

体外膈肌起搏联合肺康复对慢阻肺急性加重期患者膈肌和外周骨骼肌功能的影响

祖丽皮努尔·阿卜杜萨迪克, 王宝兰

【摘要】 目的:观察体外膈肌起搏(EDP)联合肺康复对慢性阻塞性肺疾病急性加重期(AECOPD)机械通气患者骨骼肌功能的影响,以及膈肌功能变化与外周骨骼肌功能、活动能力的相关关系。**方法:**选取70例行有创机械通气治疗的AECOPD患者,按随机数字表法分为观察组和对照组各35例,2组均给予常规临床干预,对照组给予常规肺康复治疗,观察组在常规肺康复治疗基础上给予EDP治疗,2组患者治疗时间为2周。比较2组患者治疗前后的膈肌活动度(DE)、膈肌增厚分数(DTF)、肱二头肌厚度(BRT)、股四头肌厚度(QMT)、医学研究理事会量表(MRC-score)、莫顿活动指数(DEMMI)、机械通气(MV)和ICU入住时间。**结果:**治疗2周后,与本组治疗前比较,2组患者DE、DTF、BRT、QMT、MRC、DEMMI均提高($P<0.05$)。与对照组比较,观察组患者治疗后DE、DTF、BRT、QMT、MRC、DEMMI均升高($P<0.05$),MV和ICU入住天数均降低($P<0.05$)。DE、DTF的提高与BRT、QMT、DEMMI的提高成正相关($P<0.01$)。**结论:**体外膈肌起搏联合肺康复能够通过改善AECOPD机械通气患者的膈肌功能和外周骨骼肌功能,间接改善患者呼吸功能和活动能力,缩短机械通气和ICU入住时间,且膈肌运动和收缩力的提高可明显改善肱二头肌和股四头肌厚度和DEMMI。

【关键词】 体外膈肌起搏;慢性阻塞性肺疾病急性加重期;膈肌;外周骨骼肌

【中图分类号】 R49;R563.9 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2023.05.008

The effect of external diaphragm pacer combined with pulmonary rehabilitation on the function of diaphragm and peripheral skeletal muscle in patients with acute exacerbation of COPD Zulipinuer Abudusadike, Wang Baolan. Department of Rehabilitation Medicine, the First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830054, China

【Abstract】 Objective: To observe the effect of external diaphragm pacer (EDP) combined with pulmonary rehabilitation on the diaphragm and peripheral skeletal muscle function in acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease (AECOPD) patients undergoing mechanical ventilation (MV), and the correlation between changes in diaphragm function and peripheral skeletal muscle function and mobility. **Methods:** A total of 70 patients with AECOPD who needed invasive MV were selected, and randomly divided into the control group and the experimental group ($n=35$ each) by a random number table. Both groups were given routine clinical intervention. The experimental group was given EDP therapy on the basis of conventional pulmonary rehabilitation therapy, and the control group was given conventional pulmonary rehabilitation therapy. The differences in indexes before and after the treatment were compared between two groups, including diaphragm excursion (DE), diaphragm thickening fraction (DTF), Biceps brachii thickness (BRT), quadriceps muscle thickness (QMT), medical research council score (MRC), de Morton mobility index (DEMMI), duration of MV and ICU stay. **Results:** After 2 weeks of the treatment, as compared with those before the treatment, DE, DTF, BRT, QMT, MRC and DEMMI in two groups were increased, with statistical significance ($P<0.05$). As compared with the control group, DE, DTF, BRT, QMT, MRC and DEMMI in the experimental group were increased after the treatment with the differences being statistically significant ($P<0.05$). The duration of MV and ICU stay were shorter in the experimental group than those in the control group with the differences being statistically significant ($P<0.05$). The improvement of DE and DTF was positively correlated with the improvement of BRT, QMT and DEMMI ($P<0.01$). **Conclusion:** EDP combined with pulmonary rehabilitation can improve diaphragm function and peripheral skeletal muscle function of AECOPD patients

undergoing MV, indirectly improve respiratory function and mobility, and shorten days of MV and ICU stay. The increases of movement and contraction of diaphragm significantly improved thickness of biceps brachii and quadriceps muscle and de Morton mobility index.

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金(2020D01C262)

收稿日期:2022-12-27

作者单位:新疆医科大学第一附属医院康复医学科,乌鲁木齐 830054

作者简介:祖丽皮努尔·阿卜杜萨迪克(1990-),女,技师,主要从事心肺与重症康复方面的研究。

通讯作者:王宝兰,13325639766@163.com

【Key words】 external diaphragm pacer; acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease; diaphragm function; peripheral skeletal muscle function

慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD) 是以气流受限不完全可逆、伴有全身多系统损害、进行性加重的慢性炎症反应性疾病, 具有高发病率、高致残率和高死亡率等特点^[1]。呼吸肌和外周骨骼肌功能障碍独立于气流受限程度, 是导致 COPD 功能障碍的主要因素。COPD 急性加重期 (acute exacerbations of COPD, AECOPD) 的患者接受机械通气后易伴发重症医学科获得性衰弱 (intensive care unit-acquired weakness, ICU-AW) 和呼吸机相关膈肌功能障碍 (ventilator-induced diaphragmatic dysfunction, VIDD), 导致骨骼肌功能障碍进一步加重^[2]。研究报道 COPD 患者的肺康复可能不是直接改善肺功能^[3], 而是通过改善呼吸肌和外周骨骼肌, 以改善呼吸及运动功能。Hill 等^[4]发现, COPD 患者呼吸肌功能障碍加重外周骨骼肌功能降低, 提示: 改善 COPD 患者呼吸肌功能, 可能间接增强其外周骨骼肌功能。膈肌是最重要的吸气肌, 占呼吸肌功能的 70%~80%。体外膈肌起搏器 (external diaphragm pacer, EDP) 通过低频脉冲电刺激膈神经, 改善膈肌功能^[5]。目前, EDP 多用于稳定期 COPD, 且针对膈肌功能康复而应用于 AECOPD 机械通气患者的外周骨骼肌功能改善的研究鲜见。本研究应用超声精准评估骨骼肌功能, 采用 EDP 联合肺康复治疗, 对 AECOPD 机械通气患者进行干预, 分析其与常规肺康复疗效的差异, 以及膈肌功能变化与外周骨骼肌功能、活动能力变化的相关性, 为 AECOPD 机械通气患者康复提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2021 年 6 月~2022 年 6 月我院收治的 AECOPD 有创机械通气患者 70 例为研究对象。纳入标准: 符合《2017ERS/ATS 慢性阻塞性肺疾病急性加重管理指南》中 AECOPD 诊断标准^[6]; 符合临床有创机械通气指证; 年龄 18~80 岁; 预期住院时间>2 周; 血流动力学稳定; 呼吸中枢驱动正常; 认知知觉水平为清醒; EDP 电极贴置区域皮肤正常。排除标准: 恶性肿瘤患者; 严重的心、肝、肾功能不全者; 血液系统恶性疾病患者; 有 EDP 禁忌证(气胸的患者);

胸膜粘连增厚、活动性肺结核、体内装有心脏起搏器) 体表电极过敏者; 膈肌结构受损、麻痹或解剖学功能异常者; 缺少能够看到膈肌厚度变化的视窗者; 脑卒中、神经肌肉疾病等非呼吸系统疾病引起的运动受限者; 孕妇及哺乳期妇女。本研究符合医学伦理学要求, 经我院伦理委员会批准(伦理编号: K202108-05), 患者签署知情同意书。采用随机数字表将患者分为观察组和对照组各 35 例。2 组患者基线资料比较差异无统计学意义。见表 1。

1.2 方法

1.2.1 对照组 对照组给予健康教育、气道管理、抗感染、营养支持和镇静等常规临床干预和常规肺康复评估与治疗。评估包括标准化 5 问题问卷 (standardized five questions, S5Q)、心血管及呼吸功能评估、活动和运动功能评估。治疗包括体位管理、气道廓清技术、呼吸训练、运动训练、物理因子治疗。

1.2.2 观察组 观察组在对照组的基础上进行 EDP 治疗: 患者取床头 60° 倾斜的仰卧位, 将 HLO-GJ13A 型 EDP 的主电极片贴于胸锁乳突肌外下 1/3 位置, 辅助电极片贴于双侧锁骨中线与第二肋间交叉点。治疗参数: 脉冲频率为 40Hz, 刺激强度为患者可承受的最大强度, 刺激次数为 9 次/min (系统默认) 或 (患者呼吸频率/2) 次/min, 脉冲宽度 200us, 脉冲幅度≤30V。20min/次, 2 次/d, 6d/周, 疗程为 2 周。

1.3 评定标准 在治疗前、治疗 2 周后, 采用双盲法, 由从事心肺物理治疗 5 年以上的治疗师对 2 组患者进行下列评定。

1.3.1 膈肌功能测定^[8] 采用 MindaryM5 便携式彩色多普勒超声系统进行测定: ① 膈肌活动度 (diaphragm excursion, DE) 测定: DE 为膈肌吸气末和呼气末间的位移。患者取床头 30° 倾斜的仰卧位, 将频率为 2~5Hz 凸阵探头置于右侧锁骨中线及腋前线与肋弓下缘交界处, 探头指向膈肌后半部分, 膈肌呈一条厚线样高回声带。用 M 超记录 3 个呼吸周期膈肌的纵向运动波形。M 超取样线指向膈肌顶部并与长轴夹角小于 30°, 嘱患者呼气至残气容积位, 用力吸气至肺总容量, 测膈肌运动范围, 待其运动平稳, 取与膈肌

表 1 2 组患者一般资料比较

组别	n	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	吸烟史 (例)	BMI 指数 ($\bar{x} \pm s$)	病程 (年, $\bar{x} \pm s$)	动脉氧合指数 (mmHg, $\bar{x} \pm s$)	APACHE II 评分 (分, $\bar{x} \pm s$)
		男	女						
观察组	35	19	16	69.46±7.58	17	21.92±2.97	13.41±1.77	123.78±6.08	15.44±3.26
对照组	35	18	17	68.23±8.06	15	21.75±3.02	12.87±1.91	121.05±9.72	15.23±3.41

垂直的最大样线为DE。②膈肌增厚分数(diaphragm thickening fraction,DTF)测定:将频率为7~13 Hz的线阵探头置于右侧腋前线第7或8肋间,M超扫描膈肌的运动,分别量取呼气末膈肌厚度(diaphragm thickness at end-expiration,DTe)、吸气末膈肌厚度(diaphragm thickness at end-inspiration,DTei),测3个呼吸周期,求平均值。通过公式算取DTF,DTF=(DTei-DTe)/DTe×100%。

1.3.2 外周骨骼肌功能评定 ①股四头肌厚度(quadriceps muscle thickness,QMT)测量^[9]:患者取平卧位,双下肢伸直。采用7~13Hz线阵探头,取髌骨上缘到髌前上棘连线中下1/3处为探测点,测量股骨到股直肌上缘之间的距离,测3次,取平均值为QMT。②肱二头肌厚度(biceps brachii thickness,BRT)测量^[10]:患者取平卧位,肘伸直并前臂外旋。采用12L-A高频探头,自肘正中线至肩峰中下1/3处为探测点,测量肱骨到肱二头肌上缘之间的距离,测3次,取平均值为BRT。③医学研究委员会评分(medical research council score,MRC-score)^[10]:分别对双侧三角肌、肱二头肌、腕长伸肌、髂腰肌、股四头肌、胫前肌进行6级徒手肌力评定,每级评分0~5分,将所有肌群的分数相加得MRCsum值,最高分为60分,最低分为0分,分值越高,说明肌力越高,MR Csum<48分,则诊断为ICU-AW。

1.3.3 活动能力评定 采用莫顿活动指数(the DE Morton mobility index,DEMMI)评估患者活动功能,DEMMI包括5大项内容:①床上活动:臀桥、翻身、卧位到坐起。②坐椅:独立坐在椅上、上肢支撑下和非上肢支撑下坐到站起。③静态平衡(无辅具下):无支持站立、双脚并拢站立、踮脚站立、闭眼双脚并拢站立。④行走:行走距离(可借助辅具)、行走独立性。⑤动态平衡:从地上捡起铅笔、向后走4步,跳跃。共100分,分值越高,说明活动功能越好^[11]。

1.3.4 机械通气(mechanical ventilation,MV)和ICU入住时间^[12] 入组2周时记录MV和ICU入住时间。

1.4 统计学方法 采用SPSS 19.0统计学软件分析数据,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。计量资料组间比较采用

独立样本 t 检验,计量资料组内比较采用配对样本 t 检验;计数资料以例数(率)表示,组间比较采用 χ^2 检验。用线性回归分析DE和DTF分别与BRT、QMT、DEMMI变化的相关性,所有统计资料采用双侧检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 2组患者治疗前后DE、DTF、QMT、BRT、MRC、DEMMI、MV和ICU入住时间比较 治疗2周后2组DE、DTF、QMT、BRT、MRC、DEMMI均较治疗前提高($P<0.05$)。与对照组比较,观察组治疗后DE、DTF、QMT、BRT、MRC、DEMMI显著提高($P<0.05$)。与对照组比较,观察组MV和ICU入住时间缩短($P<0.05$)。见表2。

2.2 DE和DTF提高程度分别与BRT提高程度的回归分析 回归模型拟合度调整 $R^2=0.698$,即BRT增加69.8%是由DE和DTF的增加引起的($F=80.71, P<0.01$),说明两者变化程度均显著影响BRT的变化程度。建立回归方程1: $Y=0.04X-0.003$,即DE每增加1cm,BRT增加0.04cm;建立回归方程2: $Y=0.005X-0.003$,即DTF每增加1%,BRT增加0.005cm,见表3。

2.3 DE和DTF提高程度分别与QMT提高程度的回归分析 回归模型拟合度调整 $R^2=0.796$,即QMT增加79.6%是由DE和DTF的增加引起的($F=135.59, P<0.01$)。说明两者变化程度均显著影响QMT的变化程度。建立回归方程1: $Y=0.262X-0.091$,即DE每增加1cm,QMT增加0.262cm;建立回归方程2: $Y=0.013X-0.091$,即DTF每增加1%,QMT增加0.013cm,见表4。

2.4 DE和DTF提高程度分别与DEMMI提高程度的回归分析 回归模型拟合度调整 $R^2=0.327$,即DEMMI增加32.7%是由DE和DTF的增加引起的($F=17.73, P<0.01$)。DE的变化程度显著影响DEMMI的变化程度($P=0.031$),影响系数为2.453>0,即DE提高程度正向影响DEMMI提高程度。建立回归方程: $Y=2.453X+1.794$,即DE每增加1cm,DEMMI分数增加2.453,见表5。

表2 2组患者治疗前后各指标比较

组别	时间	DE(cm)	DTF(%)	QMT(cm)	BRT(cm)	MRC(分)	DEMMI(分)	MV时间(d)	ICU入住时间(d)
观察组	治疗前	1.79±0.54	23.21±2.64	1.98±0.49	0.37±0.08	36.97±3.09	9.41±6.45	11.03±4.11 ^b	13.71±4.91 ^b
(n=35)	治疗后	3.37±0.62 ^{ab}	37.03±3.77 ^{ab}	2.51±0.53 ^{ab}	0.49±0.08 ^{ab}	49.94±2.78 ^{ab}	18.20±4.04 ^{ab}		
对照组	治疗前	1.80±0.56	23.17±2.57	1.97±0.51	0.37±0.09	36.89±3.34	9.54±6.63	14.55±3.92	16.82±3.52
(n=35)	治疗后	2.31±0.49 ^a	28.18±2.33 ^a	2.07±0.52 ^a	0.41±0.10 ^a	43.14±3.15 ^a	14.03±5.67 ^a		

与治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组比较,^b $P<0.01$

表3 DE和DTF提高程度与BRT提高程度回归分析

项目	未标准化系数		标准化系数	t	显著性	VIF
	B	标准误差	Beta			
常量	-0.003	0.008	—	-0.405	0.687	
DE(后-前)	0.04	0.009	0.453	4.374	0.000	2.449
DTF(后-前)	0.005	0.001	0.441	4.259	0.000	2.449

表4 DE和DTF提高程度与QMT提高程度回归分析

项目	未标准化系数		标准化系数	t	显著性	VIF
	B	标准误差	Beta			
常量	-0.091	0.028	—	-3.240	0.002	
DE(后-前)	0.262	0.034	0.658	7.739	0.000	2.449
DTF(后-前)	0.013	0.004	0.284	3.337	0.001	2.449

表5 DE和DTF提高程度与DEMMI提高程度回归分析

项目	未标准化系数		标准化系数	t	显著性	VIF
	B	标准误差	Beta			
常量	1.794	0.924	—	1.942	0.056	
DE(后-前)	2.453	1.111	0.341	2.207	0.031	2.449
DTF(后-前)	0.243	0.132	0.284	1.837	0.071	2.449

3 讨论

AECOPD患者的膈肌形态、运动等发生显著变化,影响肺通气功能^[13],MV导致的VIDD进一步加重膈肌功能障碍。超声评估膈肌功能的准确性与颤搐性跨膈压相关性良好,约为86%,且较颤搐性跨膈压操作简便^[14]。床边超声与标准超声膈肌功能评估效能相似^[15]。DE和DTF为超声评估膈肌运动和收缩功能的有效指标,且DTF能识别早期VIDD。EDP可有效改善膈肌厚度、收缩力和耐力,适用于AECOPD机械通气患者^[5,16]。本研究中观察组治疗后DE和DTF显著高于本组治疗前和对照组治疗后,与相关研究结果一致^[17]。Reynolds等^[18]研究揭示了EDP提高膈肌运动和收缩力可能的生理机制:电刺激膈神经可增加膈肌血供、促进膈肌蛋白质合成,通过同时增加膈肌I、II型纤维含量,逆转膈肌I、II型纤维之间的转换。本研究中观察组在治疗后DTF的显著提高进一步证实EDP能有效改善VIDD。Jung等^[19]探讨EDP对MV患者膈肌功能改善的机制:EDP使膈肌节律性收缩,增加DE,以模拟生理性呼吸运动,从而改善呼吸功能。EDP使患者保持清醒,增加其自主呼吸意识,提高主动训练依从性,以提升肺康复效果,这可能是DE和DTF改善的另一原因。

本研究中观察组的MV和ICU入住时间明显短于对照组,与相关研究结果相似^[20]。研究表明:DE在平静呼吸时1.0~1.4cm、DTF在30%~36%时对预测脱机成功率有较好的指导作用^[21]。本研究观察组脱机时DTF在(33.12±2.16)%,DE在(3.11±0.71)cm,提示膈肌功能的改善有利于减少MV时间。EDP治疗时,在流速和潮气量稳定不变的情况下,压力-时间曲线明显下移,气道压力和峰压明显下降,提示EDP

可能通过改善患者的肺顺应性,改善肺通气。这种变化是否与EDP治疗参数相关,需进一步研究。

本研究中观察组治疗后QMT、BRT和MRC显著高于本组治疗前和对照组治疗后,且DE和DTF可正向影响QMT和BRT,提示EDP通过改善膈肌运动和收缩力以促进QMT、BRT的提高。陈炼等^[22]报道,呼吸机电刺激对中-重度稳定期COPD患者股四头肌和肱二头肌肌力无显著影响,与本研究结果存在明显差异,主要原因:①等速肌力测试未能敏感反映肌力改善;②干预方式为门诊呼吸机电刺激+呼吸训练,未涉及运动训练;③治疗周期虽然12周,但2d/周、1次/d、20min/次、电刺激频率30Hz,总治疗剂量偏小。研究显示稳定期中-重度COPD患者因下肢运动受限较明显,QMT显著下降,但BRT变化不显著,提示QMT和BRT可用于评估AECOPD机械通气患者外周骨骼肌功能^[23]。肺过度充气间接影响COPD患者外周骨骼肌功能,故增强呼吸肌功能、减轻患者肺过度充气,可改善外周骨骼肌功能^[24]。本研究结果支持此假设,EDP可能通过改善肺过度充气间接改善QMT、BRT和MRC。在EDP特定的刺激模式(9次/min)下进行呼吸训练,呼吸频率保持在8~10次/分、控制吸呼比1:2~1:3,延长呼气时间至4~6s,可能是肺过度充气减轻的重要因素。EDP通过提高DTF,提高膈肌肌力,改善肺通气功能;通过提高DE,减少肺气体滞留,以改善肺过度充气,增加全身骨骼肌氧和血流供应。但COPD骨骼肌氧和血流供应与肌肉厚度、力量的相关性研究鲜见,需更多研究探讨。

本研究中观察组治疗后DEMMI明显高于本组治疗前和对照组治疗后,且DE和DTF可正向影响DEMMI,与相关研究结果一致^[25]。有研究报道,DEMMI比巴氏指数(Barthel Index, BI)更能准确评估急性或亚急性老年患者(年龄>65岁)活动能力,提示DEMMI适用于老年AECOPD机械通气患者^[26]。首先,EDP能降低呼吸频率,加强节律性深慢呼吸,以调整活动中的呼吸模式,减少辅助呼吸肌使用,从而减少氧耗。其次EDP通过降低交感神经兴奋性,改善呼吸肌血流“窃流”现象,增加外周骨骼肌血供,改善ICU-AW,以减轻活动引发的呼吸困难和疲劳感^[27]。膈肌功能改善有利于提高机体有氧代谢能力,进而改善患者活动能力。

本研究的局限性:①DE及DTF易受机器分辨率、MV模式等影响,需寻找更有效的指标;②EDP强度取决于患者主观感觉,需寻求更客观的方法;③疗程较短,EDP对骨骼肌的长期疗效需进一步研究;④样本量需进一步扩增。

综上,定量超声能客观评价骨骼肌功能,EDP不失为 AECOPD 机械通气患者主被动训练相结合的有效方式,改善患者骨骼肌功能和活动能力,缩短 MV 和 ICU 入住时间,具有临床推广价值。

【参考文献】

- [1] GBD 2017 Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national age-sex-specific mortality for 282 causes of death in 195 countries and territories, 1980-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 [J]. *Lancet*, 2018, 392 (10159):1736-1788.
- [2] Gea J, Agustí A, Roca J. Pathophysiology of muscle dysfunction in COPD[J]. *J Appl Physiol* (1985), 2013, 114(9):1222-1234.
- [3] Vogelmeier CF, Criner GJ, Martinez FJ, et al. Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Lung Disease 2017 Report. GOLD Executive Summary [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2017, 195(5):557-582.
- [4] Hill K, Cavalheri V, Mathur S, et al. Neuromuscular electrostimulation for adults with chronic obstructive pulmonary disease [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2018, 5(5):CD010821.
- [5] Shen J, Nie X, Huang SY, et al. Neuromuscular electrical stimulation improves muscle atrophy induced by chronic hypoxia-hypercapnia through the Micro RNA-486/PTEN/FoxO1 pathway[J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2019, 509(4):1021-1027.
- [6] 张弘,蔡柏蔷. 2017 ERS/ATS 慢性阻塞性肺疾病急性加重管理指南解读[J]. *国际呼吸杂志*, 2017, 37(9):641-646.
- [7] Eggmann S, Verra ML, Luder G, et al. Effects of early, combined endurance and resistance training in mechanically ventilated, critically ill patients: a study protocol for a randomised controlled trial[J]. *Trials*, 2016, 17(8):403-403.
- [8] 董雪,高巨. 超声评估膈肌功能在预测机械通气脱机中的应用进展[J]. *临床麻醉学杂志*, 2019, 35(12):1228-1230.
- [9] 支海君,李勇,贾春梅,等. 床旁超声测量肢体骨骼肌厚度对机械通气患者 ICU 获得性衰弱的预测价值[J]. *中国急救医学*, 2020, 40(7):633-636.
- [10] Patsaki I, Gerovasili V, Sidiras G, et al. Effect of neuromuscular stimulation and individualized rehabilitation on muscle strength in Intensive Care Unit survivors: A randomized trial [J]. *J Crit Care*, 2017, 40(8):76-82.
- [11] Sommers J, Vredeveld T, Lindeboom R, et al. de Morton Mobility Index Is Feasible, Reliable, and Valid in Patients With Critical Illness[J]. *Phys Ther*, 2016, 96(10):1658-1666.
- [12] Dube BP, Dres M, Mayaux J, et al. Ultrasound evaluation of diaphragm function in mechanically ventilated patients: Comparison to phrenic stimulation and prognostic implications[J]. *Thorax*, 2017, 72(9): 811-818.
- [13] Laghi F, Saad M, Shaikh H. Ultrasound and Non-ultrasound Imaging Techniques in the Assessment of Diaphragmatic Dysfunction [J]. *BMC Pulm Med*, 2021, 21(1):85-85.
- [14] Gursel G, Inci K, Alasgarova Z. Can diaphragm dysfunction be reliably evaluated with pocket-sized ultrasound devices in intensive care unit [J]. *Crit Care Res Pract*, 2018, 4:5192647.
- [15] Lerolle N, Guérot E, Dimassi S, et al. Ultrasonographic diagnostic criterion for severe diaphragmatic dysfunction after cardiac surgery [J]. *Chest*, 2009, 135(2):401-407.
- [16] Blackstock FC, Lareau SC, Nici L, et al. American Thoracic Society, Thoracic Society of Australia and New Zealand, Canadian Thoracic Society, and British Thoracic Society. Chronic Obstructive Pulmonary Disease Education in Pulmonary Rehabilitation. An Official American Thoracic Society/Thoracic Society of Australia and New Zealand/Canadian Thoracic Society/British Thoracic Society Workshop Report[J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2018, 15 (7):769-784.
- [17] 景阅雯,李建华,李婷. 超声监测下呼吸肌训练对 AECOPD 机械通气患者膈肌功能与撤机的影响[J]. *护理实践与研究*, 2020, 17 (1):1-3.
- [18] Reynolds SC, Meyyappan R, Thakkar V, et al. Mitigation of ventilator-induced diaphragm atrophy by transvenous phrenic nerve stimulation[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2017, 195(3): 339-348.
- [19] Jung B, Moury PH, Mahul M, et al. Diaphragmatic dysfunction in patients with ICU acquired weakness and its impact on extubation failure [J]. *Intensive Care Med*, 2016, 42(5):853-861.
- [20] He C, Ren S, Du Q, et al. Adjuvant Therapy: Yi qi Ditan Tong fu 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.
- [21] Valverde Montoro D, García Soler P, Hernández Yuste A. et al. Ultrasound assessment of ventilator-induced diaphragmatic dysfunction in mechanically ventilated pediatric patients[J]. *Paediatr Respir Rev*, 2021, 40(12):58-64.
- [22] 陈炼. 呼吸训练对慢性阻塞性肺疾病患者运动能力影响的探讨 [D]. 广东:南方医科大学, 2017.
- [23] 叶熊. 慢性阻塞性肺疾病患者骨骼肌定量超声研究 [D]. 江苏:苏州大学, 2015.
- [24] Okura K, Iwakura M, Kawagoshi A. et al. Objective physical activity level is associated with rectus femoris muscle echo-intensity in patients with chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Clin Respir J*, 2022, 16(8):572-580.
- [25] 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.
- [26] Morton N, Brusco NK, Wood L, et al. The De Morton Mobility Index (DEMMI) provides a valid method for measuring and monitoring the mobility of patients making the transition from hospital to the community: an observational study [J]. *J Physiother*, 2018, 64(2):109-116.
- [27] Mendes LP, Moraes KS, Hoffman M, et al. Effects of Diaphragmatic Breathing with and without Pursed-Lips Breathing in Subjects with COPD[J]. *Respir Care*, 2019, 64(2):136-144.