

经皮膈神经电刺激预防有创机械通气患者呼吸机相关性膈肌功能障碍的效果研究

沈玉华¹ 张红燕¹ 王凌燕² 宋宪斌² 王显江² 曹霁莉³

¹ 嘉兴市第一医院急诊科, 浙江嘉兴 313000; ² 嘉兴市第一医院重症医学科, 浙江嘉兴 313000;

³ 嘉兴市第一医院康复科, 浙江嘉兴 313000

通信作者: 沈玉华, Email: 991438059@qq.com

【摘要】目的 探讨经皮膈神经电刺激对有创机械通气患者呼吸机相关性膈肌功能障碍(VIDD)的预防效果。**方法** 采用随机对照试验设计方法,选择2022年11月至2023年12月嘉兴市第一医院重症监护病房(ICU)收治的需要进行有创机械通气治疗的患者作为研究对象,通过随机数字表法将患者分配至对照组与观察组。对照组给予ICU标准化护理措施,包括翻身拍背、床头抬高、按需吸痰、雾化吸入、口腔护理及气囊压力和胃潴留监测。观察组在ICU标准化护理措施的同时,额外施加经皮膈神经电刺激干预,刺激力度设定为10 U,脉冲频率设定为40 Hz,刺激次数设定为12次/min;每天给予经皮膈神经电刺激干预1次,每次持续30 min,共干预5 d。比较两组患者干预1、3、5 d膈肌增厚分数(DTF)和动脉血气指标,以及干预5 d后VIDD发生率、机械通气时间和ICU住院时间。**结果** 共入选120例接受有创机械通气的患者,研究过程中脱落16例(脱落率为13.33%),最终对照组纳入51例,观察组纳入53例。两组患者在性别构成、年龄分布、体质指数(BMI)、急性生理学与慢性健康状况评分II(APACHE II)、白蛋白(Alb)、血红蛋白(Hb)及疾病类型等基础状况方面差异均无统计学意义。两组患者DTF均随干预时间延长呈逐渐增加趋势[对照组干预1、3、5 d DTF分别为(20.83±2.33)%、(21.92±1.27)%、(23.93±2.33)%,观察组分别为(20.89±1.96)%、(22.56±1.64)%、(25.34±2.38)%],以观察组DTF变化更加明显,存在时间效应($F_{\text{时间}}=105.975, P<0.001$)、干预效应($F_{\text{干预}}=7.378, P=0.008$)及交互效应($F_{\text{交互}}=3.322, P=0.038$)。两组患者干预前动脉血气指标差异均无统计学意义;干预5 d后,观察组患者动脉血氧分压(PaO₂)明显高于对照组[mmHg(1 mmHg≈0.133 kPa):100.72±15.75比93.62±15.54, $P<0.05$],动脉血二氧化碳分压(PaCO₂)显著低于对照组[mmHg:36.53±3.10比37.69±2.02, $P<0.05$]。干预5 d后,观察组患者VIDD发生率显著低于对照组[15.09%(8/53)比37.25%(19/51), $P<0.05$],且机械通气时间和ICU住院时间较对照组显著缩短[机械通气时间(d):7.93±2.06比8.77±1.76, ICU住院时间(d):9.64±2.35比11.01±2.01,均 $P<0.05$]。**结论** 经皮膈神经电刺激能够有效改善有创机械通气患者的膈肌和呼吸功能,降低VIDD发生率,缩短机械通气时间和ICU住院时间。

【关键词】 危重症; 有创机械通气; 体外膈神经电刺激; 呼吸机相关性膈肌功能障碍; 预防

基金项目: 浙江省嘉兴市科技计划项目(2022AD30049); 浙江省嘉兴市医学重点学科建设计划项目(2023-Zc-007)

临床试验注册: 中国临床试验注册中心, ChiCTR 2400089770

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240111-00037

Effect of transcutaneous phrenic nerve stimulation in preventing ventilator-induced diaphragmatic dysfunction in invasive mechanically ventilated patients

Shen Yuhua¹, Zhang Hongyan¹, Wang Lingyan², Song Xianbin², Wang Xianjiang², Cao Aili³

¹Department of Emergency Medicine, Jiaying First Hospital, Jiaying 313000, Zhejiang, China; ²Department of Critical Care Medicine, Jiaying First Hospital, Jiaying 313000, Zhejiang, China; ³Department of Rehabilitation, Jiaying First Hospital, Jiaying 313000, Zhejiang, China

Corresponding author: Shen Yuhua, Email: 991438059@qq.com

【Abstract】Objective To explore the preventive effect of transcutaneous phrenic nerve stimulation on ventilator-induced diaphragmatic dysfunction (VIDD) in patients requiring invasive mechanical ventilation. **Methods** A randomized controlled trial was conducted. The patients requiring invasive mechanical ventilation admitted to the intensive care unit (ICU) of Jiaying First Hospital from November 2022 to December 2023 were enrolled. Participants were randomized into the control group and the observation group using a random number table. The control group was given ICU standardized nursing intervention, including turning over and slapping the back, raising the head of the bed, sputum aspiration on demand, aerosol inhalation, oral care, and monitoring of airbag pressure and gastric retention, the observation group was given additional transcutaneous phrenic nerve stimulation intervention on the basis of ICU standardized nursing intervention. The stimulation intensity was set to 10 U, the pulse frequency was set to 40 Hz, and the stimulation frequency was set to 12 times/min. Transcutaneous phrenic nerve stimulation was administered

once a day for 30 minutes each time, for a total of 5 days. Diaphragm thickening fraction (DTF) and arterial blood gas parameters on days 1, 3, and 5 of intervention were compared between the two groups. After 5 days of intervention, other parameters including the incidence of VIDD, duration of mechanical ventilation, and length of ICU stay were compared. **Results** A total of 120 patients requiring invasive mechanical ventilation were enrolled, with 16 dropouts (dropout rate was 13.33%). Ultimately, 51 patients in the control group and 53 patients in the observation group were analyzed. Baseline characteristics, including gender, age, body mass index (BMI), acute physiology and chronic health evaluation II (APACHE II) score, albumin (Alb), hemoglobin (Hb), and disease type, showed no significant differences between the two groups. DTF in both groups gradually increased over duration of intervention [DTF on days 1, 3, and 5 in the control group was $(20.83 \pm 2.33)\%$, $(21.92 \pm 1.27)\%$, and $(23.93 \pm 2.33)\%$, respectively, and that in the observation group was $(20.89 \pm 1.96)\%$, $(22.56 \pm 1.64)\%$, and $(25.34 \pm 2.38)\%$, respectively], with more significant changes in DTF in the observation group, showing time effects ($F_{\text{time}} = 105.975, P < 0.001$), intervention effects ($F_{\text{intervention}} = 7.378, P = 0.008$), and interaction effects ($F_{\text{interaction}} = 3.322, P = 0.038$). Arterial blood gas parameters did not differ significantly before intervention between the groups, but after 5 days of intervention, arterial partial pressure of oxygen (PaO_2) in the observation group was significantly higher than that in the control group [mmHg (1 mmHg \approx 0.133 kPa): 100.72 ± 15.75 vs. $93.62 \pm 15.54, P < 0.05$], and arterial partial pressure of carbon dioxide (PaCO_2) was significantly lower than that in the control group (mmHg: 36.53 ± 3.10 vs. $37.69 \pm 2.02, P < 0.05$). At 5 days of intervention, the incidence of VIDD in the observation group was significantly lower than that in the control group [15.09% (8/53) vs. 37.25% (19/51), $P < 0.05$], and both duration of mechanical ventilation and length of ICU stay were significantly shorter than those in the control group [duration of mechanical ventilation (days): 7.93 ± 2.06 vs. 8.77 ± 1.76 , length of ICU stay (days): 9.64 ± 2.35 vs. 11.01 ± 2.01 , both $P < 0.05$]. **Conclusion** Transcutaneous phrenic nerve stimulation can improve diaphragmatic and respiratory function in patients receiving invasive mechanical ventilation, reduce the incidence of VIDD, and shorten the duration of mechanical ventilation and length of ICU stay.

【Key words】 Critical illness; Invasive mechanical ventilation; Transcutaneous phrenic nerve stimulation; Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction; Prevention

Fund program: Jiaxing Science and Technology Planning Project in Zhejiang Province (2022AD30049); Jiaxing Medical Key Discipline Construction Planning Project in Zhejiang Province (2023-Zc-007)

Trial Registration: Chinese Clinical Trial Registry, ChiCTR 2400089770

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240111-00037

机械通气是常用于救治重症监护病房 (intensive care unit, ICU) 患者的措施。已有研究表明,在我国,有 50% ~ 70% 的重症患者需接受机械通气治疗^[1]。然而,机械通气也可引起膈肌纤维萎缩和收缩力下降,被称为呼吸机相关性膈肌功能障碍 (ventilator-induced diaphragmatic dysfunction, VIDD)^[2]。有研究表明,对于接受机械通气治疗的重症患者,其 VIDD 的发生率高达 40% ~ 60%^[3],尤其是在早期控制通气模式下,膈肌会较快出现萎缩和收缩力下降^[4]。一旦发生 VIDD,患者会出现膈肌、呼吸肌功能下降,增加对机械通气的需求,延长 ICU 住院时间,并提高呼吸机相关性肺炎 (ventilator-associated pneumonia, VAP) 等并发症的发生风险^[5]。因此,探寻一种能够有效预防 ICU 接受机械通气治疗患者发生 VIDD 的方法尤为迫切。

国内一项研究表明,经皮膈神经电刺激能够引发膈肌主动、规律收缩,在一定程度上能够缓解患者膈肌疲劳,从而改善膈肌功能^[6],但该干预措施是否能有效预防机械通气患者 VIDD 的发生目前尚不明确,且相关临床研究较少。本研究旨在探讨经皮膈神经电刺激对机械通气患者的影响,以期为机械通气患者 VIDD 的预防提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象: 采用随机对照试验设计方法,选择 2022 年 11 月至 2023 年 12 月本院 ICU 收治的需要进行有创机械通气治疗的患者群体作为研究对象。

1.1.1 纳入标准: ① 需建立有创机械通气; ② 预计机械通气时间 > 48 h; ③ 年龄 > 18 周岁; ④ 胸锁乳突肌区域皮肤无破损; ⑤ 血流动力学稳定; ⑥ 已签署知情同意告知书。

1.1.2 排除标准: ① 存在经皮膈神经电刺激的禁忌症候群 (如体内装有心脏除颤器或节律器、明显的心律失常、未经有效处理的严重气胸); ② 存在神经肌肉系统疾病 (如重症肌无力); ③ 存在干扰超声波检测的各种情况,如大量胸水、腹内压力增高、腹膜炎、妊娠状态。

1.1.3 脱落标准: 在研究过程中,如患者出现脱机、拔管、死亡、自动出院,则终止试验。

1.2 伦理学: 本研究严格遵循医学伦理规范,并通过所涉医院伦理审查委员会正式审核批准 (审批号: LS2021-KY-107-02)。所有参与研究的受试者及其法定监护人已充分知情,并签订了知情同意书。此外,本研究已在中国临床试验注册中心完成注册 (注册号: ChiCTR 2400089770)。

1.3 样本量的计算:结合文献报道的数据^[7],使用 G*Power 软件,选择两组独立样本 *t* 检验, $\alpha = 0.05$ 、 $1 - \beta = 0.9$ 、 $n_2/n_1 = 1$,考虑 20% 脱落率,计算得到样本量 $n_1 = n_2 = 60$ 。

1.4 随机分组方法:采用 SPSS 27.0 软件中的随机数字生成器产生 120 个随机数,按照两组进行分配。将产生的随机数装入黑色不透光的信封中,分装后,由不参与研究方案实施的项目成员保管,确定纳入研究对象后,由家属签署知情同意书时抽取信封,根据相应的数字完成分组。

1.5 研究方法:研究团队包括经验丰富的重症医生 2 名、康复医生 1 名、重症护士 4 名,相互协作完成。

1.5.1 对照组护理措施:对照组给予 ICU 标准化护理措施,包括:①每隔 2 h 翻身拍背 1 次;②床头抬高 $30^\circ \sim 45^\circ$;③按需吸痰;④遵医嘱给予患者雾化吸入;⑤每隔 6 h 口腔护理 1 次;⑥每隔 4 ~ 6 h 监测 1 次气囊压力;⑦每班监测胃潴留情况。

1.5.2 观察组护理措施:通过检索文献和小组会议制定干预方法。在给予患者 ICU 标准化护理措施的同时,每天早上由研究团队的康复医生和重症护士应用体外膈肌起搏器进行膈神经电刺激。具体方法:将微电极贴于患者胸锁乳突肌下段内侧 1/3 区域,并将较大的电极放置在左右两侧锁骨中点与第二肋间隙交汇的位置,刺激力度设定为 10.0,脉冲频率设定为 40 Hz,刺激次数设定为 12 次/min,持续刺激 30 min,每天干预 1 次,共干预 5 d^[4-8]。

1.5.3 超声检查方法:每天下午由研究团队具备重症医学科超声培训合格证书的医生负责两组患者的膈肌评估。具体方法:患者取平卧位,呼吸机设置为自主呼吸模式,呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)设置为 0,潮气量(tidal volume, VT)为 6 ~ 8 mL/kg,至少 3 次自然呼吸^[9]。取患者右侧腋中线,将探头放置于第 10 肋间隙并逐渐向上滑动探头,测量吸气末和呼气末的膈肌厚度^[10]。每次操作时测量 3 个呼吸周期取平均值(操作者为非参与诊疗活动医师)。两组患者每日测量并记录膈肌增厚分数(diaphragm thickening fraction, DTF),测量点做好标记以便于每日评估。

1.6 观察指标及方法

1.6.1 DTF:通过超声检查,记录患者的 DTF,DTF = (吸气末膈肌厚度 - 呼气末膈肌厚度) / 呼气末膈肌厚度 $\times 100\%$ 。

1.6.2 VIDD 发生率:观察患者 VIDD 发生情况,计算

VIDD 发生率, VIDD 发生率 = 发生 VIDD 的患者例数 / 患者总例数 $\times 100\%$ 。

1.6.3 动脉血气指标:每天早上由责任班检查患者动脉血气,记录干预前后动脉血气指标。

1.6.4 机械通气时间:记录患者从开始机械通气至停止机械通气的时间。

1.6.5 ICU 住院时间:记录患者从入 ICU 至出 ICU 的时间。

1.7 质量控制方法:本研究负责实施经皮膈神经电刺激的人员不参与超声测量、数据统计和分析;超声评价者不知晓分组情况,不参与数据收集;数据收集和分析人员均不参与研究方案的实施。

1.8 统计学分析:应用 SPSS 27.0 软件,通过双人校对法输入数据,开展数据分析工作。定量数据服从正态分布,以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)形式表达,并通过 *t* 检验进行组间比较。定性数据以例数(%)格式展现,使用 χ^2 检验进行组间分析。需要进行重复测量的数据集,采用重复测量方差分析进行处理;若数据违反球形假设,则采用 Greenhouse-Geisser 方法进行校正。当 $P < 0.05$ 时,认为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者基础状况比较(表 1):共入选 120 例接受有创机械通气的患者;在研究期间,有 16 例患者脱落(脱落率 13.33%),最终对照组纳入 51 例,观察组纳入 53 例。两组患者在性别构成、年龄、体质指数(body mass index, BMI)、急性生理学与慢性健康状况评分 II (acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II)、白蛋白(albumin, Alb)、血红蛋白(hemoglobin, Hb)及疾病类型等基础状况方面均保持一致性,差异无统计学意义(均 $P > 0.05$)。

2.2 两组患者干预各时间点 DTF 变化比较(表 2):重复测量方差分析显示,两组患者 DTF 均随干预时间延长逐渐增加,且观察组 DTF 变化较对照组更明显, $F_{\text{时间}} = 105.975$ 、 $P < 0.001$, $F_{\text{干预}} = 7.378$ 、 $P = 0.008$, $F_{\text{交互}} = 3.322$ 、 $P = 0.038$,差异均有统计学意义。

2.3 两组患者干预各时间点动脉血气指标变化比较(表 3):干预措施实施前,两组患者动脉血氧分压(arterial partial pressure of oxygen, PaO₂)及动脉血二氧化碳分压(arterial partial pressure of carbon dioxide, PaCO₂)差异并未显示出统计学意义(均 $P > 0.05$);然而,经过 5 d 干预治疗后,观察组患者 PaO₂ 较对照组显著升高,PaCO₂ 较对照组显著降低,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。

表 1 不同护理措施两组有创机械通气患者基础状况比较

组别	例数 (例)	性别 [例(%)]		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	BMI (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	APACHE II 评分 (分, $\bar{x} \pm s$)	Alb (g/L, $\bar{x} \pm s$)	Hb (g/L, $\bar{x} \pm s$)
		男性	女性					
对照组	51	27 (52.9)	24 (47.1)	62.42 ± 15.51	25.68 ± 1.83	16.10 ± 7.10	32.90 ± 3.15	107.04 ± 7.89
观察组	53	33 (62.3)	20 (37.7)	59.29 ± 17.48	25.55 ± 2.87	18.88 ± 8.28	33.87 ± 5.03	106.12 ± 11.13
χ^2/t 值		0.926		0.961	0.281	-1.836	-1.164	0.478
P 值		0.428		0.317	0.779	0.069	0.247	0.634

组别	例数 (例)	疾病类型 [例(%)]								
		呼吸 衰竭	感染性 休克	药物 中毒	支气管扩张 伴咯血	消化道 出血	腹腔 感染	AECOPD	多发伤	糖尿病酮症 酸中毒
对照组	51	15 (29.4)	9 (17.7)	6 (11.8)	4 (7.8)	5 (9.8)	4 (7.8)	3 (5.9)	2 (3.9)	3 (5.9)
观察组	53	8 (15.1)	10 (18.9)	4 (7.5)	7 (13.2)	8 (15.1)	2 (3.8)	8 (15.1)	5 (9.4)	1 (1.9)
χ^2 值		9.028								
P 值		0.340								

注：对照组给予重症监护病房 (ICU) 标准化护理措施，观察组在 ICU 标准化护理措施基础上给予经皮膈神经电刺激；BMI 为体质指数，APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II，Alb 为白蛋白，Hb 为血红蛋白，AECOPD 为慢性阻塞性肺疾病急性加重

表 2 不同护理措施两组有创机械通气患者干预不同时间点 DTF 变化比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数 (例)	DTF (%)			$F_{时间}$	$F_{干预}$	$F_{交互}$
		干预 1 d	干预 3 d	干预 5 d			
对照组	51	20.83 ± 2.33	21.92 ± 1.27	23.93 ± 2.33	105.975 ^a	7.378 ^b	3.322 ^c
观察组	53	20.89 ± 1.96	22.56 ± 1.64	25.34 ± 2.38			

注：对照组给予重症监护病房 (ICU) 标准化护理措施，观察组在 ICU 标准化护理措施基础上给予经皮膈神经电刺激；DTF 为膈肌增厚分数；^a $P < 0.001$ ，^b $P = 0.008$ ，^c $P = 0.038$

表 3 不同护理措施两组有创机械通气患者干预不同时间点动脉血气指标变化比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数 (例)	PaO ₂ (mmHg)		PaCO ₂ (mmHg)	
		干预前	干预 5 d	干预前	干预 5 d
对照组	51	64.12 ± 10.76	93.62 ± 15.54	40.69 ± 6.10	37.69 ± 2.02
观察组	53	66.64 ± 14.01	100.72 ± 15.75	42.27 ± 7.93	36.53 ± 3.10
t 值		-1.023	-2.312	-1.134	2.250
P 值		0.309	0.023	0.259	0.026

注：对照组给予重症监护病房 (ICU) 标准化护理措施，观察组在 ICU 标准化护理措施基础上给予经皮膈神经电刺激；PaO₂ 为动脉血氧分压，PaCO₂ 为动脉血二氧化碳分压；1 mmHg ≈ 0.133 kPa

2.4 两组患者 VIDD 发生率、机械通气时间及 ICU 住院时间比较 (表 4)：经过 5 d 的干预治疗后，观察组患者 VIDD 发生率显著低于对照组，机械通气时间和 ICU 住院时间较对照组显著缩短，差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。

表 4 不同护理措施两组有创机械通气患者 VIDD 发生率、机械通气时间及 ICU 住院时间比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数 (例)	VIDD 发生率 [% (例)]	机械通气时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	ICU 住院时间 (d, $\bar{x} \pm s$)
对照组	51	37.25 (19)	8.77 ± 1.76	11.01 ± 2.01
观察组	53	15.09 (8)	7.93 ± 2.06	9.64 ± 2.35
χ^2/t 值		6.781	3.202	2.230
P 值		0.014	0.002	0.028

注：对照组给予重症监护病房 (ICU) 标准化护理措施，观察组在 ICU 标准化护理措施基础上给予经皮膈神经电刺激；VIDD 为呼吸机相关性膈肌功能障碍

3 讨论

有创机械通气早期以控制模式为主，患者膈肌自主运动减少，且机械通气早期需要使用镇静、镇痛药物来减少人机对抗和氧耗，也需要约束、制动来降低意外拔管的风险，使膈肌收缩力进一步降低。相关研究表明，对于接受机械通气的患者而言，DTF 是评估膈肌收缩力的有效指标^[11]。DTF < 20% 预示膈肌功能障碍，可作为 ICU 诊断 VIDD 的有效手段^[12-13]，是目前评估膈肌功能障碍的首选方法^[14]。在本研究中，经过 5 d 的干预治疗，观察组患者 DTF 显著高于对照组，经过统计分析，两组间差异存在统计学意义，证明经皮膈神经电刺激能改善有创机械通气患者的膈肌功能，与国内其他研究得出的数据相符^[4,15]。本研究中，观察组患者 VIDD 发生率显著低于对照组，差异存在统计学意义。表明实施经皮膈神经电刺激有助于降低有创机械通气患者 VIDD 的发生率，与国内其他研究结果一致^[7,16]。在进行机械通气的过程中，患者膈肌的活动幅度降低，这往往会引起线粒体数量减少及酶活性下降，进而导致能量供应不足；此外，这种状况还会损害肌质网吸收钙离子的功能，最终导致膈肌收缩力下降，进而发生 VIDD^[17]。本研究中，观察组在患者接受有创机械通气时给予经皮膈神经电刺激，保留了膈肌收缩的活性，减少了线粒体损伤，增强了肌质网摄取钙离子的能力，使各类型纤维功能增强，同时可以保持肌纤维比例相对正常，从而增强了膈肌的收缩能力，减少了 VIDD 的发生。

研究表明，在呼吸运动中，有 60% ~ 80% 的动力来源于膈肌收缩，膈肌每下降 1 cm 可增加 350 mL 左右的潮气量^[18]。本研究显示，经过 5 d 的干预，观察

组患者的 PaO₂ 较对照组显著提升,同时,其 PaCO₂ 较对照组显著下降,两组数据间差异存在统计学意义。表明经皮膈神经电刺激可以提高有创机械通气患者 PaO₂、降低 PaCO₂。国外学者 Gonzalez-Bermejo 等^[19]对 10 例接受机械通气的高位脊髓损伤患者进行了体外膈神经电刺激,并观察了干预效果,结果显示,该干预措施能够显著提高患者 PaO₂。Wakeam 等^[20]通过在 317 家医院进行的一项多中心研究也证实,增加膈肌活动度和提高肺功能可以改善术后患者的运动耐力受限症状。本研究在干预过程中发现,膈神经每发出 1 次电刺激,患者呼吸机参数中的潮气量就会较前略有增加,而且肺顺应性亦小幅度增加。分析其原因:膈神经电刺激增强了患者膈肌的收缩力,扩大了胸廓容积,改善了患者气体交换,从而提高了患者的 PaO₂;同时,膈神经电刺激能使感觉纤维兴奋,产生神经冲动,并传导至脊髓,从而激活呼吸中枢,促使吸气转变为呼气,有效促进 CO₂ 排出,降低 PaCO₂^[21]。国内也有研究表明,严格的膈肌电刺激训练可以改善肺癌切除术后患者的肺功能和运动耐力指标,从而促进患者的术后肺康复^[22]。以上研究结论与本研究结果相近,进一步证实了经皮膈神经电刺激能够改善患者的呼吸功能。

临床上,机械通气患者早期膈肌功能就已经开始下降,长期机械通气患者膈肌功能进一步下降,最终导致膈肌衰弱,脱机困难,ICU 住院时间延长。本研究中,观察组患者从机械通气当天就开始采用经皮膈神经电刺激进行干预,最终机械通气时间较对照组显著缩短,表明经皮膈神经电刺激锻炼了患者膈肌的收缩力量和功能,减少了膈肌衰弱的发生,因此缩短了机械通气时间和 ICU 住院时间,与罗杰英等^[15]的研究结果一致。

本研究也存在一定的局限性:首先,诊断 VIDD 采用的是超声,而不是作为“金标准”的跨膈压,因此其结果可能存在偏倚;其次,因人力、财力等因素影响,呼吸功能评定指标仅为动脉血气指标;最后,本研究为单中心研究,其结果有待大样本、多中心研究进一步探讨。

综上所述,经皮膈神经电刺激可有效提升 ICU 接受有创机械通气患者的 DTF,优化患者的呼吸功能,减少呼吸不全性疾病的发生,并且能够缩短患者机械通气时间及 ICU 住院时间,未来需开展多中心大样本研究进一步证实。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Liu L, Gao ZW, Yang Y, et al. Economic variations in patterns of care and outcomes of patients receiving invasive mechanical ventilation in China: a national cross-sectional survey [J]. *J Thorac Dis*, 2019, 11 (7): 2878–2889. DOI: 10.21037/jtd.2019.07.51.
- [2] 何远超,刘玲.呼吸机相关膈肌功能障碍的主要发病机制[J]. *中华医学杂志*, 2019, 99 (46): 3671–3674. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2019.46.017.
- [3] Peñuelas O, Keough E, López-Rodríguez L, et al. Ventilator-induced diaphragm dysfunction: translational mechanisms lead to therapeutic alternatives in the critically ill [J]. *Intensive Care Med* Exp, 2019, 7 (Suppl 1): 48. DOI: 10.1186/s40635-019-0259-9.
- [4] 王晓红. 体外膈肌起搏对呼吸机相关膈肌功能障碍的有效性研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2018.
- [5] 王进菊,张芳权,王锦,等.机械辅助排痰联合早期 4 级康复锻炼对 ICU 获得性衰弱的影响[J]. *中华现代护理杂志*, 2022, 28 (20): 2680–2684. DOI: 10.3760/cma.j.cn115682-20210923-04339.
- [6] 安广浩,陈森,詹文锋,等.电刺激膈神经逆转机械通气诱导膈肌功能不全影响的研究[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2018, 41 (2): 111–115. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2018.02.008.
- [7] 吴华炼,王小鹏,陈森,等.早期离床活动对重症监护病房机械通气患者膈肌功能的影响[J]. *中华危重病急救医学*, 2023, 35 (8): 870–874. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20230525-00395.
- [8] 吴月红,梁红霞,席芳,等.体外膈肌起搏预防无创机械通气患者膈肌功能障碍的效果研究[J]. *中华护理杂志*, 2022, 57 (9): 1029–1034. DOI: 10.3761/j.issn.0254-1769.2022.09.001.
- [9] 熊刚. 早期体外膈肌起搏对膈肌功能障碍机械通气患者膈肌增厚分数和撤机的影响[D]. 南昌: 南昌大学医学部, 2021.
- [10] 陈进敏,陆远强. 危重症患者膈肌功能障碍的超声评估研究[J/CD]. *中华危重症医学杂志(电子版)*, 2020, 13 (6): 466–470. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-6880.2020.06.013.
- [11] 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/ajrccm.201703-0536OC.
- [12] Dres M, Goligher EC, Heunks LMA, et al. Critical illness-associated diaphragm weakness [J]. *Intensive Care Med*, 2017, 43 (10): 1441–1452. DOI: 10.1007/s00134-017-4928-4.
- [13] 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.
- [14] Zhang GY, Lu D, Duan SF, et al. Hydrogen sulfide alleviates lipopolysaccharide-induced diaphragm dysfunction in rats by reducing apoptosis and inflammation through ROS/MAPK and TLR4/NF- κ B signaling pathways [J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2018, 2018: 9647809. DOI: 10.1155/2018/9647809.
- [15] 罗杰英,韩小彤,毛淑贞,等.早期体外膈肌起搏对机械通气患者的影响研究[J]. *中华急诊医学杂志*, 2022, 31 (6): 798–803. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2022.06.018.
- [16] 张震宇,柳宇鑫,刘盼,等.体外膈肌电刺激早期干预机械通气儿童膈肌功能的随机对照试验[J]. *中国小儿急救医学*, 2022, 29 (11): 868–874. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2022.11.004.
- [17] 廖明喻,韩铭欣,武免免,等.呼吸机相关性膈肌功能障碍病理生理机制及其治疗研究进展[J]. *山东医药*, 2018, 58 (29): 101–104. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2018.29.031.
- [18] 唐文庆,张瑞妮,殷稚飞. 体外膈肌起搏在膈肌功能障碍中的应用[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2018, 40 (11): 871–874. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.11.016.
- [19] Gonzalez-Bermejo J, Morélot-Panzini C, Georges M, et al. Can diaphragm pacing improve gas exchange? Insights from quadriplegic patients [J]. *Eur Respir J*, 2014, 43 (1): 303–306. DOI: 10.1183/09031936.00127713.
- [20] Wakeam E, Byrne JP, Darling GE, et al. Surgical treatment for early small cell lung cancer: variability in practice and impact on survival [J]. *Ann Thorac Surg*, 2017, 104 (6): 1872–1880. DOI: 10.1016/j.athoracsurg.2017.07.009.
- [21] 曾媚利. 体外膈肌起搏的临床应用及研究进展[J]. *临床与病理杂志*, 2017, 37 (9): 1978–1984. DOI: 10.3978/j.issn.2095-6959.2017.09.036.
- [22] 王浩,柳宇,闫安. 膈肌电刺激训练在肺癌术后患者肺康复中的应用[J]. *护理管理杂志*, 2019, 19 (1): 69–72. DOI: 10.3969/j.issn.1671-315x.2019.01.016.

(收稿日期: 2024-01-11)
(责任编辑: 孙茜 李银平)