

基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略对 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭机械通气患者临床结局的影响

冯丽伟¹ 陈兵¹ 赵岳² 王斌¹ 李真玉¹ 魏立娜¹ 张清照¹ 秦海楠¹ 王培荣¹

¹天津医科大学第二医院重症医学科,天津 300211; ²天津医科大学护理学院,天津 300070

通信作者:陈兵, Email: Tisheng2008@163.com

【摘要】 **目的** 探讨基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略对慢性阻塞性肺疾病急性加重(AECOPD)合并 II 型呼吸衰竭的机械通气患者营养状况、膈肌功能、肌力及住院时间的干预效果。**方法** 采用随机对照研究方法,选取 2024 年 1 月至 12 月在天津医科大学第二医院重症医学科接受机械通气的 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭患者作为研究对象。采用随机数字表法将患者分为试验组和对照组。对照组给予重症医学科常规治疗和护理;试验组在常规治疗和护理的基础上实施基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略,包括四肢功能锻炼和呼吸功能锻炼,根据患者的生命体征、病情、耐受程度以及每日的膈肌功能改善情况,随时调整功能锻炼的时间与强度。比较两组患者干预前和干预第 7 天的营养指标[白蛋白、总蛋白、血红蛋白、体质指数(BMI)、营养风险筛查量表 2002(NRS2002)]、膈肌功能指标(膈肌移动度、膈肌厚度)、血气分析指标(pH 值、动脉血氧分压、动脉血二氧化碳分压、碱剩余、乳酸、肺泡动脉氧分压差)、肌力,以及机械通气时间、重症监护病房(ICU)住院时间、总住院时间等。**结果** 最终入组 134 例患者,其中试验组 66 例,对照组 68 例。两组患者性别、年龄、急性生理学与慢性健康状况评分 II、营养指标、血气分析、膈肌移动度、膈肌厚度、肌力等基线资料差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。与干预前比较,两组患者干预第 7 天膈肌功能指标、血气分析指标、肌力均有不同程度改善,但营养指标水平有所下降。干预第 7 天,试验组患者白蛋白、总蛋白、血红蛋白、BMI 等营养指标优于对照组[白蛋白(g/L): 27.49 ± 3.78 比 26.03 ± 3.76 ,总蛋白(g/L): 55.84 ± 6.17 比 53.42 ± 6.22 ,血红蛋白(g/L): 105.10 ± 24.74 比 96.80 ± 21.17 ,BMI(kg/m²): 24.84 ± 2.55 比 24.12 ± 1.13 ,均 $P < 0.05$],膈肌移动度和膈肌厚度改善程度大于对照组[干预前后膈肌移动度差值(cm): 0.182 ± 0.030 比 0.104 ± 0.020 ,干预前后膈肌厚度差值(cm): 0.023 ± 0.004 比 0.014 ± 0.002 ,均 $P < 0.05$],肌力较对照组增强($\chi^2 = 21.860$, $P = 0.001$),而两组血气分析指标差异仍无统计学意义(均 $P > 0.05$)。与对照组比较,试验组患者机械通气时间缩短[h: 137.5(90.8, 202.2)比 162.5(92.5, 263.8)],ICU 住院时间缩短[d: 9.0(5.8, 14.5)比 11.0(7.0, 18.0)],总住院时间缩短[d: 12.0(7.0, 20.0)比 17.0(10.0, 23.5)],脱机成功率高(89%比 76%),差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。**结论** 实施基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略可以有效改善 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭的机械通气患者营养状况和膈肌功能,增强肌力,缩短机械通气时间和住院时间,可以作为患者辅助治疗手段之一。

【关键词】 超声评估;膈肌靶向功能锻炼;慢性阻塞性肺疾病急性加重;呼吸衰竭;机械通气

基金项目:天津医科大学医院管理创新研究项目(2023YG25);天津市临床重点专科建设项目(2025-23)

临床注册:国家全民健康保障信息平台,MR-12-26-019788

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20251023-00523

The impact of ultrasound-based diaphragmatic targeted functional exercise bundle strategy on clinical outcomes of patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease combined with type II respiratory failure receiving mechanical ventilation

Feng Liwei¹, Chen Bing¹, Zhao Yue², Wang Bin¹, Li Zhenyu¹, Wei Lina¹, Zhang Qingzhao¹, Qin Hainan¹, Wang Peirong¹

¹Department of Intensive Care Unit, the Second Hospital of Tianjin Medical University, Tianjin 300211, China;

²Department of Nursing, Tianjin Medical University, Tianjin 300070, China

Corresponding author: Chen Bing, Email: Tisheng2008@163.com

【Abstract】 **Objective** To explore the interventional effects of a targeted diaphragmatic function exercise bundle strategy, guided by ultrasound assessment, on nutritional status, diaphragmatic function, muscle strength, and hospital stay of mechanically ventilated patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease (AECOPD) complicated by type II respiratory failure. **Methods** A randomized controlled study was conducted. Patients with AECOPD complicated by type II respiratory failure who received mechanical ventilation in the Department of Critical Care Medicine, the Second Hospital of Tianjin Medical University from January to December 2024 were enrolled. Using a random number table, patients were divided into an experimental group and a control group. The control

group received routine intensive care unit (ICU) treatment and nursing care. On the basis of routine care, the experimental group received a targeted diaphragmatic function exercise bundle strategy based on ultrasound assessment, including limb function exercises and respiratory function training. The duration and intensity of the exercises were adjusted according to the patient's vital signs, clinical condition, tolerance, and daily improvement in diaphragmatic function. The following indicators were compared between the two groups before the intervention and on the 7th day of intervention: nutritional indicators [albumin, total protein, hemoglobin, body mass index (BMI), Nutritional Risk Screening 2002 (NRS2002) score]; diaphragmatic function (diaphragmatic excursion, diaphragmatic thickness); blood gas analysis indicators (pH value, arterial partial pressure of oxygen, arterial partial pressure of carbon dioxide, base excess, lactate, alveolar-arterial oxygen gradient); and muscle strength. The duration of mechanical ventilation, length of ICU stay, and total hospital stay were also compared between the two groups.

Results A total of 134 patients were finally enrolled, including 66 in the experimental group and 68 in the control group. There were no statistically significant differences in baseline data including gender, age, Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II, nutritional indicators, blood gas analysis parameters, diaphragmatic excursion, diaphragmatic thickness, and muscle strength between the two groups (all $P>0.05$). Compared with before intervention, both groups showed varying degrees of improvement in diaphragmatic function indicators, blood gas analysis indicators, and muscle strength on the 7th day of intervention, but nutritional indicators decreased. On the 7th day of intervention, the experimental group had better nutritional indicators (albumin, total protein, hemoglobin, and BMI) than the control group [albumin (g/L): 27.49 ± 3.78 vs. 26.03 ± 3.76 , total protein (g/L): 55.84 ± 6.17 vs. 53.42 ± 6.22 , hemoglobin (g/L): 105.10 ± 24.74 vs. 96.80 ± 21.17 , BMI (kg/m^2): 24.84 ± 2.55 vs. 24.12 ± 1.13 , all $P<0.05$]. The improvements in diaphragmatic excursion and diaphragmatic thickness were greater in the experimental group than in the control group [difference in diaphragmatic excursion before and after intervention (cm): 0.182 ± 0.030 vs. 0.104 ± 0.020 ; difference in diaphragmatic thickness before intervention and after intervention (cm): 0.023 ± 0.004 vs. 0.014 ± 0.002 , both $P<0.05$], and muscle strength was enhanced in the experimental group compared with the control group ($\chi^2=21.860$, $P=0.001$), whereas there were still no statistically significant differences in blood gas analysis indicators between the two groups (all $P>0.05$). Compared with the control group, the experimental group had a significantly shorter duration of mechanical ventilation [hours: 137.5 (90.8, 202.2) vs. 162.5 (92.5, 263.8)], shorter length of ICU stay [days: 9.0 (5.8, 14.5) vs. 11.0 (7.0, 18.0)], shorter total hospital stay [days: 12.0 (7.0, 20.0) vs. 17.0 (10.0, 23.5)], and a higher weaning success rate (89% vs. 76%), with all differences being statistically significant (all $P<0.05$).

Conclusions Implementation of the targeted diaphragmatic function exercise bundle strategy based on ultrasound assessment can effectively improve nutritional status and diaphragmatic function, enhance muscle strength, and shorten the duration of mechanical ventilation and hospital stay in mechanically ventilated patients with AECOPD complicated by type II respiratory failure. It can serve as an effective adjunctive treatment for these patients.

【Key words】 Ultrasound assessment; Targeted diaphragmatic function exercise; Acute exacerbation chronic obstructive pulmonary disease; Respiratory failure; Mechanical ventilation

Fund program: Innovation Research Project of Hospital Management of Tianjin Medical University (2023YG25); Tianjin Key Clinical Specialty Construction Project (2025-23)

Trial Registration: National Health Security Information Platform, MR-12-26-019788
DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20251023-00523

慢性阻塞性肺疾病 (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) 是以气流受限为主要病理特征的慢性呼吸系统疾病, 其流行病学负担在我国呈逐渐加重趋势^[1]。目前, 我国 40 岁以上人群 COPD 发病率高达 10%, 病死率较高, 已成为全国致死率第三位的疾病^[2]。

慢性阻塞性肺疾病急性加重 (acute exacerbation chronic obstructive pulmonary disease, AECOPD) 是重症医学科常见危重症, 其发病率与致残率高, 且其肺功能呈持续恶化的趋势, 有效评估 COPD 患者病情严重程度对于临床及时予以最佳治疗并促使患者获得良好预后具有重要意义^[3]。对于 AECOPD 患者, 机械通气是挽救生命的关键支持手段, 但随之而来的并发症也日益凸显。长期制动和机械通气可导致膈肌功能障碍, 表现为膈肌萎缩、收缩力下降, 这

与撤机困难、住院时间延长及患者预后不良密切相关。与此同时, 重症患者普遍存在的高分解代谢状态及营养摄入不足进一步加剧了骨骼肌 (包括膈肌) 的流失, 形成“膈肌功能障碍—撤机失败—呼吸机依赖—肌力下降”的恶性循环。

目前, 重症监护医生虽已认识到 AECOPD 早期活动的重要性, 但对于膈肌这一核心呼吸肌的靶向性、精准化康复训练仍缺乏系统方案。膈肌位于胸腔深处, 其功能评估长期依赖传统临床表现和血气分析, 缺乏客观、量化的床旁监测指标。近年来, 超声技术的迅猛发展为此提供了绝佳解决方案。肺部超声与膈肌超声能够无创、动态地评估膈肌移动度和厚度, 为精准实施膈肌靶向训练和客观评价其效果提供了可视化依据。

本研究提出基于超声评估的膈肌靶向功能锻

炼集束化策略,即将目标导向的肢体功能锻炼、呼吸肌训练与膈肌超声的动态评估及反馈相结合,构成一套结构化的干预方案,旨在探讨该策略对 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭的机械通气患者营养状况、膈肌功能、肌力及预后的干预效果,以期改善患者的膈肌功能,增强全身肌力,优化临床结局,指导临床应用。

1 对象与方法

1.1 研究对象:采用前瞻性随机对照研究设计,选取 2024 年 1 月至 12 月在天津医科大学第二医院重症医学科接受机械通气的 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭患者作为研究对象。

1.1.1 纳入标准:①符合 AECOPD 和 II 型呼吸衰竭的诊断标准^[4];②年龄 ≥ 18 岁;③接受机械通气治疗。

1.1.2 排除标准:①入科后 24 h 内死亡;②放弃治疗者;③有骨折、外伤等不能完成功能锻炼的患者;④存在功能锻炼禁忌证,如双下肢静脉血栓、严重心功能不全、纽约心脏病协会心功能分级 4 级的患者。

1.2 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,通过医院伦理委员会审批(审批号:KY2024K267),患者或家属均知情同意。

1.3 分组及干预方法:采用随机数字表法将患者分为试验组和对照组。所有患者给予重症医学科常规治疗和护理;试验组在常规治疗基础上尽早给予基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略。

生命体征平稳的患者可在机械通气后 24~48 h 开始功能锻炼。病情复杂的患者,如存在休克未纠正的情况,需待病情稳定后再启动,可能延迟至机械通气后 48~72 h 甚至更晚,具体时间需结合患者实际病情由医疗团队评估决定;对于高龄且肌力极差的患者,首先全面评估患者的心肺功能、意识状态、营养状况、骨骼关节情况等,排除活动禁忌证,功能锻炼需谨慎和个体化。功能锻炼时以被动活动为主,由医护人员协助患者完成。进行功能锻炼的过程中,密切观察患者的生命体征及状态,患者的心率不超过靶心率的上限,血氧饱和度不低于 0.90,血压升高不超过基础血压的 20%。靶心率=(220-年龄) \times (70~85)%。

试验组每日超声评估膈肌功能,根据患者的生命体征、病情、患者的耐受程度以及膈肌功能的改善情况,随时调整功能锻炼的时间与强度。膈肌功能锻炼包括四肢功能锻炼、呼吸功能锻炼。

对患者四肢进行功能锻炼。①上肢功能锻炼:握拳、松拳;肘部屈曲、伸展;肩部前屈运动;肩部分外展运动;上肢抗阻运动,每组 6 次,做 6 组,中间休息 10 s。②下肢功能锻炼:双足部绕踝运动;足部背屈、跖屈;直腿抬高,每组 6 次,做 6 组,中间休息 10 s。

呼吸功能锻炼包括腹式呼吸、胸廓辅助呼吸训练和有效咳嗽。腹式呼吸:患者取舒适体位,半卧位或坐位,颈部及肩部肌群放松,胸廓保持自然中立位,将患者双手置于剑突下腹直肌投影区,经鼻缓慢深吸气,膈肌下沉使腹部膨隆,经口缓慢呼气,腹肌主动收缩辅助膈肌复位,采用缩唇呼吸方法延长呼气时间,重复上述动作 6 次后休息,不要让患者过度换气。缩唇呼吸方法:患者用鼻吸气,用口呼气,强调呼气时噘嘴(O 型嘴),吸气:呼气时间为 1:2,呼吸频率 < 20 次/min,每组 6 次,做 6 组,中间休息 10 s。胸廓辅助呼吸训练包括上胸廓辅助呼吸和下胸廓辅助呼吸。①上胸廓辅助呼吸:中指指尖放在锁骨下,其余四指张开,紧密覆盖在两侧上胸部,随着呼吸浮动,在呼气时,对胸廓沿着呼气运动方向施加较轻的按压;②下胸廓辅助呼吸:两拇指放在胸骨剑突上,其余四指张开,整个手掌紧密覆盖在侧胸部,呼气时往胸廓运动方向(向着骨盆的方向)牵拉。有效咳嗽:深吸气后屏气,再用力咳嗽,将深部的痰液或气体咳出。

随着患者各项功能的改善,可逐渐增加患者功能锻炼的组数(如单项训练增加到 8 组),逐渐延长功能锻炼时长(单次不超过 60 min),逐渐加大抗阻训练的阻力(从徒手开始,逐渐过渡到阻力器械,最大不超过 3 kg)。

1.4 观察指标:自行制定患者资料收集表,对结局评估者实施盲法,即负责收集和测量各项指标(如营养指标、膈肌超声参数、血气分析结果等)的研究人员不清楚患者的分组情况。记录患者性别、年龄、来源、转归、诊断,计算急性生理学与慢性健康状况评分 II (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II, APACHE II)、下肢静脉血栓评分,评估自理能力。分别于干预前、干预第 7 天测定患者营养指标〔血清白蛋白、总蛋白、血红蛋白、体质指数(body mass index, BMI)、营养风险筛查量表 2002 (Nutritional Risk Screening 2002, NRS2002)〕、血气分析指标〔pH 值、动脉血氧分压(arterial partial pressure of oxygen, PaO₂)、动脉血二氧化碳分压

(arterial partial pressure of carbon dioxide, PaCO₂)、碱剩余、乳酸、肺泡动脉氧分压差)、肌力评估。每日行床旁超声检查,测定患者的膈肌移动度、膈肌厚度。记录患者脱机情况、机械通气时间、重症监护病房(intensive care unit, ICU)住院时间、总住院时间。

1.5 膈肌功能指标测量

1.5.1 膈肌移动度的测量:膈肌移动度是在呼吸过程中膈肌产生的位移距离。患者取平卧位,平静呼吸状态时,使用飞利浦超声仪,将低频凸阵探头位于患者右侧锁骨中线位置,在超声下可见患者穹窿高回声状膈肌,随着患者的呼吸运动而上下移动,使用 M 超测得膈肌上下移动的位移距离,即患者的膈肌移动度,测量 3 次,取平均值。

1.5.2 膈肌厚度的测量:患者取平卧位或半卧位,平静呼吸状态时,使用飞利浦超声仪,将高频线性探头位于患者腋中线的位置,对患者膈肌厚度进行测量。在 B 超下可见三层平行排列结构,即胸膜、膈肌、腹膜,测量胸膜和腹膜之间的距离,即为患者的膈肌厚度,测量 3 次,取平均值。

1.6 统计学处理:所有数据应用 SPSS 24.0 软件分析。正态分布的连续变量采用均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较采用独立样本 *t* 检验;不符合正态分布的连续变量以中位数(四分位数)[$M(Q_1, Q_3)$]表示,采用 Mann-Whitney *U* 检验。分类变量以频数或百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验。检验水准 α 值取双侧 0.05。

2 结果

2.1 患者基本情况:初始入组 137 例,中途因患者家属放弃治疗排除 3 例,最后入组 134 例,其中试验组 66 例,对照组 68 例。两组患者在性别、年龄、APACHE II 评分、下肢静脉血栓评分、自理能力评分差异无统计学意义(均 $P > 0.05$; 表 1)。

2.2 两组患者营养指标变化比较:两组患者干预前白蛋白、总蛋白、血红蛋白、BMI、NRS2002 评分差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。两组干预第 7 天各营养指标水平均下降,但试验组干预第 7 天白蛋白、总蛋白、血红蛋白、BMI 及 NRS2002 评分均优于对照组(均 $P < 0.05$),见表 2。

2.3 两组患者膈肌功能变化比较:两组患者干预前膈肌移动度、膈肌厚度比较差异无统计学意义(均 $P > 0.05$)。两组干预第 7 天膈肌移动度、膈肌厚度均有所增加,且试验组干预第 7 天膈肌移动度和膈肌厚度改善程度大于对照组(均 $P < 0.05$),见表 3。

2.4 两组患者血气分析结果变化比较:两组患者干预前 pH 值、PaO₂、PaCO₂、碱剩余、乳酸、肺泡动脉氧分压差对比差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。与干预前对比,两组干预第 7 天碱剩余升高,乳酸和肺泡动脉氧分压差降低,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。但两组干预第 7 天血气分析各项指标差异仍无统计学意义(均 $P > 0.05$),见表 4。

2.5 两组患者肌力变化比较:两组患者干预前肌力差异无统计学意义($P > 0.05$)。干预第 7 天,试验组肌力高于对照组($P < 0.05$),见表 5。

表 1 不同干预策略两组 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭接受机械通气患者基线资料比较

组别	例数 (例)	性别[例(%)]		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	APACHE II (分, $\bar{x} \pm s$)	下肢静脉血栓评分 (分, $\bar{x} \pm s$)	自理能力[例(%)]		
		男性	女性				重度	中度	轻度
对照组	68	43(63)	25(37)	70.84 ± 15.30	29.19 ± 8.71	5.37 ± 2.07	66(97)	2(3)	0(0)
试验组	66	37(56)	29(44)	73.76 ± 10.95	26.77 ± 5.84	5.67 ± 2.04	65(98)	1(2)	0(0)
统计量值		$\chi^2 = 0.717$		$t = 1.267$	$t = -1.881$	$t = 0.840$	$\chi^2 = 2.987$		
<i>P</i> 值		0.397		0.208	0.062	0.403	2.226		

注:对照组为常规治疗组,试验组为实施基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略组;AECOPD 为慢性阻塞性肺疾病急性加重,APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II

表 2 不同干预策略两组 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭接受机械通气患者营养指标变化比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数 (例)	白蛋白(g/L)		总蛋白(g/L)		血红蛋白(g/L)		BMI(kg/m ²)		NRS2002(分)	
		干预前	干预第 7 天	干预前	干预第 7 天	干预前	干预第 7 天	干预前	干预第 7 天	干预前	干预第 7 天
对照组	68	30.42 ± 5.44	26.03 ± 3.76	56.59 ± 9.57	53.42 ± 6.22	106.75 ± 27.79	96.80 ± 21.17	24.22 ± 1.05	24.12 ± 1.13 ^a	4.57 ± 1.08	5.34 ± 1.18
试验组	66	30.32 ± 5.26	27.49 ± 3.78 ^a	57.52 ± 6.17	55.84 ± 6.17 ^a	109.80 ± 27.25	105.10 ± 24.74 ^a	24.85 ± 2.82	24.84 ± 2.55 ^a	4.35 ± 0.88	4.34 ± 0.95
<i>t</i> 值		-0.112	2.053	0.610	2.011	0.639	2.048	1.722	2.117	-1.314	-5.355
<i>P</i> 值		0.911	0.042	0.543	0.047	0.524	0.043	0.087	0.036	0.191	<0.001

注:对照组为常规治疗组,试验组为实施基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略组;AECOPD 为慢性阻塞性肺疾病急性加重, BMI 为体质指数, NRS2002 为营养风险筛查量表 2002; ^a 与本组干预前比较, $P < 0.05$

表 4 不同干预策略两组 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭接受机械通气患者血气分析指标变化比较 [M(Q₁, Q₃)]

组别	例数 (例)	pH 值		PaO ₂ (mmHg)		PaCO ₂ (mmHg)	
		干预前	干预第 7 天	干预前	干预第 7 天	干预前	干预第 7 天
对照组	68	7.40 (7.31, 7.45)	7.44 (7.39, 7.48)	129.5 (85.1, 193.5)	114.5 (83.9, 166.5)	37.85 (33.37, 50.80)	37.05 (32.40, 44.23)
试验组	66	7.37 (7.29, 7.46)	7.42 (7.36, 7.45)	118.0 (83.0, 193.0)	133.0 (80.0, 211.0)	38.50 (32.70, 44.60)	36.55 (32.32, 47.38)
Z 值		-0.287	-1.722	-0.476	-1.053	-0.024	-0.641
P 值		0.774	0.085	0.634	0.293	0.980	0.522

组别	例数 (例)	碱剩余 (mmol/L)		乳酸 (mmol/L)		肺泡动脉氧分压差 (mmHg)	
		干预前	干预第 7 天	干预前	干预第 7 天	干预前	干预第 7 天
对照组	68	-0.75 (-5.52, 3.65)	1.65 (-3.05, 5.15) ^a	1.85 (1.00, 3.23)	1.30 (0.90, 2.28) ^a	255.65 (181.25, 355.87)	196.60 (147.10, 250.78) ^a
试验组	66	-2.45 (-6.62, 2.03)	0.40 (-4.23, 4.33) ^a	1.75 (1.00, 3.20)	1.70 (0.90, 2.33) ^a	304.10 (198.23, 380.00)	207.30 (165.50, 308.60) ^a
Z 值		-0.550	-0.786	-0.011	-0.396	-1.168	-1.749
P 值		0.583	0.432	0.991	0.692	0.243	0.080

注：对照组为常规治疗组，试验组为实施基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略组；AECOPD 为慢性阻塞性肺疾病急性加重，PaO₂ 为动脉血氧分压，PaCO₂ 为动脉血二氧化碳分压；1 mmHg=0.133 kPa；^a 与本组干预前比较，P<0.05

表 3 不同干预策略两组 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭接受机械通气患者膈肌功能指标变化比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数 (例)	膈肌移动度 (cm)			t 值	P 值
		干预前	干预第 7 天	差值		
对照组	68	1.494 ± 0.512	1.593 ± 0.495	0.104 ± 0.020	10.697	0.001
试验组	66	1.603 ± 0.556	1.822 ± 0.555	0.182 ± 0.030	-3.416	0.001
t 值		1.246	2.432	3.441		
P 值		0.215	0.016	0.001		

组别	例数 (例)	膈肌厚度 (cm)			t 值	P 值
		干预前	干预第 7 天	差值		
对照组	68	0.251 ± 0.034	0.264 ± 0.220	0.014 ± 0.002	-0.146	0.885
试验组	66	0.193 ± 0.035	0.209 ± 0.030	0.023 ± 0.004	-6.265	<0.001
t 值		1.487	2.023	1.507		
P 值		0.139	0.045	<0.001		

注：对照组为常规治疗组，试验组为实施基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略组；AECOPD 为慢性阻塞性肺疾病急性加重

表 5 不同干预策略两组 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭接受机械通气患者肌力变化比较

组别	例数 (例)	干预前肌力 [例 (%)]					
		0 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
对照组	68	15 (22)	11 (16)	10 (15)	14 (21)	18 (26)	0 (0)
试验组	66	9 (14)	6 (9)	4 (6)	21 (32)	24 (36)	2 (3)
χ ² 值		9.771					
P 值		0.082					

组别	例数 (例)	干预第 7 天肌力 [例 (%)]					
		0 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
对照组	68	14 (21)	10 (15)	11 (16)	15 (22)	18 (26)	0 (0)
试验组	66	6 (9)	3 (5)	2 (3)	18 (27)	33 (50)	4 (6)
χ ² 值		21.860					
P 值		0.001					

注：对照组为常规治疗组，试验组为实施基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略组；AECOPD 为慢性阻塞性肺疾病急性加重

2.6 两组结局指标比较：试验组机械通气时间、ICU 住院时间、总住院时间短于对照组，脱机成功率高于对照组，差异均有统计学意义 (均 P<0.05；表 6)。

表 6 不同干预策略两组 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭接受机械通气患者结局指标比较

组别	例数 (例)	机械通气时间 [h, M(Q ₁ , Q ₃)]	ICU 住院时间 [d, M(Q ₁ , Q ₃)]	
			成功	失败
对照组	68	162.5 (92.5, 263.8)	11.0 (7.0, 18.0)	
试验组	66	137.5 (90.8, 202.2)	9.0 (5.8, 14.5)	
统计量值		Z=-2.041	Z=-1.982	
P 值		0.041	0.048	

组别	例数 (例)	总住院时间 [d, M(Q ₁ , Q ₃)]	脱机结果 [例 (%)]	
			成功	失败
对照组	68	17.0 (10.0, 23.5)	52 (76)	16 (24)
试验组	66	12.0 (7.0, 20.0)	59 (89)	7 (11)
统计量值		Z=-2.197	χ ² =3.934	
P 值		0.028	0.047	

注：对照组为常规治疗组，试验组为实施基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略组；AECOPD 为慢性阻塞性肺疾病急性加重，ICU 为重症监护病房

3 讨论

COPD 是以持续性气流受限为核心临床表现，伴有进行性呼吸困难、慢性咳嗽等症状的呼吸系统疾病，主要病理改变为小气道重塑与肺泡结构塌陷的复合型损伤。COPD 的发病机制主要涉及炎症反应、蛋白酶-抗蛋白酶失衡、细胞凋亡与肺组织结构细胞代偿修复之间不平衡引起的气道重构^[5]。COPD 患者多合并营养不良，有研究表明，此类患者营养不良的发生率高达 40%，低蛋白血症发生率甚至高达 86.8%^[6]。营养不良使患者免疫功能下降，抵御呼吸道病原菌的能力降低，更加不利于疾病的预后^[7]。营养不良导致患者呼吸肌肉的力量下降，引起肺功能损伤，造成病情反复^[8-9]，破坏肺结构，使肺泡上皮细胞发生凋亡，引起肺部炎症，甚至全身炎症。目前，COPD 患者较多合并呼吸衰竭，需要机械通气治疗，患者病情反复发作，治疗难度也较大^[10-11]。COPD 患者运动耐力降低^[12-13]。由于 COPD

患者长期缺氧,其膈肌的厚度逐渐减小、强度逐渐减弱,膈肌的肌纤维数量减少且长度缩短,造成膈肌力量减弱和膈肌活动度下降,导致肺功能进行性下降。有研究表明,机械通气患者 48 h 内就会出现膈肌变薄的情况^[14]。COPD 患者在急性加重期会出现高分解代谢,机体出现蛋白质的分解代谢增强,根据机体优先保护性原则,先分解骨骼肌以保证机体供应,膈肌属于骨骼肌,因此膈肌会受到影响,使其功能减弱^[15]。然而,膈肌是呼吸肌肉核心肌群,在 AECOPD 发生后多重效应导致膈肌功能进一步减弱,造成脱机困难。

膈肌位于机体胸腔与腹腔的交界处,膈肌在整个呼吸运动中起着至关重要的作用。在平静呼吸时,吸气所需力量的 60% 都来自膈肌。膈肌功能也是影响脱机的重要因素^[15]。当患者膈肌功能差时,呼吸肌肉力量不足导致呼吸功能受影响,肺通气障碍造成脱机失败,机械通气时间长导致膈肌废用性萎缩,膈肌力量差,呼吸肌肉力量不足,脱机失败。由此可见,膈肌与脱机是相互影响的。膈肌移动度是评估膈肌功能的关键指标,其位移距离与潮气量密切相关,当膈肌移动位移距离度在 1 cm 时,潮气量可达到 250 mL;当膈肌移动度在 2 cm 时,其潮气量可满足成人静息通气需求^[15]。

本研究结果显示,两组患者干预第 7 天营养指标水平均较干预前下降,是因为患者病情危重,机体处于高消耗、高分解代谢的状态,即使给予基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略,仍不能抵消疾病的高消耗造成的营养恶化的情况^[16]。但是试验组营养指标水平下降程度低于对照组,表明基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略对于改善 AECOPD 合并 II 型呼吸衰的机械通气患者营养状况起着积极的作用。主要原因是功能锻炼可以增加患者抵抗力,过滤和清除细菌及病毒等物质,降低体内应激水平,促进相关蛋白质的合成和胃肠蠕动,增加机体营养物质的吸收,提高患者蛋白质的合成速度^[17]。通过该集束化策略的实施还可以促进患者对摄入蛋白质、维生素、能量等营养底物的吸收,促进上皮细胞的生长,维持细胞的正常形态和功能,控制炎症反应,促进机体修复。该集束化策略的实施通过主动或被动地活动四肢及锻炼呼吸功能,增强患者的四肢肌力,防止肌肉萎缩,降低肌肉黏滞性,还可以刺激肌肉的自身调节功能,抑制肌肉组织纤维增生,消除肌肉的僵硬和酸痛,促进血液循环,改

善肌肉功能^[17]。

本研究结果还显示,试验组膈肌移动度和膈肌厚度改善程度优于对照组,表明基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略对患者膈肌功能有改善作用。四肢功能锻炼可以增强患者的肌力,通过上肢功能锻炼,促进患者胸部肌肉的力量恢复,改善呼吸肌肉的力量,使膈肌的厚度增加,抵抗肌纤维减少和长度缩短的情况,改善患者的膈肌功能。功能锻炼能够改善患者的呼吸功能;同时,可增大膈肌的活动度,扩大患者胸廓容量,增加肺活量,增强膈肌的运动耐力,增加膈肌的供血量,缓解呼吸肌肉的疲劳,改善肺的通气状况^[18]。呼吸功能的锻炼可以改善患者的肺功能,增加膈肌的移动度,改善呼吸功能,促进患者脱机。

因此,尽早给予患者实施膈肌靶向功能锻炼集束化策略可以促进肌肉力量的改善,同时加强营养支持,增加肌肉的含量,改善膈肌功能。通过四肢功能锻炼,增加肢体的肌力,增加肌肉含量,同时可以增加膈肌的重量,改善膈肌功能,促进患者脱机。呼吸功能的锻炼可以改善患者的肺功能,增加膈肌的移动度,改善呼吸功能,促进患者脱机。

相关研究表明,通过功能锻炼,可以改善 COPD 患者血气分析情况^[19],这是因为呼吸功能锻炼可以改善患者的呼吸功能。缩唇呼吸方法可以改善患者呼气时气道塌陷的问题,减少患者二氧化碳潴留的发生;腹式呼吸可以增大膈肌的位移距离,提高肺活量,使吸入的氧气更多,从而改善缺氧的状况。然而本研究结果显示,两组干预第 7 天血气分析结果差异无统计学意义,这是由于本研究所有纳入患者采用了统一的纳排标准,均接受机械通气治疗,机械通气可以更直接地改善患者血气分析结果,两组患者的血气分析指标都有明显改善。在机械通气治疗过程中,根据患者的病情,以机械通气指南为指导,以目标导向为原则,及时进行呼吸机模式及参数的调节,如调节吸入氧浓度(fractional of inspired oxygen, FiO_2)、呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)、潮气量等,这种即时反馈调节可能缩小了组间差异,体现了重症医学的个体化治疗特点。机械通气时,影响氧合指数的主要因素依次为 PEEP、 FiO_2 ;影响 $PaCO_2$ 的主要因素为分钟通气量和潮气量;吸气:呼气时间比对 $PaCO_2$ 的影响较弱。在机械通气策略中, PEEP 和 FiO_2 的调整对氧合改善权重较高,而分钟通气量的调节对二氧化碳清除

影响更为显著。在追求氧合优化时,应优先关注 PEEP 与 FiO₂ 的联动调节;而在管理高碳酸血症时,需重点评估分钟通气量的适应性调整。血气分析为瞬间静态指标,易受单次测量时机、镇静镇痛深度、气道护理操作等即时因素干扰,对于这类指标,更频繁地监测或更长的观察周期可能有助于捕捉差异。未来可通过连续监测获取动态数据,并进一步结合实时血流动力学监测、电阻抗断层成像等,开展多中心、大样本的随机对照试验,延长监测时段,以捕捉血气参数的动态演变规律,为精准化通气提供更高级别的证据。

本研究结果显示,试验组患者机械通气时间、ICU 住院时间及总住院时间均短于对照组,脱机成功率高于对照组。表明实施基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略的 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭机械通气患者呼吸功能及膈肌功能改善,得以尽早脱机。

综上,本研究结果表明,实施基于超声评估的膈肌靶向功能锻炼集束化策略可以改善 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭机械通气患者的营养状况和膈肌功能,增强肌力,缩短机械通气时间和住院时间,但本研究样本量较少,且是单中心研究,因此,在以后可以进行多中心研究,且增大样本量,甚至进行多病种研究,以进一步完善其在临床中的作用,促进患者恢复。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 冯丽伟: 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、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析、获取研究经费; 陈兵: 酝酿和设计实验,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; 赵岳: 酝酿和设计实验,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; 王斌: 酝酿和设计实验,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; 李真玉: 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; 魏立娜: 酝酿和设计实验,采集数据,行政、技术或材料支持,指导; 张清照: 酝酿和设计实验,采集数据,分析/解释数据,统计分析,行政、技术或材料支持; 秦海楠: 实施研究、采集数据、分析/解释数据、起草文章; 王培荣: 实施研究、采集数据、统计分析

参考文献

[1] 徐梦娇,高峰. 基于囊理论探讨慢性阻塞性肺疾病的病理与治疗 [J]. 南京中医药大学学报, 2024, 40(2): 124-128. DOI: 10.14148/j.issn.1672-0482.2024.0124.

[2] 李若瞳,饶紫葵,傅晏红,等. 2030 年中国慢性阻塞性肺疾病的疾病负担预测与危险因素控制效果模拟 [J]. 中华流行病学杂志, 2022, 43(2): 201-206. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20210803-00606.

[3] 韩慧,徐平,宋卫东. 高龄慢性阻塞性肺疾病稳定期患者近期急性加重风险预测模型构建 [J]. 实用医学杂志, 2023, 39(22): 2984-2988. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2023.22.022.

[4] 中华医学会呼吸病学分会慢性阻塞性肺疾病学组,中国医师协会呼吸医师分会慢性阻塞性肺疾病工作委员会. 慢性阻塞性肺疾病诊治指南(2021 年修订版) [J]. 中华结核和呼吸杂志, 2021, 44(3): 170-205. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20210109-00031.

[5] 《慢性阻塞性肺疾病免疫调节治疗专家共识》撰写组. 慢性阻塞性肺疾病免疫调节治疗专家共识 [J]. 中国全科医学, 2022, 25(24): 2947-2959. DOI: 10.12114/j.issn.1007-9572.2022.0384.

[6] 刘海娟,徐永伟,杨超,等. 八段锦联合肺功能康复训练对慢性阻塞性肺病稳定期患者肺功能、运动耐力及生活质量的影响 [J]. 现代生物医学进展, 2021, 21(10): 1859-1862, 1810. DOI: 10.13241/j.cnki.pmb.2021.10.012.

[7] 刘娜,刘晓山,陈婷婷. 呼吸功能锻炼结合营养护理对慢性阻塞性肺病稳定期患者运动耐力及生活质量的影响 [J]. 内蒙古医学杂志, 2022, 54(2): 229-231. DOI: 10.16096/J.cnki.nmgxyzz.2022.54.02.032.

[8] 唐翎,仲建全,汤万鑫,等. 双能 CT 对老年男性 COPD 肺功能分级与胸椎钙(水)密度关系的定量研究 [J]. 临床肺科杂志, 2021, 26(6): 852-855. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6663.2021.06.009.

[9] 黄鹏宇,钟华,夏凡. 家属参与肺康复引导式教育训练对 COPD 患者肺功能、心理健康及生活质量的影响 [J]. 中国全科医学, 2021, 24(S1): 59-61.

[10] Yang IA, Jenkins CR, Salvi SS. Chronic obstructive pulmonary disease in never-smokers: risk factors, pathogenesis, and implications for prevention and treatment [J]. Lancet Respir Med, 2022, 10(5): 497-511. DOI: 10.1016/S2213-2600(21)00506-3.

[11] Shnoda M, Gajjar K, Ivanova V. COPD and cardiovascular disease: a review of association, interrelationship, and basic principles for integrated management [J]. Crit Care Nurs Q, 2021, 44(1): 91-102. DOI: 10.1097/CNQ.0000000000000342.

[12] 邓莉萍,杨莹,温有利,等. 噻托溴铵联合阻力呼吸训练器对 COPD 稳定期患者的治疗效果 [J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2022, 17(9): 1242-1246, 1260. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6966.2022.09.030.

[13] 刘路,齐文川,曾倩,等. 基于外泌体介导的巨噬细胞极化探讨针刺治疗慢性阻塞性肺疾病的潜在机制 [J]. 南京中医药大学学报, 2023, 39(1): 93-100. DOI: 10.14148/j.issn.1672-0482.2023.0093.

[14] 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. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9676.2020.01.001.

[15] 冯丽伟,赵岳,王思远,等. 血清白蛋白和膈肌移动度与二次插管的相互关系 [J]. 天津医科大学学报, 2021, 27(1): 28-31. DOI: 10.20135/j.issn.1006-8147.2021.01.007.

[16] 冯丽伟,付丽,魏立娜,等. 泵入与顿服肠内营养对 AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭机械通气患者的疗效研究 [J]. 天津医科大学学报, 2022, 28(6): 631-635. DOI: 10.20135/j.issn.1006-8147.2022.06.010.

[17] 王会思,刘春晖,冯明明. 骨盆骨折患者内固定术后进行功能锻炼结合个体化营养干预对蛋白质指标、电解质水平及骨盆功能的影响 [J]. 数理医药学杂志, 2022, 35(5): 757-759. DOI: 10.3969/j.issn.1004-4337.2022.05.040.

[18] 何良英,赵旭玲,张晨光. 低频体外膈肌起搏器联合呼吸功能锻炼对慢性阻塞性肺病急性加重期患者肺功能和膈肌功能的影响 [J]. 医疗装备, 2023, 36(21): 122-125. DOI: 10.3969/j.issn.1002-2376.2023.21.040.

[19] 吴玉婷,黄世俊,陶静静. 不同频次康复锻炼对 COPD 患者运动耐力、肺功能及生存质量的影响 [J]. 河北医药, 2024, 46(6): 904-906. DOI: 10.3969/j.issn.1002-7386.2024.06.024.

(收稿日期: 2025-10-23)

(本文编辑: 保健媛 张耘菲)