Modern Practical Medicine, December 2025, Vol. 37, No. 12

·诊治分析·

EDP 联合个体化吸气肌训练对 ICU-AW 合并呼吸衰竭患者脱机成功率的影响

鲍盈盈，温建武，徐丽丽，温宝丽，鲁英杰，董双霞，王小红

【关键词】 重症监护室获得性衰弱；体外膈肌起搏；吸气肌功能训练；脱机
doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.12.010
【中图分类号】 R473.74；R492.5 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-0800(2025)12-1250-04

重症监护室获得性衰弱（intensive care unit-acquired weakness，ICU-AW）是以呼吸肌无力、对称性四肢肌无力、脱机困难四肢瘫为特点的神经-肌肉并发症，多累及以膈肌为主的呼吸肌和上肢肌[1]。30%～50%的 ICU 住院患者可能发生 ICU-AW，在长期机械通气（mechanical ventilation，MV）或脓毒症等患者中发生率可达 50%～80%[2]。ICU-AW 的发生机制尚未明确，目前认为多与长时间制动、多器官衰竭、高血糖及长时间 MV 所引起的膈肌去负荷有关[3]。ICU-AW 可使患者 MV 及 ICU 停留时间延长 2～3 倍，1 年死亡率可较非 ICU-AW 患者增加 50%[4]。

体外膈肌起搏（external diaphragm pacer，EDP）是一种临床常见的被动呼吸肌锻炼方法，其通过低频脉冲电信号对膈神经进行刺激，引起膈肌的节律性收缩而达到恢复膈肌功能的目的[5]。在慢性阻塞性肺疾病、脑卒中及高位脊髓损伤所致膈肌功能障碍上有良好的应用效果[6]。吸气肌功能训练（inspiratory muscle training，IMT）是一种针对膈肌、肋间外肌等吸气肌群的力量、耐力及协调性的专项训练方法，广泛用于呼吸系统疾病、术后康复及重症患者的呼吸功能改善[7]。因此，本研究联合 EDP、IMT 应用于 ICU-AW 呼吸衰竭患者，探讨其对 ICU-AW 合并呼吸衰竭患者脱机的影响，现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 采用前瞻性研究的方法，选取 2024 年 2 月至 2025 年 1 月期间于温州市中心医院 ICU 住院的 ICU-AW 患者 116 例为研究对象。纳入标准：（1）于 ICU 住院治疗，符合进行 MV 的指征；（2）年龄 18～80 岁；（3）ICU 住院时间＞2 周；（4）参照医学研究理事会肌肉评分量表（medicalresearchcouncil，MRC）的标准[8]，诊断为 ICU-AW（MRC＜48 分）；（5）合并呼吸衰竭；（6）呼吸中枢无异常，胸前区域皮肤无异常，可以进行 EDP 或 EDP+IMT 治疗。排除标准：（1）合并膈神经刺激禁忌证；（2）膈肌功能受损；（3）膈肌超声形态学评估中难以获取符合测量学标准的厚度数据，或合并存在胚胎发育源性膈肌解剖结构异常或获得性形态学改变特征；（4）生命体征不平稳或治疗期间出现生命体征不平稳；（5）入住 ICU 前合并影响肌肉功能的疾病，如重症肌无力等。采用随机数字表法分为研究组和对照组，研究进行期间部分患者出现脱落（对照组 8 例）。最终对照组 50 例（采用单纯 EDP 进行治疗），研究组 58 例（EDP 联合个体化 IMT 进行治疗）。本研究获得温州市中心医院伦理委员会批准，所有研究者或家属均同意参加本研究并签署书面知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 基础干预 所有患者针对目标关节实施被动活动干预方案，具体包括肩关节冠状面外旋运动、肘关节矢状面屈曲活动、腕关节屈曲-伸展轴向运动、髋关节额状面外展训练、膝关节矢状面伸展练习以及踝关节背屈-跖屈轴向活动。执行周期为 14 d，每日实施 2 个训练单元，每个关节活动单元均需完成 15 次全范围关节活动度训练。

1.2.2 EDP 协助患者取半坐卧位，将床头抬高

基金项目： 温州市科研项目（Y2023680）
作者单位： 325000 浙江省温州，温州市中心医院
通信作者： 王小红，Email：13868300794@163.com

30°，将上位电极片贴于胸锁乳突肌下 1/3 外侧，下位电极片贴于双侧锁骨中线与第二肋间交叉处。调控设置脉冲频率 40 Hz，进行电刺激，频率 9 次/min，在不引起患者疼痛、抽搐及生命体征不平稳的情况下进行。2 次/d，20 min/次，治疗 2 周。

1.2.3　个体化 IMT　采用赛克 X1 型肺功能训练仪测量患者的最大吸气压（maximal inspiratory pressure，MIP），患者采用坐位略前倾姿势（10°～ 15°），经气管插管连接肺功能训练仪，避免漏气，按照仪器的指示并在操作人员的提示下进行操作，测试前让患者平静呼吸 5 ～ 10 次以适应测试状态。MIP 为在残气位或功能残气位气道阻断时所记录的最大吸气口腔压。测试完成后进行 IMT，设置初始阻力为 30%MIP，8 ～ 10 次/组，3 ～ 5 组/次，2 次/d，每 3 天增加强度，最大强度为 60%MIP。治疗 2 周。

1.3　观察指标　（1）一般资料：包括性别、年龄、体质量指数（body mass index，BMI）、急性生理与慢性健康 II 评分（acute physiology and chronic health evaluation，APACHE II）、序贯器官衰竭评分（sequential organ failure assessment，SOFA）、主要诊断及是否合并肺部感染。（2）肌肉力量测定：采用 MRC 量表评估患者治疗前后的肌力。（3）身体功能和生活能力评估：采用切尔西危重监护身体评估工具（chelsea critical care physical assessment tool，CPAx）评估身体功能，总分 50 分，分数越低说明身体功能越差。生活能力采用改良 Barthel 指数（modified barthel index，MBI）进行评估，总分 100 分，分数越低提示生活能力越差。（4）膈肌功能评估：采用 LogiqE 翼翔超声机测量患者的膈肌功能，包括膈肌位移、吸气末膈肌厚度及呼气末膈肌厚度。（5）脱机：参照《机械通气临床实践》中的标准[9]进行评估。

1.4　统计方法　采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差表示，采用 t 检验；不符合正态分布的计量资料以均数（四分位数）表示，采用非参数检验。采用 Logistic 分析探究干预因素对结局事件的影响大小，采用 Kaplan-Meier 分析探究干预因素对结局事件发生时间上的影响，并采用 Log-rank 法比较组间差异。$P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2　结果

2.1　两组一般资料比较　两组性别、年龄、BMI、APACHE II 评分、SOFA 评分、主要诊断及是否合并肺部感染差异均无统计学意义（均 $P > 0.05$），见表 1。

2.2　两组治疗前后膈肌功能比较　两组治疗前膈肌移位、吸气末膈肌厚度及呼气末膈肌厚度差异均无统计学意义（均 $P > 0.05$），研究组治疗后膈肌位移高于对照组（$P < 0.05$），见表 2。

2.3　两组治疗前后肌肉力量、身体功能和生活能力比较　两组治疗前 MRC、CPAx 及 MBI 评分差异均无统计学意义（均 $P > 0.05$）。治疗后两组 MRC、CPAx 及 MBI 评分均较治疗前升高，且研究组高于对照组（均 $P < 0.05$），见表 3。

2.4　影响 EDP 联合个体化 IMT 患者脱机的影响因素　根据患者 2 周内是否脱机，分为脱机组（39 例）和未脱机组（69 例）。单因素分析显示两组性别、年

表 1　两组一般资料比较

指标		对照组（n=50）	研究组（n=58）	χ^2（t）[Z]值	P 值
性别[例（%）]	男	32（64.00）	36（62.07）	0.06	＞ 0.05
	女	18（32.00）	22（37.93）		
年龄（岁）		63.1±6.2	62.3±7.2	（0.88）	＞ 0.05
BMI（kg/m^2）		23.26±2.17	23.56±2.33	（0.71）	＞ 0.05
APACHEII（分）		8.26±1.55	8.09±1.22	（0.63）	＞ 0.05
SOFA（分）		3.00（2.00，4.00）	3.50（3.00，4.50）	[0.45]	＞ 0.05
主要诊断[例（%）]	AECOPD	22（44.00）	27（46.55）	0.07	＞ 0.05
	ARDS	10（20.00）	11（18.97）		
	重症肺炎	18（36.00）	20（34.48）		
合并肺部感染[例（%）]	是	28（56.00）	34（58.62）	0.08	＞ 0.05
	否	22（44.00）	24（41.38）		

注：AECOPD 为慢性阻塞性肺疾病急性加重期，ARDS 为急性呼吸窘迫综合征，BMI 为体质量指数，APACHEII 为急性生理与慢性健康 II 评分，SOFA 为序贯器官衰竭评分

Modern Practical Medicine, December 2025, Vol. 37, No. 12

龄、BMI、APACHEII 评分、SOFA 评分、主要诊断、合并肺部感染及干预措施差异均有统计学意义（$P < 0.05$），见表 4。多因素分析显示，在不调整混杂因素下，EDP 联合个体化 IMT 预测脱机成功的概率相对于单纯 EDP 提高 1.834 倍（$P < 0.05$）；在调整性别、年龄及 BMI 后，成功率提高至 2.336 倍（$P < 0.05$）；进一步调整 APACHEII 评分、SOFA 评分、主要诊断及合并肺部感染后，成功率提升至 2.678 倍（$P < 0.05$），见表 5。对照组脱机患者的平均脱机时间为（14.27± 3.47）d，高于研究组脱机患者的平均脱机时间（12.22±3.33）d，差异有统计学意义（$P < 0.05$），见图 1。

3 讨论

ICU-AW 是危重症患者常见的并发症，主要表现为广泛的肢体和呼吸肌无力，可导致机械通气时间延长、脱机困难以及住院时间增加[10]。EDP 作为

表 2 两组治疗前后膈肌功能评估 mm

组别	膈肌位移		吸气末膈肌厚度		呼气末膈肌厚度	
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
对照组（n=50）	10.40±2.54	10.49±2.63	1.15±0.05	1.14±0.06	0.90±0.10	0.92±0.08
研究组（n=58）	11.03±2.39	13.97±2.77	1.15±0.09	1.16±0.07	0.92±0.11	0.92±0.09
t 值	0.37	14.02	0.02	0.08	0.06	0.01
P 值	＞ 0.05	＜ 0.05	＞ 0.05	＞ 0.05	＞ 0.05	＞ 0.05

表 3 两组治疗前后肌肉力量、身体功能和生活能力比较 分

组别	MRC		CPAx		MBI	
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
对照组（n=50）	33.28±4.32	40.29±5.33	28.38±3.84	33.20±4.23	42.19±5.83	54.82±6.34
研究组（n=58）	33.98±5.33	50.18±4.83	29.10±4.02	39.29±5.73	41.97±4.83	62.08±5.02
t 值	0.28	20.93	0.30	18.88	0.29	24.02
P 值	＞ 0.05	＜ 0.05	＞ 0.05	＜ 0.05	＞ 0.05	＜ 0.05

注：MRC 为医学研究理事会肌肉评分量表，CPAx 为切尔西危重监护身体评估工具，MBI 为改良 Barthel 指数

表 4 影响患者 2 周内脱机的单因素分析

指标		脱机组（n=39）	未脱机组（n=69）	χ^2（t）[Z]值	P 值
性别（例）	男	30	38	5.10	＜ 0.05
	女	9	31		
年龄（岁）		56.4±5.7	66.3±6.7	（17.95）	＜ 0.05
BMI（kg/m^2）		24.18±2.22	22.99±2.05	（4.88）	＜ 0.05
APACHEII 评分（分）		7.84±1.31	8.35±1.77	（18.82）	＜ 0.05
SOFA 评分（分）		3.00（2.00，4.00）	4.00（3.00，5.00）	[8.94]	＜ 0.05
主要诊断[例（%）]	AECOPD	28（71.79）	21（30.43）	17.47	＜ 0.05
	ARDS	3（7.69）	18（26.09）		
	重症肺炎	8（20.51）	30（43.49）		
合并肺部感染[例（%）]	是	7（17.95）	55（79.71）	38.87	＜ 0.05
	否	32（82.05）	14（20.29）		
干预措施[例（%）]	单纯 EDP	11（28.21）	39（56.52）	8.04	＜ 0.05
	EDP 联合个体化 IMT	28（71.79）	30（43.48）		

注：AECOPD 为慢性阻塞性肺疾病急性加重期，ARDS 为急性呼吸窘迫综合征，BMI 为体质量指数，APACHEII 为急性生理与慢性健康 II 评分，SOFA 为序贯器官衰竭评分，EDP 为体外膈肌起搏，IMT 为吸气肌功能训练

表 5 EDP 联合个体化 IMT 对患者脱机影响 Logistic 分析

模型	B 值	SE 值	Waldχ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
模型 1	0.604	0.231	6.84	＜ 0.05	1.834	1.172 ～ 3.242
模型 2	0.846	0.260	10.59	＜ 0.05	2.336	1.274 ～ 5.993
模型 3	0.982	0.279	12.39	＜ 0.05	2.678	1.330 ～ 6.023

注：模型 1 不调整混杂因素；模型 2 调整性别、年龄及体质量指数（BMI）；模型 3 调整性别、年龄、BMI、急性生理与慢性健康 II 评分及序贯器官衰竭评分。EDP 为体外膈肌起搏，IMT 为吸气肌功能训练

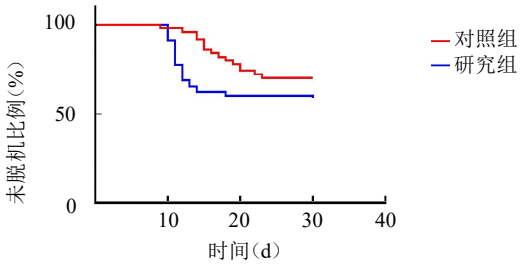


图 1　两组脱机率的 Kaplan-Meier 分析

一种新兴的呼吸康复技术，通过电刺激膈神经来增强膈肌收缩能力，已被证实可以改善膈肌功能[11]。然而，单纯依赖 EDP 的被动刺激可能难以完全逆转 ICU-AW 导致的呼吸肌功能障碍。近年来，IMT 在改善呼吸肌力量和耐力方面显示出良好的效果[12]。但目前在 ICU-AW 患者中，关于 EDP 联合个体化 IMT 的协同作用及其对脱机成功率影响的研究仍较为有限。

本研究结果显示，EDP 联合 IMT 能更有效地改善膈肌功能、增强呼吸肌力量，并提高脱机成功率。EDP 通过电刺激膈神经增强膈肌收缩能力，改善通气效率，可增加膈肌移动度，减少机械通气导致的膈肌萎缩[13]；同时，EDP 可能为 IMT 提供生理基础，但单独应用效果有限，联合作用能减少呼吸机依赖，降低 ICU-AW 相关肌萎缩。多项研究支持 EDP 对脱机的积极作用。Bissett 等[12]研究显示 IMT 可提高脱机成功率（*RR*=1.4），但研究对象多为稳定期 COPD 患者，而非 ICU-AW。目前关于 EDP+IMT 的研究较少，但类似联合策略（如 NMES+呼吸训练）已被临床验证，如 Othman 等[2]研究发现电刺激联合呼吸训练可降低 ICU-AW 发生率（*OR*=0.6）。

综上所述，EDP 联合个体化 IMT 可显著改善 ICU-AW 患者的膈肌功能、肌力和脱机成功率，其机制可能涉及神经肌肉适应与呼吸肌重塑的协同作用。同时本研究样本量较小，未进行长期随访，有待后续研究的进一步开展。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

参　考　文　献

[1] CHEN J, HUANG M. Intensive care unit-acquired weakness: Recent insights[J]. J Intensive Med, 2024, 4(1): 73-80.

[2] OTHMAN S Y, ELBIAA M A, MANSOUR E R, et al. Effect of neuromuscular electrical stimulation and early physical activity on ICU-acquired weakness in mechanically ventilated patients: A randomized controlled trial[J]. Nurs Crit Care, 2024, 29(3): 584-596.

[3] TEIXEIRA J P, MAYER K P, GRIFFIN B R, et al. Intensive care unit-acquired weakness in patients with acute kidney injury: A contemporary review[J]. Am J Kidney Dis, 2023, 81(3): 336-351.

[4] YU Q M, SONG J M, YANG L Y, et al. A scoping review of preclinical intensive care unit-acquired weakness models[J]. Front Physiol, 2024, 15: 1423567.

[5] HE C, REN S, DU Q, et al. Adjuvant therapy: YiqiDitanTongfu Decoction with external diaphragm pacer for chronic obstructive pulmonary disease patients with difficulty weaning from mechanical ventilation[J]. Altern Ther Health Med, 2020, 26(3): 32-38.

[6] 李磊, 李静, 喻鹏铭, 等. 体外膈肌起搏对 ICU 获得性衰弱患者膈肌功能障碍有效性的研究分析[J]. 中国康复, 2019, 34(6):299-302.

[7] DE FARIAS MELLO E S, OLIVEIRA A L M B, SANTANNA T D C, et al. Updates in inspiratory muscle training for older adults: A systematic review[J]. Arch Gerontol Geriatr, 2024, 127: 105579.

[8] ZHANG L, HU W S, CAI Z Y, et al. Early mobilization of critically ill patients in the intensive care unit: A systematic review and meta-analysis[J]. PLoS One, 2019, 14(10): e0223185.

[9] 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.

[10] LIU M, LUO J, ZHOU J, et al. Intervention effect of neuromuscular electrical stimulation on ICU acquired weakness: A meta-analysis[J]. Int J Nurs Sci, 2020, 7(2): 228-237.

[11] KWON A, LODGE M, MCCOMB J G, et al. An unusual cause of diaphragm pacer failure in congenital central hypoventilation syndrome[J]. J Clin Sleep Med, 2022, 18(3): 949-952.

[12] BISSETT B, LEDITSCHKE I A, GREEN M, et al. Inspiratory muscle training for intensive care patients: A multidisciplinary practical guide for clinicians[J]. Aust Crit Care, 2019, 32(3): 249-255.

[13] ZHANG Q, WANG X M, LIU M Z, et al. Assessing the diagnostic efficacy of handgrip dynamometry and diaphragmatic ultrasound in intensive care unit-acquired weakness[J]. J Multidiscip Healthc, 2024, 17: 2359-2370.

收稿日期：2025-07-24

（本文编辑：吴迪汉）