

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2025.05.028

# 呼吸训练与排痰干预策略在慢阻肺急性加重期患者行高强度无创正压通气干预中的应用观察

王倩, 李萌萌, 张新娜

(郑州大学附属郑州中心医院呼吸科, 河南郑州 450007)

**【摘要】目的** 探讨呼吸训练与排痰干预策略在慢阻肺 (Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD) 急性加重期患者行高强度无创正压通气 (Non-Invasive Positive Pressure Ventilation, NIPPV) 干预中的应用效果。方法 选取 2022 年 6 月至 2024 年 6 月郑州大学附属郑州中心医院收治的 116 例 COPD 急性加重期患者作为研究对象, 根据干预方案不同分成常规组 (物理排痰) 和联合组 (呼吸训练联合物理排痰) 各 58 例。比较两组患者的肺功能、血气分析指标、运动耐力、时间相关指标、生活质量。结果 干预 14 天后, 两组第 1 秒用力呼气容积 (Forced Expiratory Volume in One Second, FEV<sub>1</sub>) 、用力肺活量 (Forced Vital Capacity, FVC) 水平均升高, 呼吸困难指数 (modified Medical Research Council, mMRC) 评分均降低 ( $P < 0.05$ ) ; 且联合组 FEV<sub>1</sub>、FVC 水平高于常规组, mMRC 评分低于常规组 ( $P < 0.05$ ) 。两组动脉血氧分压 (PaO<sub>2</sub>) 、血氧饱和度 (SpO<sub>2</sub>) 水平均升高, 动脉血二氧化碳分压 (PaCO<sub>2</sub>) 水平均降低 ( $P < 0.05$ ) ; 且联合组 PaO<sub>2</sub>、SpO<sub>2</sub> 水平高于常规组, PaCO<sub>2</sub> 水平低于常规组 ( $P < 0.05$ ) 。两组 6 分钟步行试验 (6-Minute Walk Test, 6MWT) 均升高, Borg 量表评分均降低 ( $P < 0.05$ ) ; 且联合组 6MWT 高于常规组, Borg 量表评分低于常规组 ( $P < 0.05$ ) 。联合组的肺啰音消失时间、机械通气时间、住院时间均短于常规组 ( $P < 0.05$ ) 。两组慢阻肺评估测试 (COPD Assessment Test, CAT) 问卷评分均降低 ( $P < 0.05$ ) , 且联合组低于常规组 ( $P < 0.05$ ) 。结论 呼吸训练与排痰干预策略可有效改善 COPD 急性加重行高强度 NIPPV 患者的肺功能和血液酸碱平衡, 提高运动耐力和生活质量, 促进患者康复, 效果良好。

【关键词】呼吸训练; 排痰干预; 慢性阻塞性肺疾病; 无创正压通气

【中图分类号】R473.5

【文献标志码】A

文章编号: 1674-1242 (2025) 05-0812-08

## Observation on the Application of Respiratory Training and Sputum Removal Intervention Strategies in Patients with Acute Exacerbation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease Undergoing High-Intensity Non-Invasive Positive Pressure Ventilation Intervention

WANG Qian, LI Mengmeng, ZHANG Xinna

(Department of Respiratory Medicine, Zhengzhou Central Hospital Affiliated to Zhengzhou University, Zhengzhou 450007, China)

**【Abstract】Objective** To explore the application effect of respiratory training and sputum removal intervention strategies in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease (COPD), undergoing high-

收稿日期: 2025-04-13。

第一作者: 王倩 (1988—), 女, 主管护师, 本科, 主管护师, 主要从事慢阻肺的护理研究。邮箱: 13592629313@163.com。

通信作者: 张新娜 (1987—), 女, 主管护师, 主要从事慢阻肺及肺康复研究。邮箱: zhangxinnakx518@126.com。

intensity non-invasive positive pressure ventilation (NIPPV) intervention. **Methods** A total of 116 patients with acute exacerbation of COPD admitted to Zhengzhou Central Hospital Affiliated to Zhengzhou University from June 2022 to June 2024 were selected as research subjects and divided into conventional group (physical sputum removal) and combination group (respiratory training combined with physical sputum removal) according to different intervention schemes, with 58 cases in each group. The lung function, blood gas analysis indicators, exercise endurance, time-related indicators, and quality of life of the two groups were compared. **Results** After 14 days of intervention, the forced expiratory volume in one second ( $FEV_1$ ) and forced vital capacity (FVC) levels in both groups increased, and the modified medical research council (mMRC) scores decreased ( $P<0.05$ ), the  $FEV_1$  and FVC levels in the combination group were higher than those in the conventional group, and the mMRC score was lower than that in the conventional group ( $P<0.05$ ). The partial pressure of oxygen ( $PaO_2$ ) and peripheral oxygen saturation ( $SpO_2$ ) levels in both groups increased, and partial pressure of carbon dioxide in arterial blood ( $PaCO_2$ ) levels decreased ( $P<0.05$ ), the  $PaO_2$  and  $SpO_2$  levels in the combination group were higher than those in the conventional group, and the  $PaCO_2$  was lower than that in the conventional group ( $P<0.05$ ). The 6-minute walk test (6MWT) in both groups increased, and the Borg scale scores decreased ( $P<0.05$ ), the 6MWT in the combination group was higher than that in the conventional group, and the Borg scale score was lower than that in the conventional group ( $P<0.05$ ). The disappearance time of rales, mechanical ventilation time, and hospitalization time in the combination group were shorter than those in the conventional group ( $P<0.05$ ). The COPD Assessment Test (CAT) Questionnaire scores of both groups decreased ( $P<0.05$ ), and the scores of the combination group were lower than those of the conventional group ( $P<0.05$ ). **Conclusion** Respiratory training and sputum removal intervention strategies can effectively improve the pulmonary function and blood acid-base balance of patients with acute exacerbation of COPD undergoing high-intensity NIPPV, improve exercise tolerance and quality of life, and promote patient recovery, with good results.

【Key words】 Respiratory Training; Sputum Removal Intervention; Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD); Non-invasive Positive Pressure Ventilation (NIPPV)

## 0 引言

慢性阻塞性肺疾病 (Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD) 的临床特征为持续存在的呼吸系统症状和气流受限, 严重影响患者的生活质量和预后<sup>[1]</sup>。COPD 急性加重期是指患者出现超出日常状况的持续性呼吸道症状加重, 频繁发作会加速肺功能衰退, 增加住院率和死亡风险<sup>[2]</sup>。无创正压通气 (Non-Invasive Positive Pressure Ventilation, NIPPV) 因其非侵入性、并发症少等优点, 在 COPD 急性加重期患者的治疗中发挥着重要的作用<sup>[3]</sup>, 但在实施过程中由于通气压力有限等弊端导致患者可能面临腹胀、气胸等问题<sup>[4]</sup>。已有研究表明, 呼吸训练与排痰干预能够有效增强呼吸肌力量, 改善呼吸模式, 促进气道分泌物清除, 从而缓解呼吸困难, 减少二氧化碳潴留<sup>[5,6]</sup>。基于此, 本研究拟探讨呼

吸训练与排痰干预策略在 COPD 急性加重期患者行高强度无创正压通气干预中的应用效果, 旨在为 COPD 急性加重期患者的康复提供有力的循证基础, 提升患者生存质量。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

研究对象选取 2022 年 6 月至 2024 年 6 月郑州大学附属郑州中心医院收治的 116 例 COPD 急性加重期患者, 根据干预方案不同分成常规组和联合组各 58 例。样本量估算: 本研究以干预后第 1 秒用力呼气容积 (Forced Expiratory Volume in One Second,  $FEV_1$ ) 作为主要结局指标进行样本量估算。根据预试验结果, 设定联合组与常规组  $FEV_1$  的预期均数差 ( $\Delta$ ) 为 0.25L, 合并标准差 ( $\sigma$ ) 为 0.33L, 计算得效应量 (Cohen's  $d$ ) 为 0.76。设置  $\alpha=0.05$  (双侧),

$\beta=0.20$  (检验效能 =80%)，利用 PASS 15.0 统计软件计算得出每组所需样本量至少为 52 例。考虑到约 10% 的脱落率，最终将每组样本量扩大至 58 例，总样本量为 116 例。其中常规组男 38 例、女 20 例；年龄 59~78(  $69.15 \pm 9.06$  )岁；病程 4~9(  $6.15 \pm 2.32$  )年；吸烟史：有 42 例，无 16 例；高血压：有 15 例，无 43 例；糖尿病：有 8 例，无 50 例；冠心病：有 6 例，无 52 例。联合组男 43 例、女 15 例；年龄 57~79(  $68.12 \pm 11.25$  )岁；病程 3.5~10(  $7.05 \pm 2.82$  )年；吸烟史：有 48 例，无 10 例；高血压：有 18 例，无 40 例；糖尿病：有 10 例，无 48 例；冠心病：有 5 例，无 53 例。两组年龄、性别、病程、吸烟史及合并症方面差异不具有统计学意义，具有可比性 ( $P>0.05$ )。本研究已通过本院伦理委员会审查（审批号：ZYYY2022139）。

## 1.2 纳入标准

①初次确诊为 COPD<sup>[7]</sup>，且疾病处于急性加重期；②经医生判断需启动高强度 NIPPV 治疗；③年龄 18~79 岁；④住院时间 7~30d；⑤对本研究知情并同意。

## 1.3 排除标准

①合并严重心脏疾病或其他可能影响呼吸功能的疾病，无法耐受高强度 NIPPV；②入组前三个月内曾发生急性冠状动脉综合征或卒中；③存在未控制的高血压（血压  $>180/110\text{mmHg}$ ）；④存在精神疾患且无法依从本研究干预方案。

## 1.4 干预方法

两组患者除给予化痰、支气管扩张等药物对症治疗及充足的营养与水分外，均接受高强度无创正压通气干预。

(1) 准备阶段：确保无创呼吸机设置正确，包括检查机器的工作状态，连接面罩或鼻罩，准备好湿化器，并检查管路的清洁度和通畅性；安装必要的生命体征监测设备，如血氧饱和度 (SpO<sub>2</sub>) 监测仪、心电图、呼吸频率和无创血压测量设备，以实时监控患者的生命体征；向患者解释 NIPPV 的目的、过程和感受，讲解正确的呼吸技巧。

(2) 实施阶段：根据患者具体情况设定合适的参数，通常吸入正压范围为 10~20cm H<sub>2</sub>O，呼

气末正压从 4~8cm H<sub>2</sub>O 开始，根据患者反应调整；观察患者的耐受性和血气分析结果，适度增加吸入正压直至达到治疗所需的压力水平，同时保证患者舒适，避免过度通气；采用同步间歇指令通气模式或压力支持通气模式，根据患者的具体需求选择最适宜的通气模式，调整触发灵敏度和呼吸频率，确保呼吸同步；持续监测 SpO<sub>2</sub>、血气分析、心率、呼吸频率等，及时调整治疗参数。

(3) 结束阶段：当患者病情达到撤机标准时，逐步减少 NIPPV 的支持，患者若能在自主呼吸下维持稳定的呼吸参数和血气值一段时间（通常为 30 分钟至数小时），则可完全撤机进行后续治疗。

### 1.4.1 常规组

常规组给予物理排痰。①主动循环呼吸技术：结合胸廓扩张、呼吸控制和声门驱动的咳嗽，帮助患者有效排出呼吸道分泌物。该技术包括深呼吸、胸廓扩张、短促咳嗽三步，适合大多数患者。②振动排痰：利用振动背心或手动振动按摩背部，通过机械震动松动呼吸道内的分泌物，使痰液易于咳出。

### 1.4.2 联合组

联合组在常规组的基础上联合呼吸训练。①膈肌抬升训练（腹式呼吸）：协助患者取舒适坐位或仰卧位，身体放松，可在背后垫枕头或毛巾卷，确保脊椎自然弯曲，腹部不受约束；嘱患者一手放于胸部，另一手轻置于脐部上方，呼吸时感受腹部起伏；用鼻深吸气，感受置于腹部的手随着吸气而上升，尽量让胸部不动，用口缓慢呼气，感受置于腹部的手下沉。意识专注于腹部肌肉的收缩，彻底排空肺部空气。连续 10 次为一组，每次持续 5~10s，保持呼吸节奏平稳，逐渐增加至每日 3 组，每次 10~15min。②缩唇呼吸：患者取坐位或直立位，保持上身直立，肩部放松，将唇部轻微收拢形成“O”形；用鼻吸气，尽量拉长气息，保持自然顺畅，无须刻意加快速度，然后通过形成的唇孔缓慢均匀地呼气，比吸气的时间长一倍左右，保持发力连续且均匀。连续 5 个循环为一组，每次呼气时间尽可能延长，吸气时间与呼气时间的比例大约为 1:2，熟练后增加至每日 3 组。

两组患者均连续干预 14d。

### 1.4.3 COPD 急性期智能康复管理平台

本研究依托 COPD 急性期智能康复管理平台（以下简称“平台”）开展。该平台由我院自主研发，集患者端 App、医护端管理系统及物联网数据看板于一体，具体如下：

（1）患者端功能。患者通过 App 接收每日个性化的呼吸训练与排痰计划（如视频指导缩唇呼吸、计时性腹式呼吸训练）。训练时，患者需使用手机麦克风进行气流监测（用于监测缩唇呼吸呼气相流速波形与时长），或者利用手机内置惯性测量单元（IMU，含加速度计与陀螺仪）进行动作捕捉（用于监测腹式呼吸时腹部的起伏幅度与节律），系统自动记录训练时长、频次及完成质量。患者每日可通过 App 自主打卡，上报呼吸困难指数（modified Medical Research Council, mMRC）评分、痰液性状与量等主观症状。

（2）医护端与管理功能。医疗团队可通过系统后台实时查看全体患者的依从性数据、症状反馈及生命体征趋势图。平台自动生成“患者康复进度报告”，包括但不限于周度训练完成率、症状变化曲线等，协助研究者精准评估干预效果，并及时对训练方案进行调整（如提高训练强度、延长训练时间）。所有数据均与医院信息系统（Hospital Information System, HIS）对接，确保干预记录与临床数据的完整性。

## 1.5 观察指标

### 1.5.1 肺功能

分别于干预前后测定两组患者的 FEV<sub>1</sub>、用力肺活量（Forced Vital Capacity, FVC）；通过 mMRC 评分评估患者的主观呼吸困难程度。mMRC 评分范围为 0～4 分，评分与呼吸困难严重程度呈正相关<sup>[8]</sup>。

### 1.5.2 血气分析指标

分别于干预前后采集两组患者的动脉血标本 2mL 送检，测量动脉血氧分压（PaO<sub>2</sub>）、动脉血二氧化碳分压（PaCO<sub>2</sub>），并测量 SpO<sub>2</sub>。

### 1.5.3 运动耐力

分别于干预前后通过 6 分钟步行试验（6-Minute

Walk Test, 6MWT）、Borg 量表评估两组患者的运动能力。6MWT 即患者 6 分钟内在一条平直走廊里尽可能快步行走的最远距离，超过 375m 代表心肺功能正常或较好<sup>[9]</sup>。Borg 量表反映了患者对运动强度的主观感受，总分范围为 0～10 分，得分与运动耐力呈负相关<sup>[10]</sup>。

### 1.5.4 时间相关指标

比较两组患者肺啰音症状的消失时间、机械通气时长、住院时间。

### 1.5.5 生活质量

分别于干预前后采用 COPD 评估测试（COPD Assessment Test, CAT）问卷评估两组患者的生活质量。CAT 共包含 8 个条目，每个条目的分值为 0～5 分，总分范围为 0～40 分，评分与症状严重程度呈正相关<sup>[11]</sup>。

## 1.6 质量控制

所有患者在入组前均经历了至少 48 小时的标准化药物洗脱期（停用其他研究性康复措施），并统一接受以《慢性阻塞性肺疾病诊治指南（2021 年修订版）》<sup>[7]</sup>为基础的标准化基础药物治疗（如支气管扩张剂、糖皮质激素等），确保干预前的治疗背景一致。

本研究采用可穿戴设备进行多维度生理数据采集，具体如下。

### 1.6.1 数据采集

为所有入组患者配发腕式血氧饱和度监测仪，持续监测并记录静息及训练后的 SpO<sub>2</sub>；同时，使用蓝牙连接的便携式肺功能仪定期测量并上传 FEV<sub>1</sub>、FVC 等数据至平台。

### 1.6.2 智能反馈与预警

平台内置智能算法，设定数据预警阈值（如 SpO<sub>2</sub> 持续低于 90% 超过 5 分钟）。一旦触发预警，系统即自动向研究护士的手机发送警报短信，提示其立即核查患者情况，并联系医生判断是否需要调整 NIPPV 参数或给予吸氧支持。这种实时反馈机制保障了干预的安全性与及时性。

## 1.7 统计学方法

采用 SPSS 25.0 软件分析，服从正态分布的计量资料（如年龄、病程、肺功能、血气分析指标、

运动耐力、时间相关指标、生活质量)用 $\bar{x}\pm s$ 描述,以独立t检验进行组间差异比较,以配对t检验进行组内干预前后差异比较;计数资料(如性别、吸烟史)以频数、百分率描述,以 $\chi^2$ 检验进行组间差异比较。鉴于本研究对同类型的多个主要结局指标(如肺功能指标FEV<sub>1</sub>、FVC和mMRC,血气分析指标PaO<sub>2</sub>、PaCO<sub>2</sub>和SpO<sub>2</sub>)进行了多次统计检验,为控制I类错误,采用Bonferroni法对显著性水平进行校正,对于上述同类别内的指标比较,将显著性水准调整至 $\alpha'=0.0167$ (0.05/3)。 $\alpha=0.05$ 为检验水准。

## 2 结果

### 2.1 肺功能比较

干预后,两组FEV<sub>1</sub>、FVC水平均升高,mMRC评分均降低( $P<0.05$ );且联合组FEV<sub>1</sub>、

FVC水平高于常规组,mMRC评分低于常规组( $P<0.05$ )。两组干预前FEV<sub>1</sub>和FVC水平、mMRC评分差异无统计学意义( $P>0.05$ )。具体数据如表1所示。

### 2.2 血气分析指标比较

干预后,两组PaO<sub>2</sub>、SpO<sub>2</sub>水平均升高,PaCO<sub>2</sub>水平均降低( $P<0.05$ );且联合组PaO<sub>2</sub>、SpO<sub>2</sub>水平高于常规组,PaCO<sub>2</sub>水平低于常规组( $P<0.05$ )。两组干预前PaO<sub>2</sub>、PaCO<sub>2</sub>、SpO<sub>2</sub>水平差异无统计学意义( $P>0.05$ )。具体数据如表2所示。

### 2.3 运动耐力比较

干预后,两组6MWT均升高,Borg量表评分均降低( $P<0.05$ );且联合组6MWT高于常规组,Borg量表评分低于常规组( $P<0.05$ )。两组干预前6MWT、Borg量表评分差异无统计学意义( $P>0.05$ )。具体数据如表3所示。

表1 两组肺功能比较( $\bar{x}\pm s$ )  
Tab. 1 Comparison of pulmonary function between the two groups ( $\bar{x}\pm s$ )

组别	n	FEV <sub>1</sub> /(%pred)		FVC/L		mMRC/分	
		干预前	干预后	干预前	干预后	干预前	干预后
联合组	58	53.45±7.22	77.41±5.16 <sup>a</sup>	1.53±0.27	2.91±0.42 <sup>a</sup>	3.28±0.46	1.48±0.32 <sup>a</sup>
常规组	58	55.35±8.12	72.45±7.28 <sup>a</sup>	1.49±0.38	2.22±0.37 <sup>a</sup>	3.21±0.54	1.88±0.41 <sup>a</sup>
t值	—	-1.332	4.233	0.653	9.388	0.752	-5.857
P值	—	0.186	<0.001	0.515	<0.001	0.454	<0.001

注: %pred: 占预计值的百分比; 与同组干预前比较, <sup>a</sup> $P<0.05$ 。

表2 两组血气分析指标比较( $\bar{x}\pm s$ )  
Tab. 2 Comparison of blood gas analysis parameters between the two groups ( $\bar{x}\pm s$ )

组别	n	PaO <sub>2</sub> /mmHg		PaCO <sub>2</sub> /mmHg		SpO <sub>2</sub> /%	
		干预前	干预后	干预前	干预后	干预前	干预后
联合组	58	54.18±5.28	79.85±8.85 <sup>a</sup>	80.37±9.63	51.28±6.11 <sup>a</sup>	78.74±6.15	93.16±5.08 <sup>a</sup>
常规组	58	53.82±4.89	72.49±9.43 <sup>a</sup>	79.86±8.97	66.23±7.18 <sup>a</sup>	77.64±5.69	88.49±4.17 <sup>a</sup>
t值	—	0.381	4.334	0.295	-12.077	1.000	5.411
P值	—	0.704	<0.001	0.768	<0.001	0.319	<0.001

注: 与同组干预前比较, <sup>a</sup> $P<0.05$ 。

表3 两组运动耐力比较( $\bar{x}\pm s$ )  
Tab. 3 Comparison of exercise Endurance between the two groups ( $\bar{x}\pm s$ )

组别	n	6MWT/m		Borg量表评分/分	
		干预前	干预后	干预前	干预后
联合组	58	245.36±29.56	400.15±43.17 <sup>a</sup>	6.17±1.27	4.07±0.46 <sup>a</sup>
常规组	58	251.49±32.58	352.28±45.68 <sup>a</sup>	5.98±2.03	4.88±0.79 <sup>a</sup>
t值	—	-1.061	5.800	0.604	-6.748
P值	—	0.291	<0.001	0.547	<0.001

注: 与同组干预前比较, <sup>a</sup> $P<0.05$ 。

## 2.4 时间相关指标比较

联合组的肺啰音消失时间、机械通气时间、住院时间均短于常规组 ( $P<0.05$ )。具体数据如表4所示。

表4 两组时间相关指标比较 (天,  $\bar{x} \pm s$ )  
Tab. 4 Comparison of time-related indicators between the two groups (d,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	n	肺啰音消失时间	机械通气时间	住院时间
联合组	58	6.23 ± 2.18	7.14 ± 1.56	13.67 ± 4.28
常规组	58	7.24 ± 2.79	9.13 ± 2.25	16.12 ± 5.59
t值	—	-2.172	-5.535	-2.650
P值	—	0.032	< 0.001	0.009

## 2.5 CAT 评分比较

干预后, 两组CAT评分均降低 ( $P<0.05$ ), 且联合组低于常规组 ( $P<0.05$ )。两组干预前CAT评分差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。具体数据如表5所示。

表5 两组CAT评分比较 (分,  $\bar{x} \pm s$ )  
Tab. 5 Comparison of CAT scores between the two groups (scores,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	n	CAT评分	
		干预前	干预后
联合组	58	19.26 ± 5.84	12.67 ± 4.15 <sup>a</sup>
常规组	58	20.03 ± 6.27	15.10 ± 5.69 <sup>a</sup>
t值	—	-0.684	-2.628
P值	—	0.495	0.010

注: 与同组干预前比较, <sup>a</sup> $P<0.05$ 。

## 3 讨论

据统计, 预计到2030年COPD将成为世界第三大死亡原因<sup>[12]</sup>。COPD的特点在于不可逆的气流受限, 主要由烟草烟雾、职业粉尘及化学物质暴露引起的气道炎症所致。特别是在急性加重期, 病情急剧恶化, 表现为呼吸困难加剧、咳痰增多等症状, 极大地影响患者生活质量, 增加医疗负担<sup>[13]</sup>。近年来, 呼吸康复计划等多种非药物干预措施因具备潜在的提高肺功能、改善气体交换效率的优势受到了广泛关注。

本研究将呼吸训练与排痰干预策略联合应用于COPD急性加重期患者的治疗中, 取得了良好的临床效果。研究结果显示, 联合组FEV<sub>1</sub>、FVC水平

高于常规组, mMRC评分低于常规组, 提示呼吸训练与排痰干预策略能有效改善COPD急性加重期患者的肺功能。物理排痰能帮助清除呼吸道内滞留的痰液和其他分泌物, 减轻气道阻塞, 促进气体流通, 间接提升肺泡的通气/血流比例, 保证更高效的气体交换<sup>[14]</sup>。腹式呼吸和缩唇呼吸可通过强化呼吸肌群改善呼吸模式, 促进深层呼吸<sup>[15]</sup>, 有助于减少因过度呼吸导致的小气道过早闭合现象, 进一步优化气体分布, 增加肺总量和功能残气量。膈肌抬升训练能够通过增强膈肌的收缩能力提高其在呼吸过程中的参与度, 使呼吸更加依赖膈肌而非辅助呼吸肌, 从而减少能量消耗, 减轻呼吸负荷, 提升呼吸效率<sup>[16]</sup>。本研究数据显示, 联合组PaO<sub>2</sub>、SpO<sub>2</sub>水平高于常规组, PaCO<sub>2</sub>水平低于常规组, 表明呼吸训练与排痰干预策略可有效改善COPD急性加重期患者的缺氧状况。究其原因, 可能是当呼吸道环境得以净化且呼吸模式得到有效调整后, 肺泡区域能够更充分地参与到气体交换过程中, 提高氧气吸入和二氧化碳排放效率, 从而改善PaO<sub>2</sub>、SpO<sub>2</sub>水平, 降低PaCO<sub>2</sub>水平, 维持良好的血液气体环境, 促进细胞层面的代谢与修复。

本研究数据显示, 联合组6MWT高于常规组, Borg量表评分低于常规组, 提示呼吸训练与排痰干预策略可有效提高COPD急性加重期患者的运动耐力, 与江尚燕等<sup>[5]</sup>的研究结果一致。定期进行膈肌抬升训练和缩唇呼吸可提升呼吸肌群的力量与耐力, 降低呼吸工作的能耗, 避免出现过度呼吸或呼吸不足的情况, 有助于提高运动时的氧气利用率和心输出量, 从而提高运动性能。腹式呼吸和缩唇呼吸可促进深度与慢速呼吸, 帮助患者在运动期间更好地控制呼吸, 降低呼吸频率, 增加潮气量, 使肺部保持适当的充盈状态, 不仅能缓解呼吸肌疲劳, 还能改善呼吸协调性, 减少能量消耗, 提升运动时的舒适度和持久力<sup>[17]</sup>。本研究结果显示, 联合组的肺啰音消失时间、机械通气时间、住院时间均短于常规组, 表明呼吸训练与排痰干预策略可缩短COPD急性加重期患者的康复进程。本研究呼吸训练方案有助于改善患者的呼吸模式, 增加潮气量, 减少呼吸次数, 改善肺泡通气/血流比值, 提高肺

部氧气吸收和二氧化碳排放效率，加速机体恢复正常气体交换，改善缺氧状态<sup>[18]</sup>，从而有助于缩短机械通气需求时间，加快脱离呼吸机的过程。本研究结果显示，联合组CAT评分低于常规组。结合上述研究结果，呼吸训练与排痰干预策略能通过改善肺功能和缺氧状况、提升运动耐力等，实质性提高COPD急性加重期患者的生活质量。

综上，在数字化智能管理平台的支撑下，将呼吸训练与排痰干预策略应用于COPD急性加重期行高强度NIPPV的患者，可有效改善其肺功能、血气指标和运动耐力，缩短临床症状缓解时间，并提升生活质量，临床效果显著且优于常规物理排痰干预。该联合策略结合工程化技术手段，为COPD急性加重期患者的呼吸康复管理提供了一套标准化、可监控、可推广的新模式。然而，本研究仍存在一定的局限性。首先，尽管已通过随机分组和严格控制基线确保了组间可比性，但本研究为单中心研究，结论的外推性仍需通过更大样本量、多中心的前瞻性随机对照试验加以验证；其次，本研究主要报告了近期疗效，呼吸训练与排痰干预的远期效益有待进一步追踪；此外，本研究依赖智能平台与可穿戴设备进行数据自动采集，虽然提高了效率，但传感器精度、信号干扰及患者操作规范性等因素可能引入测量噪声或技术误差。在未来研究中，计划基于本团队构建的数字化平台，探索利用机器学习算法对采集的多维度数据（如训练依从性、生理参数变化趋势）进行深入分析，从而构建个体化康复疗效预测模型，实现对干预方案的动态优化与精准调整，并为远程智能康复管理模式的建立提供参考依据。

#### 参考文献

[1] KAHNERT K, JÖRRES R A, BEHR J, et al. The diagnosis and treatment of COPD and its comorbidities[J]. *Dtsch Arztebl Int*, 2023, 120(25): 434-444.

[2] HOULT G, GILLESPIE D, WILKINSON T M A, et al. Biomarkers to guide the use of antibiotics for acute exacerbations of COPD (AE-COPD): a systematic review and meta-analysis[J]. *BMC Pulm Med*, 2022, 22(1): 194-209.

[3] ABUBACKER A P, NDAKOTSU A, CHAWLA H V, et al. Non-invasive positive pressure ventilation for acute cardiogenic pulmonary edema and chronic obstructive pulmonary disease in prehospital and emergency settings[J]. *Cureus*, 2021, 13(6): 1-11.

[4] 周建珍, 张传来, 徐莉, 等. 经鼻高流量氧疗不同流速设置对急性低氧性呼吸衰竭患者的影响[J]. *中华护理杂志*, 2022, 57(15): 1797-1803.

ZHOU Jianzhen, ZHANG Chuanlai, XU Li, et al. Effect of high flow oxygen therapy with different flow rates on patients with acute hypoxic respiratory failure[J]. *Chinese Journal of Nursing*, 2022, 57(15): 1797-1803.

[5] 江尚燕, 韩江英, 王云云, 等. 辅助缩唇呼吸训练工具在慢性阻塞性肺疾病患者居家肺功能康复中的设计及应用[J]. *中国康复医学杂志*, 2024, 39(6): 821-827.

JIANG Shangyan, HAN Jiangying, WANG Yunyun, et al. Design and application of an assisted lip retraction breathing exercise tool in home-based pulmonary re-habilitation of COPD patients[J]. *Chinese Journal of Rehabilitation Medicine*, 2024, 39(6): 821-827.

[6] 叶世贤, 周保, 苏冠升, 等. 震荡呼气正压和主动循环呼吸技术治疗慢性气道疾病腺体高分泌的效果及患者偏好研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2022, 37(4): 465-469, 475.

YE Shixian, ZHOU Bao, SU Guansheng, et al. A study of oscillating positive expiratory pressure and active cycle of breathing techniques on glandular hypersecretion in patients with chronic airway diseases[J]. *Chinese Journal of Rehabilitation Medicine*, 2022, 37(4): 465-469, 475.

[7] 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.

Chronic Obstructive Pulmonary Disease Group of Chinese Thoracic Society, Chronic Obstructive Pulmonary Disease Committee of Chinese Association of Chest Physician. Guidelines for the diagnosis and management of chronic obstructive pulmonary disease (revised version 2021) [J]. *Chinese Journal of Tuberculosis and Respiratory Diseases*, 2021, 44(3): 170-205.

[8] MUNARI A B, GULART A A, ARAÚJO J, et al. Modified medical research council and COPD assessment test cut off points[J]. *Respir Care*, 2021, 66(12): 1876-1884.

[9] ROMERO D, BLANCO-ALMAZÁN D, GROENENDAAL W, et al. Predicting 6-minute walking test outcomes in patients with chronic obstructive pulmonary disease without physical performance measures[J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2022, 10(225): 107020-107032.

[10] RAMOS-FAVARETTO F S, FUKUSHIRO A P, SCARMAGNANI R H, et al. Borg scale: a new method for hypernasality rating[J]. *Codas*,

2019, 31(6):1-8.

[11] MARTINEZ F J, AGUSTI A, CELLI B R, *et al*. Treatment trials in young patients with chronic obstructive pulmonary disease and pre-chronic obstructive pulmonary disease patients: time to move forward[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2022, 205(3): 275-287.

[12] 刘洁星, 宋章永, 熊彬. 慢性阻塞性肺疾病急性加重期患者痰液微生物组分析[J]. *中国微生态学杂志*, 2024, 36 (8) : 949-954, 961.  
LIU Jieying, SONG Zhangyong, XIONG Bin. Analysis of sputum flora in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Chinese Journal of Microecology*, 2024, 36(8): 949-954, 961.

[13] 张昂, 杜燕, 谢洋, 等. 脂质组学在慢性肺部疾病生物标志物发现中的应用 [J]. *中国比较医学杂志*, 2024, 34 (7) : 131-141.  
ZHANG Ang, DU Yan, XIE Yang, *et al*. Lipidomics driven biomarker discovery in chronic lung disease[J]. *Chinese Journal of Comparative Medicine*, 2024, 34(7): 131-141.

[14] 中华医学会重症医学分会重症呼吸学组. 机械通气患者雾化治疗指南 [J]. *中华重症医学电子杂志 (网络版)*, 2021, 7 (3) : 193-203.  
Chinese Medical Association Critical Care Medicine Branch, Critical Care Respiratory Medicine Working Group. Atomization treatment guidelines for mechanical ventilation patients[J]. *Chinese Journal of Critical Care & Intensive Care Medicine (Electronic Edition)*, 2021, 7(3): 193-203.

[15] 李朝英, 李芳秋, 李星鑫. 长期家庭氧疗联合康复训练对老年呼吸衰竭患者血气指标及运动耐力的影响 [J]. *中国老年学杂志*, 2021, 41 (4) : 776-778.  
LI Chaoying, LI Fangqiu, LI Xingxin. The effect of long-term home oxygen therapy combined with rehabilitation training on blood gas parameters and exercise endurance in elderly patients with respiratory failure[J]. *Chinese Journal of Gerontology*, 2021, 41(4): 776-778.

[16] DING K, SONG F, QI W, *et al*. Effects of 12 weeks of head-down strong abdominal breathing on motor and cognitive performance during dual-tasking in patients with chronic obstructive pulmonary disease: Study protocol for a randomised controlled trial[J]. *Heliyon*, 2024, 10(14): 1-15.

[17] 徐小燕, 毛燕君. 预康复在肺癌合并慢性阻塞性肺疾病手术患者中应用效果的系统评价 [J]. *军事护理*, 2024, 41 (1) : 27-30, 107.  
XU Xiaoyan, MAO Yanjun. Effect of prehabilitation on lung cancer patients with COPD: a systematic review[J]. *Military Nursing*, 2024, 41(1): 27-30, 107.

[18] 王亚峰, 夏晓黎, 马艳萍, 等. 体外膈肌起搏器联合呼吸训练器对稳定期 COPD 合并 II 型呼吸衰竭患者的临床疗效观察 [J]. *天津医药*, 2022, 50 (5) : 498-502.  
WANG Yafeng, XIA Xiaoli, MA Yanping, *et al*. Clinical observation of external diaphragm pacemaker combined with breathing exerciser in patients with stable COPD and type II respiratory failure[J]. *Tianjin Medical Journal*, 2022, 50(5): 498-502.