13	0.03	1294.33	<0.001	1.13	1.07~1.21
年龄	1.03	0.02	2429.76	0.245	1.03	0.98~1.07
血浆脑钠肽	1.00	0.001	1238657.57	0.382	1.00	0.99~1.00
APACHE-II 评分	1.01	0.05	353.64	0.834	1.01	0.91~1.12

3 讨论

本研究利用临床数据初步验证 EC 所获得的 TFC 对机械通气患者撤机结局具有出色的预测效能,ROC 曲线下面积达到 0.927,显著优于脑钠肽(BNP)及氧合指数,且操作无创、床旁即时、可重复性好,为临床提供了一种简便可靠的量化工具。

传统撤机指南主要依赖 SBT 及血气、呼吸力学指标^[6],但对容量状态的评估相对不足。撤机失败患者往往存在潜在的容量过负荷,当自主呼吸负荷骤然增加时,容易诱发肺水肿、呼吸肌疲劳和再插管^[16~18]。本研究中,撤机失败组 TFC 中位数较成功组升高近 80%,并与 BNP 升高趋势一致,提示容量相关的心脏负荷是撤机失败的重要可逆因素。因此,在 SBT 前常规评估 TFC,有助于提前识别液体滞留高危人群,指导利尿或超滤治疗,从而优化撤机时机。

近年来,血流动力学与液体平衡参数、膈肌超声联合超声心电图、浅快指数等指标被逐步纳入撤机预测模型^[19~21]。监测血流动力学的方法可获得胸腔内液体水平,比如经肺热稀释法,在危重症患者心输出量测量准确优于 EC^[22],但是肺热稀释法监测方法创伤大,管道多,并发症多,实用性及适用性都不强。TFC 反映胸腔内全部液体(血管内+血管外+胸膜腔),而经肺热稀释法所得血管外肺水指数(EVLWI)仅量化肺实质内血管外水分。TFC 可在 <3 min 内捕捉急性肺水肿的容量波动,Fathy 学者及其同事发现胸腔积液含量对于预测手术危重患者的撤机结果具有中等能力,TFC 可应用于临床

指导脱机^[23]。TFC 的测量是利用 4 枚体表电极向胸腔注入低幅高频恒定电流,检测红细胞在主动脉内随心脏周期取向变化所引起的电阻抗波动;利用 Nernst-Planck 方程与 Sramek 模型,将胸腔总阻抗的倒数(1/Z)转化为胸腔积液水平 TFC,单位为 $k\Omega^{-1}$,数值越大代表胸腔内血管外、血管内及胸膜腔液体总量越多。TFC 更适合床旁快速筛查,而 EVLWI 受肺血容量影响较小,对肺水增加的特异度更高。因此,两者可互补使用 TFC 用于早期预警和动态趋势监测,EVLWI 用于精确确认肺水程度及指导后续治疗决策。还有研究发现,膈肌超声联合超声心电图也评估胸腔液体水平^[21],超声虽然无创,但是超声主观性强,且需要经过严格培训才能获得准确的结果,否则误差大。但是,我们通过 EC 获得 TFC 操作方法简单、且结果准确,不仅能评估病情判断预测脱机。在临床实践过程中,我们发现通过除了撤机前进行 SBT,可以通过监测 TFC、脑钠肽等水平能更好反应患者液体平衡状态,以确定哪些患者将受益于利尿剂治疗,保障液体平衡,提高拔管成功率,减少呼吸机依赖时间,降低死亡率。因此,研究 TFC 指导撤机具有重要意义。这种监测方法能够更准确地评估患者的液体平衡状态,从而为医生提供更可靠的脱机时机判断依据。这有助于减少撤机失败的风险,降低再次插管率,缩短机械通气时间,最终提高患者生存率和生活质量。

EC 通过皮肤电极测量胸腔电阻抗或呼吸总阻抗的变化,该技术能够分离出循环系统引起的呼吸总阻抗变化,这部分变化部分源于心动周期中红细

胞取向的改变^[14]。EC 仅需四片体表电极,30 秒内即可完成测量,对镇静深度要求低,适用于深镇静或躁动患者,弥补了超声及有创血流动力学监测的不足。与经肺热稀释法相比,TFC 无需中心静脉置管,避免创伤和感染风险;与肺部超声评估 B 线相比,其结果客观、重复性更好,且培训周期短。基于本研究结果,课题组提出“先评估容量,再降低支持”的新思路,本研究提示 TFC 与撤机失败强相关,这支持了以下假设:以 TFC 为靶目标的容量管理可能优化撤机流程。未来需 RCT 研究验证此策略。

TFC 作为一种新型无创容量指标,对机械通气患者撤机具有预测价值,其简便、安全、可重复的特点使其具备广阔的临床推广前景,有望成为撤机决策路径中的常规项目。但本研究为单中心观察性设计,样本量有限,样本量仅 71 例,撤机失败亚组仅 23 例,无法进行多因素校正或深入亚组分析,因此,本文应被视为一项探索性或初步验证性研究,其结果的外推需谨慎。未来需开展多中心的前瞻性研究来证实,进一步验证 TFC 指导的容量优化策略能否直接改善撤机成功率。同时本研究未记录具体利尿剂种类、剂量及每日净液体平衡动态,因此无法直接证实 TFC 升高、容量优化、撤机成功率提高的因果路径。未来需设计以 TFC 为靶点的容量管理随机对照试验,以验证其临床指导价值。

【参考文献】

[1] Walter K. Mechanical Ventilation[J]. *Jama*, 2021, 326(14): 1452.

[2] Pham T, Heunks L, Bellani G, et al. Weaning from mechanical ventilation in intensive care units across 50 countries (WEAN SAFE): a multicentre, prospective, observational cohort study[J]. *Lancet Resp Med*, 2023, 11(5): 465-476.

[3] 王芳, 成亚东, 王爱文. 重症监护病房机械通气患者脱机困难的高危因素分析[J]. *中国药物与临床*, 2020, 20(17): 2928-2929.

[4] Xu X, Wu R, Zhang Y-j, et al. Value of combination of heart, lung, and diaphragm ultrasound in predicting weaning outcome of mechanical ventilation [J]. *Medical Science Monitor*, 2020, 26:e924885.

[5] Patnaik R, Misra R, Azim A, et al. Evaluation of ventilator associated events in critically ill patients with invasive mechanical ventilation: A prospective cohort study at a resource limited setting in Northern India[J]. *J Crit Care*, 2021, 64: 29-35.

[6] 刘秀梅, 龚平, 康健, 等. 基于指南和 RCT 研究的 ICU 成人机械通气患者气管插管拔管管理的最佳证据总结[J]. *中华危重病急救医学*, 2021, 33(8): 927-932.

[7] 徐珊珊, 张琳琳, 周建新. 神经重症患者脱机拔管研究进展[J]. *中华危重病急救医学*, 2022, 34(9): 1004-1008.

[8] Schmidt GA, Girard TD, Kress JP, et al. Official executive summary of an american thoracic society/american college of chest physicians clinical practice guideline: liberation from mechanical ventila-

tion in critically ill adults[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2017, 195(1): 115-119.

[9] MacIntyre NR, Cook DJ, Ely EW, et al. Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support: a collective task force facilitated by the American College of Chest Physicians; the American Association for Respiratory Care; and the American College of Critical Care Medicine[J]. *Chest*, 2001, 120(6 Suppl): 375-395.

[10] Aksoy Y, Ozgultekin A, Balık Y, et al. Comparison of standardized diaphragm ultrasound measurement and conventional methods for predicting weaning failure: a prospective observational study. *J Anesth*. Published online January 24, 2026. doi: 10.1007/s00540-026-03655-6

[11] Peñuelas O, Frutos-Vivar F, Fernández C, et al. Characteristics and outcomes of ventilated patients according to time to liberation from mechanical ventilation [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2011, 184(4): 430-437.

[12] Pai KC, Su SA, Chan MC, et al. Explainable machine learning approach to predict en in critically ill ventilated patients: a retrospective study in central Taiwan[J]. *BMC Anesthesiology*, 2022, 22(1)351.

[13] 中华医学会呼吸病学分会呼吸危重症医学学组. 机械通气临床应用指南(2006)[J]. *中华医学杂志*, 2006, 96(6): 404-424.

[14] Sanders M, Servaas S, Slagt C. Accuracy and precision of non-invasive cardiac output monitoring by electrical cardiometry: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Clin Monit Comput*, 2020, 34(3): 433-460.

[15] Clerk AM, Shah RJ, Kothari J, et al. Position Statement of ISCCM committee on weaning from mechanical ventilator[J]. *Indian J Crit Care Med*, 2024, 28(Suppl 2): 233-248.

[16] Trudzinski FC, Neetz B, Bornitz F, et al. Risk factors for prolonged mechanical ventilation and weaning failure: a systematic review[J]. *Respiration*, 2022, 101(10): 959-969.

[17] Wang X, Long Y, He H, et al. Left ventricular-arterial coupling is associated with prolonged mechanical ventilation in severe post-cardiac surgery patients: an observational study[J]. *BMC Anesthesiol*, 2018, 18(1): 184.

[18] Figueroa-Casas JB, Dwivedi AK, Connery SM, et al. Predictive models of prolonged mechanical ventilation yield moderate accuracy [J]. *J Crit Care*, 2015, 30(3): 502-505.

[19] 刘莲. 血流动力学与液体平衡参数建立脱机模型[D]. 天津: 天津医科大学, 2020.

[20] 周明素, 马镇凡, 贾晋大, 等. 浅快呼吸指数相关指标预测脱机结局的价值分析[J]. *实用临床医药杂志*, 2021, 25(7): 15-20.

[21] 朱孟雷. 膈肌超声联合超声心动图预测机械通气患者脱机结果的价值[D]. 太原: 山西医科大学, 2021.

[22] Song W, Guo J, Cao D, et al. Comparison of noninvasive electrical cardiometry and transpulmonary thermodilution for cardiac output measurement in critically ill patients: a prospective observational study[J]. *BMC Anesthesiol*, 2025, 25(1): 123.

[23] Fathy S, Hasanin AM, Raafat M, et al. Thoracic fluid content: a novel parameter for predicting failed weaning from mechanical ventilation[J]. *J Intensive Care*, 2020, 8: 20.

(收稿日期: 2025-09-28; 修回日期: 2025-12-23)

(本文编辑: 侯晓林)