

# 超声评估肋间肌增厚分数联合膈肌功能对神经内科重症患者撤机拔管结局的预测价值研究

王奎 范晓莉 张伟 范桢 褚光 李新春 管婷婷 赵守财

皖南医科大学第一附属医院(皖南医科大学弋矶山医院)神经内科 ICU, 芜湖 241000

通信作者: 范晓莉, Email: 19631243@qq.com

**【摘要】目的** 探讨超声评估肋间肌联合膈肌功能对神经内科重症患者撤机拔管结局的预测价值。**方法** 采用回顾性病例对照研究方法, 收集 2023 年 4 月至 2025 年 4 月皖南医科大学第一附属医院(皖南医科大学弋矶山医院)神经内科重症监护病房(ICU)收治的行气管插管有创机械通气患者的临床资料。根据撤机拔管结局将患者分为撤机失败组和撤机成功组。比较两组患者一般基础资料、拔管前睁眼及运动反应评分、气管导管气囊漏气实验漏气量、拔管前咳痰能力、拔管前 48 h 内血常规及血生化指标, 以及自主呼吸试验(SBT)结束时基础生命体征、呼吸力学参数、动脉血气分析结果和超声评估肋间肌功能指标[吸气末肋间肌厚度(ICMT<sub>ei</sub>)、呼气末肋间肌厚度(ICMT<sub>ee</sub>)、肋间肌增厚分数(TFic)]与膈肌功能指标[膈肌活动度(DE)、吸气末膈肌厚度(DT<sub>ei</sub>)、呼气末膈肌厚度(DT<sub>ee</sub>)、膈肌增厚分数(DTF)], 同时收集患者住院结局指标。采用二分类多因素 Logistic 回归分析筛选神经内科行气管插管有创机械通气的重症患者撤机拔管结局的影响因素; 绘制受试者工作特征曲线(ROC 曲线), 分析 TFic、DE、DTF 3 个指标联合应用对神经内科行气管插管有创机械通气的重症患者撤机拔管结局的预测价值。**结果** 共入选神经内科行气管插管有创机械通气的重症患者 233 例, 排除年龄 < 18 周岁或 ≥ 80 周岁 40 例、家属放弃治疗或自动出院 55 例、超声图像不清晰 11 例、拔管前已行气管切开 5 例、临床资料不全 11 例, 最终纳入分析患者共 111 例, 其中撤机失败组 32 例, 撤机成功组 79 例。单因素分析显示, 两组患者入院时格拉斯哥昏迷评分(GCS)、拔管前睁眼及运动反应评分、气管导管气囊漏气实验漏气量、拔管前咳痰能力及 SBT 结束时浅快呼吸指数(RSBI)差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。SBT 结束时, 撤机失败组患者 TFic 高于撤机成功组 [15.76% (13.12%, 21.24)% 比 10.00% (8.33%, 13.33)%,  $P < 0.05$ ], DE、DTF 低于撤机成功组 [DE (cm): 1.10 (1.05, 1.20) 比 1.36 (1.25, 1.45), DTF: 18.75% (16.85%, 24.75)% 比 27.27% (22.73%, 31.58)%, 均  $P < 0.05$ ]。多因素 Logistic 回归分析显示, TFic 升高 [优势比 (OR) = 0.731, 95% 置信区间 (95%CI) 为 0.583 ~ 0.917,  $P = 0.007$ ], DE 升高 (OR = 4.494, 95%CI 为 1.663 ~ 12.146,  $P = 0.003$ ) 及 DTF 升高 (OR = 1.381, 95%CI 为 1.078 ~ 1.770,  $P = 0.011$ ) 是神经内科行气管插管有创机械通气的重症患者撤机拔管成功的独立影响因素。ROC 曲线分析显示, TFic、DE、DTF 对神经内科行气管插管有创机械通气的重症患者撤机成功均具有一定预测价值, 以 3 个指标联合应用的预测价值最大, ROC 曲线下面积 (AUC) 为 0.972 (95%CI 为 0.948 ~ 0.997,  $P < 0.001$ ), 敏感度为 88.6%, 特异度为 96.9%。住院结局指标分析显示, 撤机失败组患者 ICU 住院时间、总住院时间、总机械通气时间均较撤机成功组延长 [ICU 住院时间 (d): 31.00 (18.25, 49.25) 比 20.00 (8.00, 32.00), 总住院时间 (d): 34.50 (22.00, 50.00) 比 25.00 (16.00, 37.00), 总机械通气时间 (d): 18.50 (12.00, 30.25) 比 8.00 (3.00, 10.00), 均  $P < 0.05$ ]。**结论** 超声评估 TFic 联合 DE、DTF 对于预测神经内科重症患者成功撤机拔管具有较高的应用价值。

**【关键词】** 超声; 膈肌; 机械通气; 撤机; 拔管; 神经内科重症

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250828-00462

## Predictive value of ultrasound-assessed thickening fraction of intercostal muscle combined with diaphragmatic function for weaning and extubation outcomes in neurocritically ill patients

Wang Kui, Fan Xiaoli, Zhang Wei, Fan Zhen, Chu Guang, Li Xinchun, Guan Tingting, Zhao Shoucai

Department of Neurology Intensive Care Unit, The First Affiliated Hospital of Wannan Medical University (Yijishan Hospital of Wannan Medical University), Wuhu 241000, China

Corresponding author: Fan Xiaoli, Email: 19631243@qq.com

**【Abstract】Objective** To investigate the predictive value of ultrasound evaluation of intercostal muscle combined with diaphragmatic function for weaning and extubation outcomes in neurocritically ill patients. **Methods** A retrospective case-control study was performed. Clinical data of patients receiving invasive mechanical ventilation via tracheal intubation admitted to the neurology intensive care unit (ICU) of The First Affiliated Hospital of Wannan Medical University (Yijishan Hospital of Wannan Medical University) from April 2023 to April 2025 were collected. Patients were divided into a weaning failure group and a weaning success group according to weaning and extubation outcomes.

General baseline data, eye opening and motor reaction scores before extubation, air leakage volume of tracheal intubation cuff leak test, cough ability before extubation, routine blood test and blood biochemical indicators within 48 hours before extubation, and basic vital signs, respiratory mechanics parameters, arterial blood gas analysis results as well as intercostal muscle function indicators [intercostal muscle thickness at the end of inspiration (ICMTei), intercostal muscle thickness at the end of expiration (ICMTee), thickening fraction of intercostal muscle (TFic)] and diaphragmatic function indicators [diaphragmatic excursion (DE), diaphragmatic thickness at the end of inspiration (DTei), diaphragmatic thickness at the end of expiration (DTee), diaphragmatic thickening fraction (DTF)] assessed by ultrasound at the end of spontaneous breathing trial (SBT) were compared between the two groups. Meanwhile, the inpatient outcome indicators of patients were collected. Binary multivariate Logistic regression analysis was used to screen the influencing factors of weaning and extubation outcomes in neurocritically ill patients undergoing invasive mechanical ventilation via tracheal intubation. Receiver operator characteristic curve (ROC curve) was plotted to analyze the predictive value of the combination of TFic, DE and DTF for weaning and extubation outcomes in neurocritically ill patients undergoing invasive mechanical ventilation via tracheal intubation. **Results** A total of 233 neurocritically ill patients undergoing invasive mechanical ventilation via tracheal intubation were initially enrolled. After excluding 40 patients aged <18 years or  $\geq 80$  years, 55 patients with treatment abandonment or voluntary discharge, 11 patients with unclear ultrasound images, 5 patients undergoing tracheotomy before extubation and 11 patients with incomplete clinical data, 111 patients were finally included in the analysis, including 32 cases in the weaning failure group and 79 cases in the weaning success group. Univariate analysis showed that there were statistically significant differences in Glasgow Coma Scale (GCS) score at admission, eye opening and motor action scores before extubation, air leakage volume of tracheal intubation cuff leak test, cough ability before extubation, rapid shallow breathing index (RSBI) at the end of SBT (all  $P < 0.05$ ). At the end of SBT, TFic in the weaning failure group was higher than that in the weaning success group [15.76% (13.12%, 21.24%) vs. 10.00% (8.33%, 13.33%),  $P < 0.05$ ], while DE and DTF were lower than those in the weaning success group [DE (cm): 1.10 (1.05, 1.20) vs. 1.36 (1.25, 1.45), DTF: 18.75% (16.85%, 24.75%) vs. 27.27% (22.73%, 31.58%), both  $P < 0.05$ ]. Multivariate Logistic regression analysis showed that elevated TFic [odds ratio (OR)=0.731, 95% confidence interval (95%CI) was 0.583–0.917,  $P = 0.007$ ], elevated DE (OR=4.494, 95%CI was 1.663–12.146,  $P = 0.003$ ) and elevated DTF (OR=1.381, 95%CI was 1.078–1.770,  $P = 0.011$ ) were independent influencing factors for successful weaning and extubation in neurocritically ill patients undergoing invasive mechanical ventilation via tracheal intubation. ROC curve analysis showed that TFic, DE and DTF alone had certain predictive value for successful weaning in neurocritically ill patients undergoing invasive mechanical ventilation via tracheal intubation, and the combined application of the three indicators achieved the highest predictive value, with an area under the ROC curve (AUC) of 0.972 (95%CI was 0.948–0.997,  $P < 0.001$ ), a sensitivity of 88.6% and a specificity of 96.9%. Analysis of hospital outcome indicators showed that length of ICU stay, total length of hospital stay and total mechanical ventilation duration in the weaning failure group were longer than those in the weaning success group [length of ICU stay (days): 31.00 (18.25, 49.25) vs. 20.00 (8.00, 32.00), total length of hospital stay (days): 34.50 (22.00, 50.00) vs. 25.00 (16.00, 37.00), total mechanical ventilation duration (days): 18.50 (12.00, 30.25) vs. 8.00 (3.00, 10.00), all  $P < 0.05$ ]. **Conclusion** Ultrasound assessment of TFic combined with DE and DTF has high application value in predicting successful weaning and extubation in neurocritically ill patients.

**[Key words]** Ultrasound; Diaphragm; Mechanical ventilation; Weaning; Extubation; Neurocritical care  
DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250828-00462

神经内科重症患者通常会因脑出血、脑梗死、神经肌肉疾病、中枢神经系统感染引起中枢性及外周性呼吸衰竭。气管插管和呼吸机辅助通气能够有效纠正肺通气及换气功能障碍,在改善神经内科重症患者呼吸衰竭过程中起到至关重要的作用,能够为原发疾病的稳定及救治争取宝贵的时间。但是,长时间机械通气不仅会增加患者呼吸机相关性肺炎 (ventilator-associated pneumonia, VAP)、呼吸机相关性膈肌功能障碍 (ventilator-induced diaphragm dysfunction, VIDD) 等并发症<sup>[1-2]</sup>,还会延长住院时间,增加住院费用,导致不良的神经功能预后结局等<sup>[3-5]</sup>。然而,过早撤机拔管同样会增加患者拔管失败的风险,并导致脑缺血缺氧,引起一系列不良的临床结局<sup>[6-7]</sup>。有研究显示,神经系统重症患者撤机拔管失败率高达 20% ~ 40%<sup>[8]</sup>,远高于其他一

般重症监护病房 (intensive care unit, ICU) 中患者的 10% ~ 20%<sup>[9]</sup>。因此,患者原发疾病稳定后选择恰当时机给予撤机拔管,降低拔管失败风险,提升拔管成功率,进而改善患者预后,就显得尤为重要。目前,国内外对于神经科重症患者撤机拔管决策仍缺乏统一标准和可靠指标。

膈肌作为人体最大的呼吸肌,其功能状况对神经重症患者的撤机拔管结局起到非常关键的作用。虽然床旁应用超声评估患者膈肌结构和功能并指导撤机拔管已经得到广泛应用<sup>[10-12]</sup>,但是在预测撤机拔管结局方面仍存在一定争议<sup>[13-14]</sup>。肋间肌作为人体重要的辅助呼吸肌,在撤机拔管过程中也起到重要的补偿作用,尤其当膈肌功能障碍时,肋间肌会被激活并参与呼吸循环<sup>[15]</sup>。研究表明,通过超声评估肋间肌增厚分数 (thickening fraction of intercostal

muscle, TFic) 预测危重症患者撤机拔管结局具有良好的可行性,且预测效能良好<sup>[15-19]</sup>。但是,国内相关研究较少,且鲜见在神经内科重症机械通气患者中的探索研究。因此,本研究旨在探讨超声测量胸骨旁 TFic 联合膈肌功能对神经内科重症机械通气患者撤机拔管结局的预测价值,以期为此类患者的撤机拔管提供依据。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象:**采用回顾性病例对照研究方法,收集 2023 年 4 月至 2025 年 4 月皖南医科大学第一附属医院(皖南医科大学弋矶山医院)神经内科 ICU 收治的行气管插管有创机械通气患者的临床资料。

**1.1.1 纳入标准:**① 入住神经内科 ICU 进行气管插管,且需要进行有创机械通气;② 年龄 $\geq 18$  周岁且 $< 80$  周岁;③ 经临床医师判断达到撤机条件且能够通过自主呼吸试验(spontaneous breathing trial, SBT);④ 入院第一诊断符合《神经内科常见疾病诊断指南》中的诊断标准<sup>[20]</sup>且首次发病;⑤ 家属签署机械通气知情同意书。

**1.1.2 排除标准:**① 妊娠期;② SBT 前 48 h 内使用过神经肌肉阻滞剂;③ 双侧瞳孔散大,光反应消失;④ 撤机拔管前已行气管切开;⑤ 合并肋骨骨折、气胸、纵隔气肿、膈肌解剖结构异常;⑥ 超声图像质量差,无法测量;⑦ 家属放弃治疗或自动出院;⑧ 临床资料不全。

**1.2 伦理学:**本研究符合医学伦理学标准,通过本院伦理委员会审批(审批号:2026-118),所有治疗及检测均获得过患者家属知情同意。

## 1.3 资料收集

**1.3.1 一般基础资料:**收集患者性别、年龄、体质指数(body mass index, BMI)、吸烟史、基础疾病、入院诊断、患者来源、急性生理学与慢性健康状况评分 II (Acute Physiology And Chronic Health Evaluation II, APACHE II)、入院时格拉斯哥昏迷评分(Glasgow Coma Scale, GCS)、气管插管机械通气原因、撤机拔管前机械通气模式。

**1.3.2 一般临床观察资料:**① 拔管前睁眼反应评分及运动反应评分。② 气管导管气囊漏气实验漏气量。③ 拔管后氧疗支持方式。④ 拔管前咳痰能力:吸痰时患者能够自行将痰液咳至气管导管口,说明咳痰能力强;吸痰时患者无咳嗽反射,或者虽然有咳嗽反射但无法将痰液咳至气管导管口,说明咳痰能力弱。⑤ SBT 结束时基础生命体征〔心率

(heart rate, HR)、呼吸频率(respiratory rate, RR)、平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)、呼吸力学参数〔呼出潮气量(expiratory tidal volume, VTe)、浅快呼吸指数(rapid shallow breathing index, RSBI)、动脉血气分析结果〔pH 值、动脉血氧分压(arterial partial pressure of oxygen, PaO<sub>2</sub>)、动脉血二氧化碳分压(arterial partial pressure of carbon dioxide, PaCO<sub>2</sub>)、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、乳酸〕。⑥ 拔管前 48 h 内血常规〔血红蛋白(hemoglobin, Hb)、白细胞计数(white blood cell count, WBC)、血小板计数(platelet count, PLT)〕和血生化〔血肌酐(serum creatinine, SCr)、血尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、丙氨酸转氨酶(alanine transaminase, ALT)、天冬氨酸转氨酶(aspartate transaminase, AST)、超敏肌钙蛋白(high-sensitivity troponin, hs-Tn)、脑钠肽(brain natriuretic peptide, BNP)〕。

**1.3.3 肋间肌及膈肌功能指标:**收集患者 SBT 结束时肋间肌功能指标〔吸气末肋间肌厚度(intercostal muscle thickness at the end of inspiration, ICMTei)、呼气末肋间肌厚度(intercostal muscle thickness at the end of expiration, ICMTee)、TFic〕,以及膈肌功能指标〔膈肌活动度(diaphragmatic excursion, DE)、吸气末膈肌厚度(diaphragmatic thickness at the end of deep inhalation, DTei)、呼气末膈肌厚度(diaphragmatic thickness at the end of calm exhalation, DTee)、膈肌增厚分数(diaphragmatic thickness fraction, DTF)〕。

所有超声指标均由 2 名经过重症超声资质培训的人员在盲态下(互不知晓对方测量结果)进行独立重复测量。采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)评价操作者间的一致性。随机抽取本研究中 30 例患者(撤机失败组 11 例、撤机成功组 19 例),采用 SPSS 23.0 软件,选择双向随机效应模型计算绝对一致性 ICC,一致性判定标准:ICC $\geq 0.80$  为极高,0.60~0.80 为较高<sup>[21]</sup>。

**1.4 住院结局指标:**ICU 住院时间、总住院时间及总机械通气时间。

**1.5 撤机拔管标准:**根据 2001 年美国胸科医师学会联合美国重症医学学院发布的标准进行 SBT 前评估<sup>[22]</sup>,待达到标准后,将呼吸机模式调整为压力支持通气(pressure support ventilation, PSV),采用低水平 PSV 进行 SBT〔压力支持水平设置为 5~8 cmH<sub>2</sub>O (1 cmH<sub>2</sub>O=0.098 kPa)、呼气末正压 $\leq 5$  cmH<sub>2</sub>O 且吸入氧浓度 $\leq 0.40$ 〕,维持 30 min。SBT 失败标准参照 2001 年美国胸科医师学会联合美国重症医学学院

发布的标准<sup>[22]</sup>,出现其中任一情况均认定为未通过 SBT,需立即返回原先通气模式和参数,待次日重新评估,若通过 SBT,则立即撤机并拔除气管导管。

**1.6 分组及定义:**根据拔管结果将患者分成撤机失败组和撤机成功组。撤机拔管失败定义为通过 SBT 拔除气管导管后 48 h 内出现以下任意一种情况:需要再次行气管插管或气管切开、使用无创机械通气(non-invasive ventilation, NIV)序贯支持治疗、死亡等<sup>[17]</sup>;撤机拔管成功定义为通过 SBT 拔除气管导管 48 h 内无需再次行气管插管或气管切开、有创或无创机械通气支持等,患者能完全恢复自主呼吸且生命体征相对稳定。

**1.7 统计学方法:**应用 SPSS 23.0 软件进行统计学分析。计数资料以频数(%)表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确检验。计量资料符合正态分布时以均数  $\pm$  标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用两独立样本 *t* 检验;非正态分布的计量资料以中位数(四分位数)[ $M(Q_1, Q_3)$ ]表示,组间比较采用 Wilcoxon 秩和检验。将单因素分析中具有统计学意义的指标纳入多因素 Logistic 回归模型,分析神经内科重症患

者撤机拔管结局的独立影响因素。通过绘制受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC 曲线)计算各指标及多指标联合的 ROC 曲线下面积(area under the ROC curve, AUC)和最佳截断值,分析对神经内科重症患者成功撤机拔管的预测价值。检验水准  $\alpha$  值取双侧 0.05。

**2 结果**

**2.1 两组患者一般基础资料比较(表 1):**共入选行气管插管有创机械通气的重症患者 233 例,排除年龄 < 18 周岁或  $\geq 80$  周岁 40 例、家属放弃治疗或自动出院 55 例、超声图像不清晰 11 例、拔管前已行气管切开 5 例、临床资料不全 11 例,最终纳入分析患者共 111 例。根据患者撤机结局分组,其中撤机失败组 32 例,撤机成功组 79 例。

除撤机失败组患者入院时 GCS 评分低于撤机成功组,且差异有统计学意义( $P < 0.05$ )外,两组患者性别、年龄、BMI、吸烟史、基础疾病、入院诊断、患者来源、APACHE II 评分、气管插管机械通气原因、撤机拔管前机械通气模式等一般基础资料差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。

表 1 不同撤机结局两组神经内科行气管插管有创机械通气重症患者一般基础资料比较

指标	撤机成功组 (79 例)	撤机失败组 (32 例)	统计量值	P 值	指标	撤机成功组 (79 例)	撤机失败组 (32 例)	统计量值	P 值
性别[例(%)]			$\chi^2 = 1.226$	0.268	病毒性肺炎	1(1)	0(0)		
男性	59(75)	27(84)			患者来源[例(%)]			-	0.850
女性	20(25)	5(16)			急诊室	48(61)	21(66)		
年龄[岁, $M(Q_1, Q_3)$ ]	63.00 (53.00, 73.00)	59.50 (48.25, 69.75)	$Z = -1.459$	0.145	手术室	29(37)	10(31)		
BMI [kg/m <sup>2</sup> , $M(Q_1, Q_3)$ ]	23.10 (21.00, 25.00)	23.42 (21.50, 24.51)	$Z = -0.384$	0.701	普通病房	2(2)	1(3)		
吸烟[例(%)]			$\chi^2 = 0.242$	0.623	APACHE II 评分 [分, $M(Q_1, Q_3)$ ]	15.00 (12.00, 18.00)	14.00 (11.25, 16.00)	$Z = -1.651$	0.099
是	26(33)	9(28)			入院时 GCS 评分 [分, $M(Q_1, Q_3)$ ]	9(8, 11)	8(5, 10)	$Z = -2.144$	0.032
否	53(67)	23(72)			气管插管机械通气 原因[例(%)]			-	0.344
基础疾病[例(%)]			$\chi^2 = 1.040$	0.308	呼吸衰竭	48(61)	25(79)		
高血压	43(54)	14(44)			介入术后	16(20)	3(9)		
糖尿病	5(6)	4(12)	-	0.277	外科开颅术后	13(17)	3(9)		
冠心病	9(11)	1(3)	-	0.276	咳痰无力	1(1)	1(3)		
慢性呼吸疾病	5(6)	3(9)	-	0.688	误吸	1(1)	0(0)		
入院诊断[例(%)]			-	0.262	撤机拔管前机械 通气模式 [例(%)]			-	0.227
脑梗死	46(58)	19(59)			PSV	53(66)	19(59)		
小脑梗死	1(1)	1(3)			PCV	10(13)	9(29)		
延髓梗死	1(1)	0(0)			SIMV	10(13)	2(6)		
脑出血	20(26)	4(13)			PRVC	3(4)	2(6)		
脑干出血	3(4)	4(13)			VCV	3(4)	0(0)		
脑干梗死	1(1)	1(3)							
缺血缺氧性脑病	0(0)	1(3)							
中枢神经系统感染	1(1)	1(3)							
癫痫	5(7)	1(3)							

注: BMI 为体质量指数, APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II, GCS 为格拉斯哥昏迷评分, PSV 为压力支持通气, PCV 为压力控制通气, SIMV 为同步间歇指令通气, PRVC 为压力调节容量控制, VCV 为容量控制通气; - 为 Fisher 精确检验

表 2 不同撤机结局两组神经内科行气管插管有创机械通气重症患者一般临床观察资料比较

指标	撤机成功组 (79 例)	撤机失败组 (32 例)	统计量值	P 值	指标	撤机成功组 (79 例)	撤机失败组 (32 例)	统计量值	P 值
拔管前睁眼反应评分 〔分, $M(Q_1, Q_3)$ 〕	3(2, 4)	2(1, 3)	$Z=-4.095$	$<0.001$	$PaCO_2$ (mmHg, $\bar{x} \pm s$ )	$33.58 \pm 6.03$	$32.07 \pm 6.19$	$t=-1.185$	0.239
拔管前运动反应评分 〔分, $M(Q_1, Q_3)$ 〕	4(3, 4)	3(2, 3)	$Z=-5.165$	$<0.001$	$HCO_3^-$ (mmol/L, $\bar{x} \pm s$ )	$23.33 \pm 3.29$	$23.43 \pm 3.91$	$t=0.128$	0.898
气管导管气囊漏气 实验漏气量 [mL, $M(Q_1, Q_3)$ ]	122.00 (97.00, 150.00)	80.00 (31.50, 113.75)	$Z=-4.015$	$<0.001$	乳酸 [mmol/L, $M(Q_1, Q_3)$ ]	1.9 (1.3, 2.9)	1.9 (1.5, 2.5)	$Z=-0.007$	0.995
拔管后氧疗支持方式 〔例 (%)〕			-	1.000	拔管前 48 h 内 实验室指标 〔 $M(Q_1, Q_3)$ 〕				
HFNC	61(77)	25(78)			Hb (g/L)	115.00 (97.00, 134.00)	110.50 (83.25, 131.25)	$Z=-1.205$	0.228
普通面罩	11(14)	4(13)			WBC ( $\times 10^9/L$ )	11.90 (9.50, 16.00)	13.60 (9.55, 18.00)	$Z=-0.746$	0.456
鼻导管	7(9)	3(9)			PLT ( $\times 10^9/L$ )	133.00 (103.00, 176.00)	156.00 (106.25, 194.00)	$Z=-1.094$	0.274
拔管前咳嗽能力 〔例 (%)〕			$\chi^2=4.767$	0.029	SCr ( $\mu\text{mol/L}$ )	72.50 (56.10, 96.90)	69.75 (55.05, 97.15)	$Z=-0.055$	0.956
强	50(63)	13(41)			BUN (mmol/L)	5.35 (4.09, 7.2)	5.49 (4.23, 10.13)	$Z=-1.318$	0.187
弱	29(37)	19(59)			ALT (U/L)	17.00 (12.00, 24.00)	19.50 (12.25, 33.00)	$Z=-0.88$	0.379
SBT 结束时监测指标					AST (U/L)	25.00 (17.00, 38.00)	27.00 (16.25, 45.00)	$Z=-0.358$	0.720
HR (次/min, $\bar{x} \pm s$ )	$82.65 \pm 14.26$	$86.53 \pm 16.54$	$t=1.241$	0.217	hs-Tn ( $\mu\text{g/L}$ )	0.020 (0.010, 0.100)	0.015 (0.010, 0.100)	$Z=-0.573$	0.567
RR [次/min, $M(Q_1, Q_3)$ ]	19.00 (17.00, 22.00)	20.50 (16.00, 25.75)	$Z=-1.120$	0.263	BNP (pg/L)	131.12 (60.00, 274.56)	98.69 (57.23, 295.33)	$Z=-0.690$	0.490
MAP (mmHg, $\bar{x} \pm s$ )	$93.91 \pm 11.73$	$89.97 \pm 8.67$	$t=-1.718$	0.089					
VT <sub>e</sub> [mL, $M(Q_1, Q_3)$ ]	500.00 (444.00, 566.00)	501.44 (432.96, 569.87)	$Z=-0.326$	0.745					
RSBI 〔次·min <sup>-1</sup> ·L <sup>-1</sup> , $M(Q_1, Q_3)$ 〕	35.00 (26.00, 44.00)	47.50 (41.75, 84.25)	$Z=-4.677$	$<0.001$					
pH 值 [ $M(Q_1, Q_3)$ ]	$7.43 \pm 0.06$	$7.44 \pm 0.07$	$Z=0.703$	0.484					
PaO <sub>2</sub> (mmHg, $\bar{x} \pm s$ )	$122.00 \pm 36.11$	$135.05 \pm 35.71$	$t=1.730$	0.087					

注: HFNC 为经鼻高流量氧疗, SBT 为自主呼吸试验, HR 为心率, RR 为呼吸频率, MAP 为平均动脉压, VT<sub>e</sub> 为呼出潮气量, RSBI 为浅快呼吸指数, PaO<sub>2</sub> 为动脉血氧分压, PaCO<sub>2</sub> 为动脉血二氧化碳分压, Hb 为血红蛋白, WBC 为白细胞计数, PLT 为血小板计数, SCr 为肌酐, BUN 为尿素氮, ALT 为丙氨酸转氨酶, AST 为天冬氨酸转氨酶, hs-Tn 为超敏肌钙蛋白, BNP 为脑钠肽; 1 mmHg=0.133 kPa; - 为 Fisher 精确检验

2.2 两组患者一般临床观察资料比较(表 2): 撤机失败组患者拔管前睁眼反应评分、拔管前运动反应评分、气管导管气囊漏气实验漏气量均低于撤机成功组, 拔管前咳嗽能力弱比例、SBT 结束时 RSBI 均高于撤机成功组, 差异有统计学意义(均  $P < 0.05$ ); 两组患者拔管后氧疗支持方式, 以及 SBT 结束时基础生命体征、其他呼吸力学参数、动脉血气分析结果等监测指标和拔管前 48 h 内血常规、血生化等实验室指标差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。

2.3 超声测量操作者间一致性评价(表 3): 2 名操作者对各项超声测量指标的一致性均达到较高或极高水平。

2.4 两组患者肋间肌及膈肌功能指标比较(表 4): 撤机失败组患者 SBT 结束时 TFic 高于撤机成功组, DE 及 DTF 低于撤机成功组, 差异有统计学意义(均  $P < 0.05$ ); 两组患者 ICMTei、ICMTee、DTei、DTee 差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。

表 3 2 名操作者检测神经内科行气管插管有创机械通气重症患者超声指标的一致性评价

超声指标	ICC	95%CI	P 值
ICMTei	0.964	0.926 ~ 0.983	$<0.001$
ICMTee	0.945	0.884 ~ 0.974	$<0.001$
TFic	0.826	0.668 ~ 0.913	$<0.001$
DE	0.816	0.648 ~ 0.908	$<0.001$
DTei	0.916	0.833 ~ 0.959	$<0.001$
DTee	0.892	0.783 ~ 0.947	$<0.001$
DTF	0.697	0.456 ~ 0.843	$<0.001$

注: ICMTei 为吸气末肋间肌厚度, ICMTee 为呼气末肋间肌厚度, TFic 为肋间肌增厚分数, DE 为膈肌活动度, DTei 为吸气末膈肌厚度, DTee 为呼气末膈肌厚度, DTF 为膈肌增厚分数, ICC 为组内相关系数, 95%CI 为 95% 置信区间

2.5 神经内科重症患者撤机拔管结局影响因素的多因素 Logistic 回归分析(表 5): 将两组患者差异具有统计学意义的指标纳入多因素 Logistic 回归模型, 分析结果显示, TFic、DE、DTF 是神经内科重症机械通气患者撤机拔管结局(失败=0, 成功=1)的独立影响因素(均  $P < 0.05$ )。

表 4 不同撤机结局两组神经内科气管插管有创机械通气重症患者 SBT 结束时肋间肌及膈肌功能指标比较 [M(Q<sub>1</sub>, Q<sub>3</sub>)]

组别	例数(例)	ICMTei(cm)	ICMTee(cm)	TFic(%)	DE(cm)	DTei(cm)	DTeecm)	DTF(%)
撤机成功组	79	0.30 (0.26, 0.34)	0.26 (0.24, 0.30)	10.00 (8.33, 13.33)	1.36 (1.25, 1.45)	0.27 (0.26, 0.30)	0.22 (0.20, 0.24)	27.27 (22.73, 31.58)
撤机失败组	32	0.30 (0.29, 0.34)	0.27 (0.24, 0.28)	15.76 (13.12, 21.24)	1.10 (1.05, 1.20)	0.26 (0.24, 0.30)	0.22 (0.20, 0.24)	18.75 (16.85, 24.75)
Z 值		-0.895	-0.402	-4.612	-6.243	-1.937	-0.026	-4.803
P 值		0.371	0.687	<0.001	<0.001	0.053	0.979	<0.001

注: SBT 为自主呼吸试验, ICMTei 为吸气末肋间肌厚度, ICMTee 为呼气末肋间肌厚度, TFic 为肋间肌增厚分数, DE 为膈肌活动度, DTei 为吸气末膈肌厚度, DTeecm) 为呼气末膈肌厚度, DTF 为膈肌增厚分数

表 5 神经内科重症气管插管有创机械通气患者撤机拔管成功影响因素的多因素 Logistic 回归分析

变量	β 值	s <sub>e</sub>	χ <sup>2</sup> 值	P 值	OR 值	95%CI
SBT 结束时 TFic 升高	-0.314	0.116	7.362	0.007	0.731	0.583 ~ 0.917
SBT 结束时 DE 升高	1.503	0.507	8.773	0.003	4.494	1.663 ~ 12.146
SBT 结束时 DTF 升高	0.323	0.127	6.509	0.011	1.381	1.078 ~ 1.770
拔管前睁眼反应评分升高	0.512	0.671	0.582	0.446	1.668	0.448 ~ 6.215
入院时 GCS 评分降低	-0.192	0.252	0.584	0.445	0.825	0.504 ~ 1.351
拔管前运动反应评分升高	1.565	0.982	2.542	0.111	4.783	0.698 ~ 32.752
拔管前咳嗽能力强	0.504	1.238	0.166	0.684	1.655	0.146 ~ 18.737
SBT 结束时 RSBI 升高	-0.055	0.033	2.857	0.091	0.946	0.887 ~ 1.009
气管导管气囊漏气实验漏气量降低	-0.002	0.012	0.027	0.870	0.998	0.975 ~ 1.022

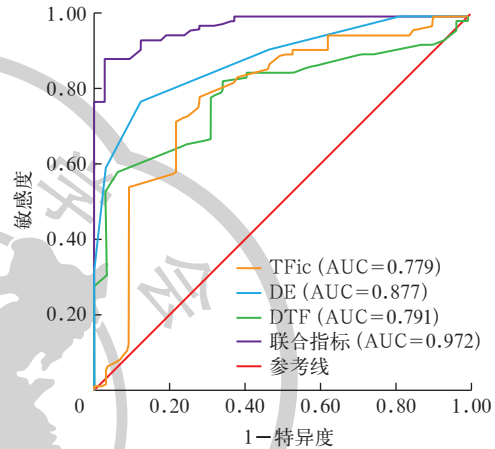
注: SBT 为自主呼吸试验, TFic 为肋间肌增厚分数, DE 为膈肌活动度, DTF 为膈肌增厚分数, GCS 为格拉斯哥昏迷评分, RSBI 为浅快呼吸指数, OR 为优势比, 95%CI 为 95% 置信区间

2.6 TFic 联合 DE、DTF 对神经内科重症患者撤机拔管结局的预测价值分析(表 6; 图 1): ROC 曲线显示, M 型超声测量 TFic、DE、DTF 联合预测神经内科重症患者撤机拔管成功的 AUC 达 0.972, 高于 3 个指标单独预测的 AUC。

表 6 TFic、DE、DTF 单独或联合应用对神经内科重症气管插管有创机械通气患者撤机拔管成功的预测价值

指标	最佳截断值	AUC	95%CI	P 值	敏感度(%)	特异度(%)
TFic	13.96%	0.779	0.675 ~ 0.883	<0.001	71.9	78.5
DE	1.22 cm	0.877	0.813 ~ 0.942	<0.001	78.5	87.5
DTF	26.20%	0.791	0.707 ~ 0.875	<0.001	58.2	93.7
联合指标		0.972	0.948 ~ 0.997	<0.001	88.6	96.9

注: TFic 为肋间肌增厚分数, DE 为膈肌活动度, DTF 为膈肌增厚分数, AUC 为受试者工作特征曲线下面积, 95%CI 为 95% 置信区间; 空白代表无此项



注: TFic 为肋间肌增厚分数, DE 为膈肌活动度, DTF 为膈肌增厚分数, ROC 曲线为受试者工作特征曲线, AUC 为 ROC 曲线下面积

图 1 TFic、DE、DTF 单独或联合预测神经内科重症气管插管有创机械通气患者撤机拔管成功的 ROC 曲线

2.7 两组患者住院结局指标比较(表 7): 撤机失败组患者 ICU 住院时间、总住院时间及总机械通气时间均较撤机成功组延长, 差异均有统计学意义(均 P<0.05)。

表 7 不同撤机结局两组神经内科重症气管插管有创机械通气患者住院结局指标比较 [d, M(Q<sub>1</sub>, Q<sub>3</sub>)]

组别	例数(例)	ICU 住院时间(d)	总住院时间(d)	总机械通气时间(d)
撤机成功组	79	20.00 (8.00, 32.00)	25.00 (16.00, 37.00)	8.00 (3.00, 10.00)
撤机失败组	32	31.00 (18.25, 49.25)	34.50 (22.00, 50.00)	18.50 (12.00, 30.25)
Z 值		-3.325	-2.413	-5.989
P 值		0.001	0.016	<0.001

注: ICU 为重症监护病房

### 3 讨论

神经内科重症患者往往存在神经系统与其他器官系统复杂的交互作用, 而呼吸系统是最容易受到累及的靶器官<sup>[23]</sup>, 同时呼吸系统损伤会反作用于神经系统加重其损伤<sup>[24]</sup>。因此, 神经内科重症患者的

撤机拔管受多重因素的影响,且拔管失败率较 ICU 中其他患者偏高<sup>[9]</sup>,一直是临床医务人员面临的难点。目前,对于神经重症患者撤机拔管的相关研究大多集中于患者的意识水平、咳嗽、吞咽能力评估及各种综合预测评分模型的制定等<sup>[7, 25-27]</sup>,且研究结果尚缺乏统一的实践标准及理想的预测模型。因此,本研究将以往发现的可能影响神经内科重症患者撤机结局的指标和因素均纳入分析。

本研究中单因素分析显示,撤机失败组患者入院时 GCS 评分及拔管前咳痰能力强比例均低于撤机成功组,与 Navalesi 等<sup>[28]</sup>的研究结果相似。该研究表明,拔管前 GCS 评分 $\geq 8$  分且拥有较强的咳痰能力是神经重症患者拔管是否成功的重要影响因素。这说明患者入院时的意识障碍程度越深,原发病越严重,撤机拔管失败的风险就越大,提示 GCS 评分及咳痰能力对后期撤机拔管结局具有重要影响,同时在拔管前应该关注此类患者是否具备良好的气道廓清能力。

本研究仅对患者拔管前睁眼及运动反应进行了评分,主要考虑到患者由于气管插管的存在,无法对语言能力进行客观评估,并在单因素分析中发现撤机失败组患者睁眼及运动反应评分均低于撤机成功组,与 Kutchak 等<sup>[29]</sup>的研究结果相似,该研究表明,较高的睁眼评分及能够遵嘱运动是影响神经重症患者拔管结局的相关因素。另外,近期 Zhang 等<sup>[30]</sup>在一项针对神经重症患者撤机拔管失败风险的回顾性分析中也发现,撤机失败组患者睁眼及运动反应评分较撤机成功组更低,并且咳痰能力更弱。因此,神经重症患者在拔管前可充分评估睁眼及运动反应评分,为撤机拔管提供参考依据。

拔管前实施气管导管气囊漏气实验是评估患者是否存在高风险上气道梗阻或再插管风险的一种临床常用的客观评价措施,一般将漏气量 $< 110$  mL 定义为阳性<sup>[31-32]</sup>。本研究显示,撤机失败组患者气管导管气囊漏气实验漏气量低于撤机成功组,且结果与上述阳性标准基本一致。这就提示神经重症患者在计划性撤机拔管前可常规实施气囊漏气实验,若漏气量较少,可暂缓撤机拔管,或在做好预防拔管后上气道梗阻治疗措施及密切监测的基础上进行计划性拔管。

本研究显示,撤机失败组患者 SBT 结束时 RSBI 高于撤机成功组,与 Kutchak 等<sup>[29]</sup>的研究结果基本接近,该研究显示,撤机失败组神经重症患者 RSBI

高于撤机成功组[次 $\cdot$ min<sup>-1</sup> $\cdot$ L<sup>-1</sup>:52.5(38.8,58.0)比 43.0(31.0,53.0)]。RSBI 是 RR 与潮气量的比值,能够较好地反映患者呼吸肌力量与呼吸负荷之间的关系。因此,当神经重症患者 RSBI 显著增高时,应结合其他参数综合判断是否给予撤机拔管。

在膈肌功能方面,本研究显示,撤机失败组患者 DE、DTF 均低于撤机成功组,这表明膈肌功能较佳的患者撤机成功率更高,与以往的研究结果基本一致<sup>[11-12, 33]</sup>。本研究多因素 Logistic 回归分析显示,DE 及 DTF 是神经内科重症患者撤机拔管结局的独立影响因素,与近年 Peng 等<sup>[17]</sup>的研究结果基本相近。该研究表明,DE $> 1.2$  cm 及 DTF $> 22\%$  是重症患者撤机拔管成功的独立影响因素。分析其主要机制:DE 反映了膈肌在整个活动周期中的运动幅度,而 DTF 主要反映膈肌运动过程中厚度的变化率,两者均与膈肌的收缩效能、肺通气量关系密切,将两者结合起来能更好地反映患者的呼吸功能。所以,建议临床上将膈肌超声评价用于指导神经重症患者撤机拔管。

肋间肌协同膈肌共同维持人体呼吸功能。本研究显示,撤机失败组患者 SBT 结束时 TFic 高于撤机成功组,且多因素 Logistic 回归分析显示,TFic 是神经内科重症患者撤机拔管结局的独立影响因素,与 Dres 等<sup>[15]</sup>的研究结果基本接近,该研究者在这项关于呼吸困难评分系统联合呼吸肌超声评估预测拔管失败的研究中发现,撤机失败组患者 TFic 高于撤机成功组[13%(9%,22%)比 11%(9%,19%)]。以上结果与 Kannan 等<sup>[16]</sup>及 Peng 等<sup>[17]</sup>的研究结论也基本一致。这主要是因为患者的 TFic 与呼吸负荷之间存在容量-反应性的负向关系,呼吸负荷越重,肋间肌参与呼吸做功就越多。

本研究中结合 DE、DTF 及 TFic 表明肋间肌作为重要的辅助呼吸肌,当膈肌功能较差时,肋间肌会被逐渐激活并参与呼吸运动,起到补偿作用,进而产生厚度的变化,与 Dres 等<sup>[19]</sup>的研究结果基本一致,该研究表明,撤机拔管失败组和存在膈肌功能障碍组患者肋间肌代偿指数(即 TFic/DTF 比值)分别较撤机成功组及无膈肌功能障碍组患者更高,提示膈肌功能障碍时胸骨旁肋间肌会被激活进行代偿。所以,监测 TFic 有助于识别膈肌疲劳及无力,同时也能够对肋间肌激活的程度进行量化。本研究显示,当 DTF $\geq 26.20\%$  时,预测神经内科重症患者成功撤机拔管的敏感度为 58.2%,特异度为 93.7%,AUC 为

0.791; 当  $DE \geq 1.22$  cm 时, 预测神经内科重症患者成功撤机拔管的敏感度为 78.5%, 特异度为 87.5%, AUC 为 0.877。该结果与 Alam 等<sup>[33]</sup> 在研究中发现  $DTF > 22.33\%$  时预测患者成功撤机拔管的敏感度为 61.1%、特异度为 84.6% 及  $DE > 1.14$  cm 时预测成功撤机拔管的敏感度为 77.8%、特异度为 84.6% 的结果基本一致。Gok 等<sup>[34]</sup> 在研究中发现, 以实施 30 min ~ 1 h SBT 期间测得的  $DTF \geq 27.5\%$  作为最佳截断值时, 预测重症患者成功撤机拔管的敏感度为 67.5%, 特异度为 66.6%, AUC 达 0.808; 同时, 当  $DE \geq 1.31$  cm 时, 预测重症患者成功撤机拔管的敏感度为 69.0%, 特异度为 67.5%, AUC 达 0.792, 与本研究结果也基本接近。此外, Elshazly 等<sup>[35]</sup> 在研究中将  $DTF > 21.5\%$  及  $DE > 1.25$  cm 作为预测患者成功撤机拔管的最佳截断值, 也与本研究结果基本相近。上述研究结论说明, 通过超声评估量化膈肌功能对于预测神经重症患者撤机拔管结局同样具有良好的应用价值。

然而, 在既往有些研究中却发现, 通过超声测量 DTF 及 DE 并不能成功预测重症患者的撤机拔管结局<sup>[13-14, 36]</sup>。这主要可能是因为纳入研究人群、SBT 选择方法及撤机拔管成功定义不同所致。因此, 寻求多指标联合应用, 进一步扩充此类患者撤机拔管预测方法及提升撤机拔管成功率就显得尤为重要。欧洲呼吸学会建议采用超声监测肋间肌以评价呼吸功能<sup>[37]</sup>。本研究显示, 当  $TFic \leq 13.96\%$  时, 预测神经内科重症患者成功撤机拔管的敏感度为 71.9%, 特异度为 78.5%, AUC 为 0.779, 与 He 等<sup>[38]</sup> 的研究结果接近, 该研究显示, 以  $TFic \geq 13.15\%$  作为最佳截断值预测撤机失败的敏感度为 76.9%, 特异度为 62.8%, AUC 为 0.721。上述结果与相关研究表明通过超声监测 TFic 对撤机拔管结局具有良好的预测价值的结论也基本一致<sup>[15-16, 18]</sup>。这说明肋间肌可作为除膈肌外第二块呼吸肌用于评价指导神经重症患者撤机拔管。本研究显示, TFic、DE 及 DTF 3 个指标联合预测神经内科重症患者撤机结局的 AUC 达 0.972, 敏感度为 88.6%, 特异度为 96.9%, 高于单一指标的预测效能。这主要是因为人体呼吸运动的完成, 除以膈肌承担的主要做功外, 还有肋间肌等辅助呼吸肌的参与, 但膈肌功能并不能代表所有的呼吸肌功能。尤其当膈肌功能下降及呼吸驱动增强时, 肋间肌等辅助呼吸肌会被显著激活, 并参与呼吸做功, 甚至代偿膈肌成为主要的吸气肌。因此, 多种指

标联合应用可以发挥各自优势, 较单一膈肌功能评价指导撤机拔管更为全面, 对于客观反映患者病理生理状态下的呼吸做功也更具有优势。

本研究显示, 撤机拔管失败组患者 ICU 住院时间、总住院时间及总机械通气时间均较撤机成功组延长, 与 Peng 等<sup>[17]</sup> 的研究结果一致。这说明撤机拔管失败势必给患者的住院结局带来不良影响。因此, 当临床上肋间肌及膈肌超声提示多个指标异常时, 应谨慎撤机拔管, 积极寻找原因并及时调整撤机拔管方案, 从而尽量降低撤机拔管失败率, 进而改善患者临床住院结局。

本研究具有一定局限性。首先, 本研究为单中心研究, 仅纳入神经内科重症患者进行了分析, 未包含神经外科及其他类型的神经重症患者。因此, 本研究样本范围较为局限, 限制了其临床指导的代表性。这主要是由本研究中心收治神经系统疾病范围的客观条件所致。建议今后实施多中心、神经重症多病种患者的相关研究, 以提升其临床应用范围的指导意义。其次, 本研究为回顾性研究, 且考虑左侧胃肠对声窗的影响, 仅测量了右侧膈肌及右侧肋间肌功能指标, 不排除部分患者存在单侧膈肌功能障碍, 使样本难免会出现一定的选择性偏倚风险, 并最终导致观察结果也出现一定的偏倚。因此, 建议在今后的研究中可实施前瞻性、大样本、多中心、双侧膈肌及肋间肌功能指标的测量, 从而降低样本选择所致的偏倚风险, 进一步验证肋间肌联合膈肌功能超声评价对于指导神经内科重症患者撤机拔管的临床应用价值。

综上所述, 影响神经内科重症患者撤机拔管结局的因素复杂, 通过超声评估 TFic 联合膈肌功能监测对于预测神经内科重症患者成功撤机拔管较单一指标具有更高的应用价值, 值得临床推广应用。

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 王奎: 酝酿和设计实验、实施研究、采集数据、分析/解释数据、起草文章; 范晓莉: 对文章的知识性内容作批评性审阅, 行政、技术或材料支持; 张伟: 对文章的知识性内容作批评性审阅, 行政、技术或材料支持, 指导, 支持性贡献; 范桢: 采集数据、分析/解释数据、统计分析; 褚光: 实施研究、采集数据; 李新春: 酝酿和设计实验、采集数据; 管婷婷: 统计分析、指导; 赵守财: 对文章的知识性内容作批判性审阅, 获取研究经费, 行政、技术或材料支持

## 参考文献

- [1] Wu DL, Wu CF, Zhang SY, et al. Risk factors of ventilator-associated pneumonia in critically ill patients[J]. Front Pharmacol, 2019, 10: 482. DOI: 10.3389/fphar.2019.00482.
- [2] 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. DOI: 10.1164/rccm.201703-05360C.
- [ 3 ] WIND (Weaning according to a New Definition) Study Group, the REVA (Réseau Européen de Recherche en Ventilation Artificielle) Network. Epidemiology of weaning outcome according to a new definition. The WIND Study[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2017, 195(6): 772–783. DOI: 10.1164/rccm.201602-03200C.
- [ 4 ] Damuth E, Mitchell JA, Bartock JL, et al. Long-term survival of critically ill patients treated with prolonged mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis[J]. *Lancet Respir Med*, 2015, 3(7): 544–553. DOI: 10.1016/S2213-2600(15)00150-2.
- [ 5 ] Fandler-Höfler S, Heschl S, Kneihsl M, et al. Ventilation time and prognosis after stroke thrombectomy: the shorter, the better![J]. *Eur J Neurol*, 2020, 27(5): 849–855. DOI: 10.1111/ene.14178.
- [ 6 ] Thille AW, Harrois A, Schortgen F, et al. Outcomes of extubation failure in medical intensive care unit patients[J]. *Crit Care Med*, 2011, 39(12): 2612–2618. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3182282a5a.
- [ 7 ] ENIO Study Group, the PROtective VENTilation network, the European Society of Intensive Care Medicine, et al. Extubation in neurocritical care patients: the ENIO international prospective study[J]. *Intensive Care Med*, 2022, 48(11): 1539–1550. DOI: 10.1007/s00134-022-06825-8.
- [ 8 ] Bösel J. Who is safe to extubate in the neuroscience intensive care unit?[J]. *Semin Respir Crit Care Med*, 2017, 38(6): 830–839. DOI: 10.1055/s-0037-1608773.
- [ 9 ] Torrini F, Gendreau S, Morel J, et al. Prediction of extubation outcome in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis[J]. *Crit Care*, 2021, 25(1): 391. DOI: 10.1186/s13054-021-03802-3.
- [ 10 ] 王祥, 黄诗倩, 夏祖和, 等. 超声监测膈肌功能在临床中的应用进展[J]. *中华危重病急救医学*, 2021, 33(5): 638–640. DOI: 10.3760/ema.j.cn121430-20200824-00591.
- [ 11 ] 张磊, 陈国忠, 王华英, 等. 膈肌超声评估机械通气撤机中临床应用价值[J]. *中华急诊医学杂志*, 2023, 32(2): 241–246. DOI: 10.3760/ema.j.issn.1671-0282.2023.02.020.
- [ 12 ] Raj I, Kumar Nagaiah S. Ultrasonography of diaphragm to predict extubation outcome[J]. *Cureus*, 2023, 15(3): e36514. DOI: 10.7759/cureus.36514.
- [ 13 ] González-Aguirre JE, Rivera-Urbe CP, Rendón-Ramírez EJ, et al. Pulmonary ultrasound and diaphragmatic shortening fraction combined analysis for extubation-failure-prediction in critical care patients[J]. *Arch Bronconeumol (Engl Ed)*, 2019, 55(4): 195–200. DOI: 10.1016/j.arbres.2018.09.015.
- [ 14 ] Vivier E, Muller M, Putegnat JB, et al. Inability of diaphragm ultrasound to predict extubation failure: a multicenter study[J]. *Chest*, 2019, 155(6): 1131–1139. DOI: 10.1016/j.chest.2019.03.004.
- [ 15 ] Dres M, Similowski T, Goligher EC, et al. Dyspnoea and respiratory muscle ultrasound to predict extubation failure[J]. *Eur Respir J*, 2021, 58(5): 2100002. DOI: 10.1183/13993003.00002-2021.
- [ 16 ] Kannan S, Khanna P, Kayarat B, et al. Assessment of respiratory muscles, lung parenchyma, and cardiac function by ultrasound for predicting weaning failure in critically ill adults: a prospective observational study[J]. *J Ultrasound Med*, 2025, 44(2): 195–207. DOI: 10.1002/jum.16596.
- [ 17 ] Peng L, Kang HS, Chang HR, et al. The ratio of parasternal intercostal muscle-thickening fraction-to-diaphragm thickening fraction for predicting weaning failure[J]. *J Crit Care*, 2024, 83: 154847. DOI: 10.1016/j.jcrc.2024.154847.
- [ 18 ] Helmy MA, Hasanin A, Milad LM, et al. Ability of parasternal intercostal muscle thickening fraction to predict reintubation in surgical patients with sepsis[J]. *BMC Anesthesiol*, 2024, 24(1): 294. DOI: 10.1186/s12871-024-02666-8.
- [ 19 ] Dres M, Dubé BP, Goligher E, et al. Usefulness of parasternal intercostal muscle ultrasound during weaning from mechanical ventilation[J]. *Anesthesiology*, 2020, 132(5): 1114–1125. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003191.
- [ 20 ] 刘增玲, 李继, 王素, 等. 神经内科常见疾病诊断指南[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2019.
- [ 21 ] Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research[J]. *J Chiropr Med*, 2016, 15(2): 155–163. DOI: 10.1016/j.jcm.2016.02.012. Erratum in: *J Chiropr Med*, 2017, 16(4): 346. DOI: 10.1016/j.jcm.2017.10.001.
- [ 22 ] American College of Chest Physicians, American Association for Respiratory Care, American College of Critical Care Medicine. 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): 375S–395S. DOI: 10.1378/chest.120.6\_suppl.375s.
- [ 23 ] 袁聪, 叶相如, 胡锦. 神经重症患者脱机拔管: 临床实践及结果预测研究进展[J]. *中华神经外科疾病研究杂志*, 2025, 19(2): 126–132.
- [ 24 ] Ziaka M, Exadaktylos A. Brain-lung interactions and mechanical ventilation in patients with isolated brain injury[J]. *Crit Care*, 2021, 25(1): 358. DOI: 10.1186/s13054-021-03778-0.
- [ 25 ] Suntrup-Krueger S, Schmidt S, Warnecke T, et al. Extubation readiness in critically ill stroke patients[J]. *Stroke*, 2019, 50(8): 1981–1988. DOI: 10.1161/STROKEAHA.118.024643.
- [ 26 ] Anderson CD, Bartscher JF, Scripko PD, et al. Neurologic examination and extubation outcome in the neurocritical care unit[J]. *Neurocrit Care*, 2011, 15(3): 490–497. DOI: 10.1007/s12028-010-9369-7.
- [ 27 ] Xu SS, Tian Y, Ma YJ, et al. Development of a prediction score for evaluation of extubation readiness in neurosurgical patients with mechanical ventilation[J]. *Anesthesiology*, 2023, 139(5): 614–627. DOI: 10.1097/ALN.0000000000004721.
- [ 28 ] Navalesi P, Frigerio P, Moretti MP, et al. Rate of reintubation in mechanically ventilated neurosurgical and neurologic patients: evaluation of a systematic approach to weaning and extubation[J]. *Crit Care Med*, 2008, 36(11): 2986–2992. DOI: 10.1097/CCM.0b013e31818b35f2.
- [ 29 ] Kutchak FM, Rieder MM, Victorino JA, et al. Simple motor tasks independently predict extubation failure in critically ill neurological patients[J]. *J Bras Pneumol*, 2017, 43(3): 183–189. DOI: 10.1590/S1806-37562016000000155.
- [ 30 ] Zhang XT, Zheng S, Chen C, et al. Risk factors for failing endotracheal extubation in neurocritical patients: a retrospective cohort study[J]. *Front Neurol*, 2025, 16: 1562454. DOI: 10.3389/fneur.2025.1562454.
- [ 31 ] Ochoa ME, Marin Mdel C, Frutos-Vivar F, et al. Cuff-leak test for the diagnosis of upper airway obstruction in adults: a systematic review and meta-analysis[J]. *Intensive Care Med*, 2009, 35(7): 1171–1179. DOI: 10.1007/s00134-009-1501-9.
- [ 32 ] Miller RL, Cole RP. Association between reduced cuff leak volume and postextubation stridor[J]. *Chest*, 1996, 110(4): 1035–1040. DOI: 10.1378/chest.110.4.1035.
- [ 33 ] 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. DOI: 10.4266/acc.2021.01354.
- [ 34 ] Gok F, Mercan A, Kilicaslan A, et al. Diaphragm and lung ultrasonography during weaning from mechanical ventilation in critically ill patients[J]. *Cureus*, 2021, 13(5): e15057. DOI: 10.7759/cureus.15057.
- [ 35 ] Elshazly MI, Kamel KM, Elkorashy RI, et al. Role of bedside ultrasonography in assessment of diaphragm function as a predictor of success of weaning in mechanically ventilated patients[J]. *Tuberc Respir Dis (Seoul)*, 2020, 83(4): 295–302. DOI: 10.4046/trd.2020.0045.
- [ 36 ] Palkar A, Mayo P, Singh K, et al. Serial diaphragm ultrasonography to predict successful discontinuation of mechanical ventilation[J]. *Lung*, 2018, 196(3): 363–368. DOI: 10.1007/s00408-018-0106-x.
- [ 37 ] Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise[J]. *Eur Respir J*, 2019, 53(6): 1801214. DOI: 10.1183/13993003.01214-2018.
- [ 38 ] He GJ, Han YJ, Zhan YS, et al. The combined use of parasternal intercostal muscle thickening fraction and P0.1 for prediction of weaning outcomes[J]. *Heart Lung*, 2023, 62: 122–128. DOI: 10.1016/j.hrtlng.2023.07.002.

(收稿日期: 2025-08-28)

(本文编辑: 孙茜)