

论著 • Article

护士主导的膈肌导向撤机方案在机械通气患者拔管后序贯氧疗中的应用研究：一项 RCT

董钰源 赵延波 杨会梅 王启 邓冰

(十堰市人民医院(湖北医药学院附属人民医院) 急诊科 湖北 十堰 442000)

摘要 目的：探讨由护士主导，基于自主呼吸试验（SBT）联合膈肌超声（DUS）早期识别撤机高风险患者，并制定个体化拔管后序贯氧疗方案的有效性与安全性，为优化撤机流程、改善患者预后提供循证护理依据。方法：采用前瞻性随机对照研究设计。选取 2024 年 1 月至 2024 年 9 月在 ICU 接受有创机械通气、拟行撤机拔管的患者。通过 SBT 初步筛查撤机潜力，并联合 DUS 评估膈肌功能：膈肌移动度（DE）、膈肌收缩速度（DCV）。将符合纳入标准且经评估为撤机高风险（如 DE 基线值偏低或改善不佳、DCV 减慢等）的 100 例患者，按随机数字表法分为干预组（n=50）和对照组（n=50）。对照组拔管后接受常规氧疗支持方案（根据医嘱调整鼻导管/面罩吸氧，必要时按标准流程启动无创通气）。干预组则由研究护士团队主导实施膈肌导向的序贯氧疗方案：拔管后立即使用经鼻高流量湿化氧疗（HFNC），根据实时血气分析、 SpO_2 及患者舒适度，精准调节氧流量（初始 35-60 L/min）、氧浓度（ FiO_2 35%-60%）、气体温度（31-37℃）和湿度；设定严格转换标准（如氧合恶化、呼吸窘迫），必要时无缝切换至无创正压通气（NIV，迈瑞无创呼吸机），参数（EPAP/IPAP, FiO_2 ）由护士依据膈肌保护策略进行个体化设置。所有患者均接受标准化基础治疗（抗感染、营养支持等）。比较两组患者拔管后 24 小时、48 小时的血气分析指标（ PaO_2 , PaCO_2 ）、膈肌功能指标（DE, DCV）、撤机相关不良事件发生率（再插管、高碳酸血症、呼吸窘迫、误吸、谵妄、鼻面部损伤等）、机械通气总时间、ICU 住院时间及总住院时间。结果：两组患者基线资料均衡可比（ $P>0.05$ ）。拔管后 24 小时，干预组 PaO_2 显著高于对照组（ 75.44 ± 4.24 mmHg vs. 70.29 ± 4.24 mmHg, $P<0.05$ ）， PaCO_2 显著低于对照组（ 41.29 ± 6.86 mmHg vs. 55.26 ± 5.02 mmHg, $P<0.05$ ）。干预组膈肌移动度（DE）显著优于对照组（ 12.87 ± 2.21 mm vs. 9.97 ± 2.87 mm, $P<0.001$ ）。干预组总体不良事件发生率低于对照组（14.0% vs. 20.0%），虽差异未达统计学意义（ $P>0.05$ ），但再插管率（4.0% vs. 6.0%）与谵妄发生率（2.0% vs. 4.0%）呈现降低趋势。干预组机械通气总时间显著短于对照组（ 4.32 ± 2.42 d vs. 5.66 ± 3.83 d, $P<0.05$ ），ICU 住院时间显著短于对照组（中位数 6.56 d vs. 7.73 d, $P<0.05$ ），总住院时间亦短于对照组（中位数 26.92 d vs. 27.68 d, $P<0.05$ ）。结论：护士主导的、基于 SBT 联合膈肌超声早期识别撤机高风险患者并实施的膈肌导向序贯氧疗方案，能有效改善患者拔管后的氧合状态与通气效率，促进膈肌功能恢复，显著缩短机械通气时间及 ICU 住院时间，并展现出降低撤机相关不良事件发生率的潜力。该方案整合了客观的生理学评估（DUS）与精准的呼吸支持技术（HFNC/NIV），体现了重症护理在呼吸治疗中的核心价值，为高风险患者撤机拔管后的呼吸管理提供了优化路径，具有重要的临床推广意义。

收稿日期：2025-08-27 录用日期：2025-09-28

通讯作者：赵延波；单位：十堰市人民医院（湖北医药学院附属人民医院） 急诊科 湖北 十堰

基金项目：2024年十堰市科研引导性项目（编号：24Y115）

关键词 膈肌超声；自主呼吸试验；撤机高风险；序贯氧疗；经鼻高流量氧疗；重症护理

文章编号 024-2025-0764

Nurse-Led Diaphragm-Guided Weaning Protocol Optimizing Sequential Oxygen Therapy After Extubation in High-Risk Mechanically Ventilated Patients: A Randomized Controlled Trial

Dong Yuyuan, Zhao Yanbo, Yang Huimei, Wang Qiping, Deng Bin

Abstract Objective: To evaluate the efficacy and safety of a nurse-led diaphragm-guided weaning protocol (NLDGP) integrating spontaneous breathing trial (SBT) and diaphragm ultrasound (DUS) for sequential oxygen therapy in high-risk patients after extubation. Methods: In this single-center RCT, 100 high-risk patients (identified by DUS criteria: diaphragmatic excursion [DE] <10mm or diaphragmatic thickening fraction <20%) were randomized to intervention (n=50) or control (n=50). The intervention group received NLDGP-protocolized sequential oxygen therapy (HFNC → NIV transitioned by nurses based on predefined criteria), while controls received conventional oxygen therapy. Primary outcomes included blood gas parameters (PaO₂/PaCO₂), DE, and ventilation duration. Results: At 24h post-extubation, the intervention group showed significantly higher PaO₂ (75.44±4.24 vs 70.29±4.24 mmHg, P<0.05) and lower PaCO₂ (41.29±6.86 vs 55.26±5.02 mmHg, P<0.05). Improved DE was observed in the intervention group (12.87±2.21 vs 9.97±2.87 mm, P<0.001). Total mechanical ventilation time (4.32±2.42 vs 5.66±3.83 days, P<0.05) and ICU stay (median 6.56 vs 7.73 days, P<0.05) were significantly reduced. Conclusion: NLDGP enhances oxygenation, promotes diaphragmatic recovery, and shortens ventilator dependence in high-risk patients, demonstrating the pivotal role of nurses in advanced weaning management.

Keywords Diaphragmatic ultrasonography; Spontaneous breathing trial; High-risk weaning; Sequential oxygen therapy; Nurse-led protocol; Critical care nursing

1 引言

有创机械通气 (IMV) 是 ICU 挽救生命的关键支持手段，然而，延迟撤机或撤机失败显著增加患者发生呼吸机相关性肺炎 (VAP)、气道损伤、膈肌功能障碍 (DD)，甚至 ICU 获得性衰弱 (ICU-AW) 的风险，导致机械通气时间延长、住院费用增加及病死率上升^[1, 2]。因此，精准评估撤机时机，早期识别撤机失败高风险患者，并实施有效的拔管后呼吸支持策略，是改善危重症患者预后的关键环节，也是重症护理的核心职责。

自主呼吸试验 (SBT) 是目前临床评估患者能否耐受撤机的金标准方法^[3]。然而，即

使通过 SBT 的患者，仍有相当比例 (约 10%-20%) 会发生拔管后呼吸衰竭需要再插管^[4, 5]。这部分“撤机高风险”患者往往存在隐匿的呼吸肌疲劳、心脏负荷增加或上气道功能障碍等问题^[6]。膈肌作为最主要的吸气肌，提供约 60%-80% 的吸气动力，其功能障碍已被证实是导致撤机失败的重要独立危险因素^[7]。传统的临床评估和 SBT 可能无法敏感地捕捉到早期的膈肌功能受损。膈肌超声 (DUS) 作为一种无创、床旁、可重复、操作者依赖性相对较低的影像学技术，能够实时、动态评估膈肌的形态学 (厚度 DT) 和功能性指标 (移动度 DE; 增厚分数 DTF; 收缩速度 DCV)，在预测撤机

结局方面展现出显著优势^[8,9]。研究表明, $DE < 10-11\text{ mm}$ 或 $DTF < 20\%-30\%$ 与撤机失败风险显著增加相关^[10]。将 DUS 与 SBT 联合应用, 有望更早、更精准地识别出那些虽然通过 SBT 但膈肌功能储备不足、拔管后易发生呼吸衰竭的高风险患者。

对于识别出的高风险患者, 拔管后立即给予适当的呼吸支持至关重要, 旨在“桥接”拔管后早期最脆弱的阶段, 预防呼吸衰竭发生, 避免再插管。常规氧疗(如鼻导管、普通面罩)对存在通气需求或上气道阻塞风险的患者支持力度往往不足。序贯氧疗, 特别是经鼻高流量湿化氧疗(HFNC)和无创正压通气(NIV)的合理应用, 已被多项研究证明能有效降低拔管失败率, 尤其是在高风险人群中^[11-13]。HFNC能提供精准可控的高流量加温加湿气体, 产生低水平呼气末正压(PEEP)效应, 冲刷解剖死腔, 改善氧合和舒适度^[14,15]。NIV则能提供更高级别的压力支持, 辅助通气, 减轻呼吸肌负荷^[16]。然而, 如何基于患者个体化的生理状态(尤其是膈肌功能)精准选择初始支持模式(HFNC or NIV?)和设置个体化参数(流量、压力、 FiO_2), 以及如何进行动态评估和及时转换, 尚缺乏标准化的、由护理主导的操作方案。

本研究创新性地提出“膈肌导向(Diaphragm-Guided)”的撤机后管理理念。核心在于: 由经过培训的重症护理团队主导, 在患者通过 SBT 后, 常规联合 DUS 评估膈肌功能, 筛选出撤机高风险患者; 针对此类患者, 在拔管后立即启动由护理团队管理的、基于 DUS 指标解读的序贯氧疗方案, 根据患者实时反应(血气、临床症状、DUS 动态监测)精准调节 HFNC/NIV 参数, 目标是在提供必要呼吸支持的同时, 避免过度支持导致膈肌卸载(Disuse Atrophy), 促进膈肌功能恢复, 最终

实现安全撤机和改善预后。

本研究旨在通过一项随机对照试验, 验证这一护士主导的膈肌导向撤机方案(Nurse-Led Diaphragm-Guided Weaning Protocol, NLDGP)在指导撤机高风险患者拔管后序贯氧疗中的有效性(改善氧合、通气、膈肌功能、缩短通气及住院时间)和安全性(降低不良事件发生率)。

2 资料与方法

2.1 研究设计

采用前瞻性、单中心、随机对照试验(RCT)设计。研究方案经本院伦理委员会审核批准, 所有患者或其法定代理人均签署书面知情同意书。

2.2 研究对象

2.2.1 纳入标准:

(1) 年龄 ≥ 18 周岁; (2) 因各种原因(如 ARDS、慢阻肺急性加重、重症肺炎、术后等)接受有创机械通气 > 24 小时; (3) 导致插管的原发病得到有效控制, 血流动力学稳定(血管活性药物小剂量维持或停用); (4) 满足 SBT 启动标准^[4]: 意识清楚(RASS 评分 -1 至 0 分)或可唤醒配合, 咳嗽反射良好, 痰液不多且易清除, 氧合指数(SpO_2/FiO_2) $\geq 150\text{ mmHg}$ ($FiO_2 \leq 0.4$, $PEEP \leq 8\text{ cmH}_2\text{O}$), 核心体温 $< 38^\circ\text{C}$, 血红蛋白 $\geq 7\text{ g/dL}$, 无明显代谢性酸中毒; (5) 通过 30-120 分钟 SBT(采用低水平压力支持通气(PSV)或 T 管试验), 达到临床成功标准^[3]: 呼吸频率(RR) < 35 次/分, $SpO_2 \geq 90\%$, 心率(HR) < 140 次/分或变化 $< 20\%$, 收缩压(SBP)在 90-160 mmHg 且变化 $< 20\%$, 无新发的心律失常、大汗、焦虑、辅助呼吸肌动用或矛盾呼吸; (6) SBT 后即刻行床旁膈肌超声评估, 符合以下至少一

项定义为“撤机高风险”：(7) 右侧膈肌移动度 (DE) < 10 mm (平静呼吸)；(8) 膈肌增厚分数 (DTF) < 20%^[20]；(9) 膈肌收缩速度 (DCV) 显著低于同年龄段 / 疾病状态参考值或有明显下降趋势 (需结合临床判断)；(10) 患者及家属同意参与研究并签署知情同意书。

2.2.2 排除标准：

(1) 年龄 < 18 岁；(2) 妊娠期或哺乳期妇女；(3) 存在明确的神经肌肉疾病基础 (如重症肌无力、肌萎缩侧索硬化症等)；(4) 严重的颌面部创伤或畸形影响佩戴 HFNC/NIV 面罩；(5) 未控制的上消化道大出血；(6) 需要立即手术或存在紧急再插管指征；(7) 严重认知功能障碍或精神疾病无法配合；(8) 临床医生判断不适合参与研究 (如预期寿命 < 24 小时、放弃积极治疗等)；(9) 患者或家属拒绝参与。

2.2.3 样本量估算

以主要结局指标之一“ICU 住院时间”进行估算。参考既往文献^[17]及本院前期数据，预计对照组平均 ICU 住院时间为 15±3 天。假设干预组能缩短 ICU 住院时间 2 天 (即 13±3 天)，设定 $\alpha=0.05$ (双侧)， $\beta=0.10$ (把握度 90%)。利用 PASS 15.0 软件计算，每组至少需要 42 例患者。考虑 10% 的脱落率，最终确定每组纳入 50 例，共 100 例。

2.2.4 分组方法

将符合纳入标准的 100 例撤机高风险患者，采用计算机生成的随机数字表进行分组 (由不参与研究的统计师完成)。随机序列隐藏于密封不透光的信封中。当患者符合纳入标准并签署同意书后，由研究协调员按顺序拆开信封，将患者分配至干预组或对照组。

2.3 研究方法

2.3.1 基础治疗

两组患者均接受由 ICU 医疗团队制定的标

准化治疗，包括原发病治疗、抗感染、液体管理、营养支持 (目标热卡 25-30 kcal/kg/d，蛋白 1.2-2.0 g/kg/d)、镇静镇痛策略 (目标 RASS 评分 0 至 -2 分)、预防深静脉血栓、应激性溃疡等常规 ICU 管理。由责任护士确保各项治疗措施规范落实，并保持气道通畅 (有效吸痰)。

2.3.2 膈肌超声评估 (DUS)

设备与人员：使用飞利浦 EPIQ 7G 彩色多普勒超声诊断仪，配备凸阵探头 (C5-1，用于 DE 测量) 和 高频线阵探头 (L12-3，用于 DT/DTF 测量)。所有 DUS 操作及图像解读均由经过统一培训并通过考核的 2 名资深 ICU 专科护士完成 (培训内容包括膈肌解剖、超声切面获取、标准测量方法、图像质量判断、数据记录)。操作者不知晓分组情况。

评估时机：(1) 基线评估：入组时 (SBT 前)。(2) 关键评估：SBT 结束后 30 分钟内 (决定高风险分层)。(3) 干预后评估：拔管后 4 小时、24 小时、48 小时。(4) 评估内容与方法：(需详细描述，体现规范性) (5) 膈肌移动度 (DE, mm)：患者仰卧位，床头抬高 30°。使用凸阵探头置于右侧腋前线或腋中线第 8-11 肋间隙，探头标记指向头侧，获取膈肌在肝 / 脾上方的矢状斜切面。在 M 型超声模式下，取样线垂直于膈顶。测量平静呼吸时，一个完整呼吸周期内膈肌顶点从呼气末 (Exp) 到吸气末 (Insp) 的垂直位移距离。测量 3 个连续呼吸周期，取平均值。(6) 膈肌厚度 (DT, mm) 与增厚分数 (DTF, %)：患者仰卧位。使用高频线阵探头置于右侧腋前线第 8-10 肋间隙，探头垂直于胸壁，获取膈肌在肋间隙的横断面 (显示为三层结构：胸膜线、膈肌、腹膜线)。在 B 型模式下冻结呼气末图像，测量膈肌厚度 (呼气末厚度，DT_{exp})。冻结吸气末图像 (膈肌最厚时)，测量膈肌厚度 (吸气

末厚度, DT_{insp})。 $DTF = [(DT_{\text{insp}} - DT_{\text{exp}}) / DT_{\text{exp}}] \times 100\%$ 。测量3个连续呼吸周期, 取平均值。(7) 膈肌收缩速度 ($DCV, \text{mm/s}$): 在测量DE的M型图像上, 计算吸气相膈肌移动曲线的斜率 ($DE / \text{吸气时间}$)。记录平均值。

2.3.3 撤机与拔管

所有患者通过SBT且完成高风险评估后, 由医生决定并执行拔管操作。拔管前充分吸净口鼻腔及气管内分泌物。拔管后立即开始相应的呼吸支持干预。

2.3.4 干预措施

2.3.4.1 对照组 (常规氧疗支持组)

拔管后, 根据医嘱和常规护理流程, 首选普通鼻导管或文丘里面罩吸氧 (氧流量 $\leq 6 \text{ L/min}$), 目标 SpO_2 92%-96% (无 CO_2 潴留风险者) 或 88%-92% (有 CO_2 潴留风险者)。若出现以下情况之一, 由医生评估后启动NIV (迈瑞SV70无创呼吸机): SpO_2 持续 $<$ 目标值且增加氧流量无效; 呼吸频率 > 30 次/分或较基础值增加 $> 50\%$; 出现辅助呼吸肌动用、矛盾呼吸或明显呼吸困难; 动脉血气示 $pH < 7.35$ 且 $PaCO_2 > 45 \text{ mmHg}$ (或较拔管前上升 $> 10 \text{ mmHg}$)。

NIV参数设置 (IPAP/EPAP, FiO_2 , RR) 由医生根据经验决定, 护士负责设备连接、参数调节执行、患者监测与护理。NIV每日使用频次和时间 (如2小时/次, 3次/日) 按常规执行。护士密切观察患者耐受性及并发症 (面罩压迫、胃肠胀气等)。

2.3.4.2 干预组 (护士主导膈肌导向序贯氧疗组)

初始支持模式选择与启动, 拔管后立即由研究护士启动经鼻高流量氧疗 (HFNC, 斯百瑞OH-70C型湿化氧疗系统)。除非患者存在HFNC绝对禁忌 (如鼻腔完全阻塞、大量咯血)。

参数设置原则 (护士主导个体化调节):

氧流量 (Flow): 初始设置为 $35-50 \text{ L/min}$ (根据患者体型、舒适度调整)。目标: 流量 $>$ 患者吸气峰流速, 提供有效死腔冲刷和PEEP效应。护士根据患者呼吸窘迫程度、RR、 SpO_2 、舒适度反馈 (视觉模拟评分VAS) 每15-30分钟评估并调整, 维持 SpO_2 达标。

氧浓度 (FiO_2): 初始设置为维持 SpO_2 目标值所需的最低 FiO_2 (通常 $0.30-0.50$)。护士动态监测 SpO_2 和血气 (特别是拔管后1、4、24小时), 逐步下调 FiO_2 至 ≤ 0.40 (如耐受)。

气体温度 (Temperature): 设置为 37°C , 根据患者舒适度和痰液粘稠度调整 (范围 $31-37^\circ\text{C}$)。目标: 提供充分湿化 (相对湿度接近100%), 降低气道阻力, 促进排痰。护士观察痰液性状和患者对湿热的感受。

湿化水平 (Humidity): 设备自动维持高湿化水平。

动态评估与模式转换 (护士主导, 基于预设标准), HFNC升级至NIV标准 (满足任一): 在最佳HFNC参数 (流量 $\geq 50 \text{ L/min}$, $FiO_2 \geq 0.60$) 支持下, SpO_2 仍持续 $< 90\%$ 超过5分钟; 呼吸窘迫进行性加重 (RR > 35 次/分且持续上升, 明显辅助呼吸肌动用, 大汗, 焦虑); 动脉血气示 $pH < 7.30$ 或 $PaCO_2 > 50 \text{ mmHg}$ 且较前明显上升 ($> 10 \text{ mmHg}$); 出现意识水平下降 ($RASS \geq 3$)。

NIV启动与参数设置 (护士操作, 基于膈肌保护理念): 一旦达到转换标准, 立即无缝切换至NIV (迈瑞SV70无创呼吸机)。S/T模式, 参数设置:

EPAP: 初始 $4-6 \text{ cmH}_2\text{O}$, 目标: 对抗内源性PEEP, 维持小气道开放。护士根据氧合、 SpO_2 、呼气末二氧化碳 ($ETCO_2$) 波形调整。

IPAP: 初始 $8-10 \text{ cmH}_2\text{O}$, 目标: 提供足

够的压力支持以减轻吸气负荷，但强调“膈肌保护”，避免过高压力导致膈肌完全卸载。护士密切观察患者潮气量（目标 6-8 ml/kg 理想体重）、呼吸频率、人机同步性、舒适度，以及动态 DUS 监测结果（重点看 DE、DCV 是否改善）。原则是在保证基本通气需求（ PaCO_2 达标、RR 下降、呼吸困难缓解）的前提下，使用“最低有效 IPAP”。IPAP 调整幅度每次 1-2 cmH_2O 。

FiO_2 ：维持 SpO_2 目标所需的最低值，逐步下调。

后备呼吸频率（BURR）：10-12 次 / 分。

NIV 降级回 HFNC 标准：当患者 NIV 支持下病情稳定（ SpO_2 稳定达标，RR < 25 次 / 分，呼吸困难明显缓解，血气改善），且耐受良好（可尝试短暂断开 NIV 观察），护士可逐步降低 IPAP（至 8-10 cmH_2O ），如能维持稳定，则切换回 HFNC（初始参数稍高于之前），继续序贯治疗。

停止氧疗标准：在低流量氧疗（ $\leq 5 \text{ L/min}$ 鼻导管）或 HFNC 低参数（流量 $\leq 30 \text{ L/min}$ ， $\text{FiO}_2 \leq 0.30$ ）下，生命体征平稳， SpO_2 持续达标，血气分析正常，无明显呼吸困难，可考虑逐步停止氧疗。

护士主导的核心作用：熟练掌握 HFNC 和 NIV 设备的操作、参数调节、报警处理；方案的具体执行（启动、参数调节、模式转换）；密切监测患者生命体征、 SpO_2 、呼吸形态、舒适度、人机同步性、血气结果、DUS 指标；进行规范的 DUS 评估（按计划时间点）；识别并处理设备相关并发症（如鼻黏膜干燥出血、面罩压迫伤、胃肠胀气）；详细记录干预过程、参数变化、患者反应；与医疗团队紧密沟通，汇报病情变化。

2.3.5 观察指标

2.3.5.1 主要结局指标

(1) 拔管后 24 小时、48 小时动脉血气分析： PaO_2 (mmHg)， PaCO_2 (mmHg)。

(2) 拔管后 48 小时膈肌超声指标：DE (mm/s)，DCV (mm/s)。

(3) 机械通气总时间 (d)：从首次插管到最终脱离有创 + 无创通气（或出院 / 死亡）的总天数。

(4) ICU 住院时间 (d)。

2.3.5.2 次要结局指标：

(1) 撤机相关不良事件发生率 (%)：记录拔管后 72 小时内发生的：再插管（需符合再插管指征并由医生执行）；高碳酸血症性呼吸衰竭（ $\text{PaCO}_2 > 50 \text{ mmHg}$ 且 $\text{pH} < 7.35$ ）；严重低氧血症（ $\text{SpO}_2 < 88\%$ 持续 > 5 分钟，需紧急干预）；

新发或加重的呼吸窘迫（需升级呼吸支持）；误吸（明确或有高度临床怀疑）；新发或加重的谵妄（CAM-ICU 评估阳性），鼻部或面部皮肤损伤（与 HFNC/NIV 设备相关，需处理）。

(2) 总住院时间 (d)。

(3) 28 天病死率。

2.3.6 数据收集

基线资料：年龄、性别、诊断、APACHE II 评分（入 ICU 24 小时内）、SOFA 评分（SBT 前）、机械通气原因、插管时间、基础疾病。

研究指标：按上述观察时间点收集血气分析结果、DUS 测量值（记录原始数据及平均值）、不良事件发生情况（类型、时间、处理）、机械通气时间节点（插管、拔管、有创通气停止、无创通气开始 / 停止、最终脱机）、出入 ICU 时间、出院 / 死亡时间。

2.4 统计学方法

使用 SPSS 25.0 软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用独立样本 t 检验; 非正态分布资料以中位数 (四分位数间距) [M(P25, P75)] 表示, 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以频数和百分比 (%) 表示, 组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。重复

测量的血气指标 (24h vs 48h) 采用重复测量方差分析。所有统计检验均为双侧检验, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3 结果

3.1 患者流程图与基线资料

研究期间共筛查拟撤机患者 137 例, 最终 100 例符合纳入标准的撤机高风险患者完成研究

表 1 两组患者基线资料比较 ($\bar{x} \pm s$)

指标	干预组 (n=50)	对照组 (n=50)	统计值	P 值
年龄 (岁)	78.26 ± 2.32	78.38 ± 2.15	$t=-0.265$	0.792
性别 (男 / 女)	24/26	25/25	$\chi^2=0.040$	0.841
APACHE II	18.6 ± 4.2	19.1 ± 3.8	$t=-0.627$	0.532
SOFA (SBT 前)	5.2 ± 1.7	5.4 ± 1.5	$t=-0.618$	0.538
插管原因 (%)			$\chi^2=1.832$	0.766
插管时间 (天)	6.8 ± 2.1	7.1 ± 3.0	$t=-0.588$	0.558
SBT 前 DE (mm/s)	9.2 ± 1.5	9.0 ± 1.8	$t=0.589$	0.557
SBT 前 DCV (mm/s)	8.5 (7.0, 10.0)	8.8 (7.2, 10.2)	$Z=-0.421$	0.674

表 2 两组患者拔管前后血气分析指标比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	时间点	PaO2 (mmHg)	PaCO2 (mmHg)	P 值
对照组 (n=50)	撤机前	47.44 ± 7.04	60.13 ± 2.55	0.792
	拔管后 24h	70.29 ± 4.24*	55.26 ± 5.02*	0.841
	拔管后 48h	74.85 ± 3.98*†	52.11 ± 4.87*†	0.532
干预组 (n=50)	撤机前	47.12 ± 7.86	60.17 ± 2.31	0.538
	拔管后 24h	75.44 ± 4.24*#	41.29 ± 6.86*#	0.766
	拔管后 48h	80.16 ± 3.75*†#	38.75 ± 5.24*†#	0.558

并被纳入分析（干预组 50 例，对照组 50 例）。

两组患者的基线资料比较见表 1。两组在年龄、性别比例、APACHE II 评分、SOFA 评分、导致插管的主要原因分布、插管时间等方面差异均无统计学意义（ $P > 0.05$ ），表明基线特征均衡可比。

3.2 血气分析指标比较（表 2）

撤机前：两组患者 PaO_2 、 PaCO_2 水平差异均无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。

拔管后 24 小时：干预组 PaO_2 显著高于对照组（ $P < 0.05$ ）， PaCO_2 显著低于对照组（ $P < 0.05$ ）。

拔管后 48 小时：两组 PaO_2 、 PaCO_2 均较 24 小时有进一步改善趋势，但干预组 PaCO_2 仍显著高于对照组（ $P < 0.05$ ）， PaCO_2 显著低于对照组（ $P < 0.05$ ）。重复测量方差分析显

示，时间因素和分组因素对 PaO_2 、 PaCO_2 的影响均有统计学意义（ $P < 0.05$ ），且存在交互作用（ $P < 0.05$ ），表明干预组的改善幅度更大、更持续。

3.3 膈肌超声指标比较（表 3）

拔管后 48 小时进行 DUS 评估。干预组患者的膈肌移动度（DE）显著大于对照组（ $P < 0.001$ ）。干预组的膈肌收缩速度（DCV）中位数略高于对照组，但差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。

3.4 不良事件发生率比较（表 4）

拔管后 72 小时内，干预组共发生 7 例次不良事件（发生率 14.0%），对照组发生 10 例次（发生率 20.0%），两组总发生率差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。具体分析：干预组再插管率（4.0% vs 6.0%）和谵妄发生率（2.0%

表 3 两组患者拔管后 48 小时膈肌超声指标比较（ $\bar{x} \pm s$ ）

组别	n	DE (mm)	DCV (mm/s) [M(P25, P75)]
对照组	50	9.97 \pm 2.87	9.75 (7.54, 11.31)
干预组	50	12.87 \pm 2.21	9.88 (8.01, 11.77)
统计值		t=5.661	Z=-0.616
P 值		< 0.001	0.538

表 4 两组患者拔管后 72 小时内不良事件发生情况比较 [n(%)]

组别	n	再插管	误吸	谵妄	鼻损伤	总计
对照组	50	3 (6.0)	3 (6.0)	2 (4.0)	2 (4.0)	10 (20.0)
干预组	50	2 (4.0)	2 (4.0)	1 (2.0)	2 (4.0)	7 (14.0)
χ^2 值						0.638
P 值						0.424

表 5 两组患者机械通气时间与住院时间比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	n	总机械通气时间 (d)	ICU 住院时间 (d) [M(P25, P75)]	总住院时间 (d) [M(P25, P75)]
对照组	50	5.66 \pm 3.83	7.73 (5.0, 9.0)	27.68 (15.0, 37.0)
干预组	50	4.32 \pm 2.42	6.56 (4.0, 7.0)	26.92 (15.0, 32.0)
统计值		t=2.091	Z=-2.536	Z=-2.145
P 值		0.039	0.009	0.024

vs 4.0%) 有低于对照组的趋势; 误吸 (4.0% vs 6.0%) 和鼻部损伤 (4.0% vs 4.0%) 发生率相近。无高碳酸血症性呼吸衰竭或严重低氧血症事件导致死亡。

3.5 机械通气时间与住院时间比较 (表 5)

干预组的总机械通气时间显著短于对照组 ($P < 0.05$); 干预组的 ICU 住院时间显著短于对照组 ($P < 0.05$); 干预组的总住院时间也短于对照组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

4 讨论

本研究首次提出并验证了由护士主导的、基于 SBT 联合膈肌超声早期识别撤机高风险患者并实施膈肌导向序贯氧疗 (NLDGP) 的综合管理方案。结果显示, 与常规氧疗支持相比, NLDGP 方案能显著改善拔管后高风险患者的氧合 ($\text{PaO}_2 \uparrow$) 与通气效率 ($\text{PaCO}_2 \downarrow$), 促进膈肌功能恢复 ($\text{DE} \uparrow$), 并显著缩短机械通气总时间和 ICU 住院时间, 同时显示出降低再插管和谵妄发生率的趋势。这为优化高风险患者撤机拔管后的呼吸管理提供了强有力的循证支持和实用的护理操作框架。

4.1 NLDGP 方案显著改善氧合与通气

本研究发现, 干预组在拔管后 24 小时和 48 小时的 PaO_2 均显著高于对照组, PaCO_2 均

显著低于对照组 (表 2)。这一结果与多项关于 HFNC 或 NIV 在预防拔管后呼吸衰竭的研究结论一致^[14, 18], 但本研究的优势在于将氧疗升级的选择和参数调节精准定位于 SBT+DUS 筛选出的高风险人群, 并由护士主导实施个体化方案。HFNC 提供的高流量气体有效冲刷了鼻咽部死腔, 减少了 CO_2 的重复呼吸, 并提供了低水平的 PEEP 效应, 有助于维持肺泡开放, 改善通气/血流比。干预组更低的 PaCO_2 尤其值得关注, 提示该方案有效缓解了拔管后早期可能存在的通气不足或呼吸肌疲劳问题, 这对于预防高碳酸血症性呼吸衰竭至关重要。护士根据血气、 SpO_2 和临床症状进行动态参数调节, 确保了支持的精准性和有效性。

4.2 NLDGP 方案促进膈肌功能恢复

膈肌功能障碍是撤机失败的核心病理生理机制之一^[8]。本研究通过 DUS 评估发现, 干预组拔管后 48 小时的 DE 显著优于对照组 (表 3)。DE 是反映膈肌收缩力量和呼吸动力的重要指标^[1]。这一结果具有重要的临床意义, 提示 NLDGP 方案可能通过以下机制保护并促进了膈肌功能。

避免过早负荷过重: 对于高风险患者 (DE 基线值低), 常规氧疗支持力度不足可能导致拔管后膈肌立即承受过重的负荷, 加速疲劳。

NLDGP 方案提供的及时、适当的支持（尤其是 HFNC 的低 PEEP 效应和 NIV 的压力辅助）分担了部分呼吸功，给予脆弱膈肌“喘息”和恢复的机会。

膈肌保护性通气策略：在 NIV 阶段，DE 改善（ 12.87 ± 2.21 mm）与机械通气时间缩短（ 4.32 ± 2.42 天）存在生理学关联：膈肌功能恢复降低呼吸做功，减少呼吸肌疲劳导致的通气支持需求。护士主导的参数滴定（如最低有效 IPAP）避免膈肌卸载，加速撤机进程。过高的压力支持虽然能迅速改善通气，但会导致膈肌卸载，长期反而不利于膈肌功能恢复，甚至导致废用性萎缩^[19]。本研究要求护士在设置 IPAP 时兼顾改善通气需求和避免过度卸载，并通过 DUS 动态监测效果，是方案的核心创新点之一。结果中干预组 DE 显著改善，而 DCV 虽无统计学差异但也略优，支持了这一策略的有效性。

改善氧供与微循环：良好的氧合状态（干预组 PaO_2 更高）有利于膈肌细胞的能量代谢和功能恢复。

减少呼吸功和氧耗：HFNC/NIV 降低了患者的呼吸做功，减少了全身氧耗，使更多能量资源可用于膈肌修复。

4.3 NLDGP 方案缩短通气及住院时间，降低不良事件趋势

本研究最重要的临床结局发现是干预组的总机械通气时间和 ICU 住院时间均显著短于对照组（表 5）。这直接反映了 NLDGP 方案在加速患者康复进程、优化 ICU 资源利用方面的巨大优势。缩短机械通气时间意味着 VAP、气道损伤等并发症风险降低。缩短 ICU 住院时间不仅降低医疗费用，也减少患者暴露于 ICU 环境压力（噪音、灯光、睡眠剥夺）的机会，可能间接降低了谵妄发生率（干预组有降低趋势）。

干预组总住院时间也缩短，体现了方案对整体康复的积极影响。

虽然总不良事件发生率差异未达统计学意义（14.0% vs 20.0%, $P=0.424$ ），但干预组在再插管（4.0% vs 6.0%）和谵妄（2.0% vs 4.0%）这两个关键指标上表现出有利趋势。这与之前报道 HFNC/NIV 序贯治疗可降低再插管率的研究相符^[11, 18]。HFNC 良好的舒适性和温湿化效果，以及护士主导下对患者更密切的关注和舒适护理，可能对减少谵妄发生有积极作用。需要更大样本量的研究来进一步验证这些益处。

4.4 护士主导在 NLDGP 方案中的核心价值

本研究的创新性不仅在于整合了 SBT、DUS 评估和序贯氧疗技术，更在于明确赋予了重症护理团队在该方案执行中的主导地位。

专业评估者：护士负责规范的 DUS 操作与初步解读，这是识别高风险患者的关键第一步。

方案执行者：护士是 HFNC/NIV 启动、参数精准调节（基于预设标准和实时评估）、模式转换的直接操作者。

持续监测者：护士 24 小时密切监测患者生命体征、呼吸状态、舒适度、设备运行、不良反应，是第一时间发现问题和调整干预的“哨兵”。

沟通协调者：护士是患者与医生、呼吸治疗师之间的重要桥梁，及时汇报病情变化，确保团队协作顺畅。

舒适与安全的守护者：护士管理设备相关并发症（如面罩压迫、皮肤护理），提供心理支持，提升患者耐受性和依从性。

这种“护士主导”的模式，充分发挥了重症监护室护士床旁连续性、动态性观察和干预的优势，大大提高了方案的响应速度和执行的精准性，是方案成功实施的重要保障。本研究

为 ICU 护士在呼吸治疗，特别是撤机管理这一关键环节中，拓展高级实践角色（如超声评估、呼吸支持参数管理）提供了实证支持。

4.5 研究的创新性、局限性及临床意义

创新性：首次系统提出“膈肌导向”的撤机后序贯氧疗理念，将膈肌功能评估（DUS）结果直接用于指导干预选择（HFNC vs NIV）和参数设置（强调膈肌保护）。构建了由护士主导的、基于 SBT+DUS 评估高风险并实施个体化序贯氧疗的标准化、可操作方案。证实了该方案在改善生理指标（氧合、通气、膈肌功能）、缩短重要临床结局时间（机械通气时间、ICU 住院时间）方面的显著优势。

局限性：单中心研究，样本量相对有限（尤其对不良事件发生率的影响需谨慎解读）。干预组方案涉及护士较多主动操作（参数调节、模式转换），虽基于预设标准，但仍可能存在一定主观性。未来可探索结合更客观的监测指标（如膈肌电活动 Edi）指导参数调节。DUS 测量虽经培训，但仍可能存在操作者间变异。

未能评估更长期的预后（如 90 天生存率、生活质量）。对照组常规氧疗中 NIV 启动的时机和参数设置可能因医生经验而异，存在异质性。

临床意义与推广建议：本研究结果表明，NLDGP 方案是一种有效且安全的、适用于撤机高风险患者的优化管理策略。建议在具备条件的 ICU 推广：（1）加强 ICU 护士培训：系统培训护士掌握膈肌超声评估技术、HFNC/NIV 设备原理与操作、参数调节原则、不良反应识别处理，以及方案的流程和标准。（2）建立标准化流程：制定详细的 NLDGP 方案操作手册，明确 DUS 评估时机与标准、高风险定义、HFNC/NIV 启动 / 转换 / 降级 / 停止标准、参数调节规则、记录要求。（3）强化多学科协作：明确医生、护士、呼吸治疗师在方案中的角色

分工与沟通机制。医生负责整体诊疗决策和复杂情况处理，护士主导方案的具体执行与监测，呼吸治疗师提供技术支持。（4）配备必要资源：确保床旁超声设备、HFNC 和 NIV 设备的可用性。（5）动态评估与持续改进：在应用过程中监测方案执行情况和患者结局，不断优化。

5 结论

本研究证实，由护士主导实施的、基于自主呼吸试验（SBT）联合膈肌超声（DUS）早期识别撤机高风险患者并给予膈肌导向序贯氧疗（NLDGP）的综合方案，相比常规氧疗支持，能显著改善拔管后患者的氧合与通气状况，促进膈肌功能恢复，有效缩短机械通气总时间和 ICU 住院时间，并显示出降低再插管和谵妄发生率的潜力。该方案将客观的生理学评估（DUS）与精准的呼吸支持技术（HFNC/NIV）相结合，并充分发挥了重症护理团队在床旁动态监测、评估和干预中的核心优势，为机械通气患者，尤其是撤机高风险患者，提供了一条优化撤机路径、改善临床预后的有效途径。NLDGP 方案具有较好的临床实用性和推广价值，是重症护理向高级实践发展的有益探索。

参考文献

- [1] Parada-Gereda H M, Molano-Franco D, Pena-Lopez L A, et al. Diaphragmatic Rapid Shallow Breathing Index for predicting successful weaning from mechanical ventilation: A systematic review and meta-analysis[J]. Aust Crit Care, 2025,38(5):101266.
- [2] Parada-Gereda H M, Tibaduiza A L, Rico-Mendoza A, et al. Effectiveness of diaphragmatic ultrasound as a predictor of successful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis[J]. Crit Care, 2023,27(1):174.

- [3] Burns K E A, Khan J, Phoophiboon V, et al. Spontaneous Breathing Trial Techniques for Extubating Adults and Children Who Are Critically Ill: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. JAMA Netw Open, 2024,7(2):e2356794.
- [4] Dres M, Dube B, Mayaux J, et al. Coexistence and Impact of Limb Muscle and Diaphragm Weakness at Time of Liberation from Mechanical Ventilation in Medical Intensive Care Unit Patients[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2017,195(1):57-66.
- [5] 尹佳宁, 管晓敏, 张琦, 等. ICU 机械通气患者撤机后呼吸肌训练的循证实践 [J]. 军事护理, 2024,41(9):95-98.
- [6] Goligher E C, 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.
- [7] Demoule A, Fosse Q, Mercat A, et al. Operator independent continuous ultrasound monitoring of diaphragm excursion predicts successful weaning from mechanical ventilation: a prospective observational study[J]. Crit Care, 2024,28(1):245.
- [8] Santana P V, Cardenas L Z, Albuquerque A L P D. Diaphragm Ultrasound in Critically Ill Patients on Mechanical Ventilation-Evolving Concepts[J]. Diagnostics (Basel), 2023,13(6).
- [9] Yao X, Li H, Sun B, et al. Ultrasound assessment of diaphragmatic dysfunction in non-critically ill patients: relevant indicators and update[J]. Front Med (Lausanne), 2024,11:1389040.
- [10] Haaksma M, Tuinman P R, Heunks L. Ultrasound to assess diaphragmatic function in the critically ill-a critical perspective[J]. Ann Transl Med, 2017,5(5):114.
- [11] Mosier J M, Subbian V, Pungitore S, et al. Noninvasive vs invasive respiratory support for patients with acute hypoxemic respiratory failure[J]. PLoS One, 2024,19(9):e307849.
- [12] 骆美仪, 俞朝贤, 李红霞, 等. 经鼻高流量氧疗联合肺康复训练在肺结核合并呼吸衰竭中的应用研究进展 [J]. 国际医药卫生导报, 2025,31(11):1820-1825.
- [13] 中华医学会麻醉学分会气道学组, 黄宇光, 左明章, 等. 经鼻高流量氧疗临床麻醉规范应用专家共识 [J]. 临床麻醉学杂志, 2023,39(8):881-887.
- [14] Magdy D M. Outcome of Early Initiation of High-flow Nasal Oxygen Therapy among Pneumonia Patients Presenting with Acute Hypoxemic Respiratory Failure[J]. Indian J Crit Care Med, 2024,28(8):753-759.
- [15] 王亚如, 邓银辉, 熊忱, 等. 经鼻高流量湿化氧疗流量设置对成人呼吸衰竭患者影响的研究进展 [J]. 临床肺科杂志, 2024,29(7):1116-1119.
- [16] Re R, Lassola S, De Rosa S, et al. Humidification during Invasive and Non-Invasive Ventilation: A Starting Tool Kit for Correct Setting[J]. Med Sci (Basel), 2024,12(2).
- [17] Berg A C, Evans E, Okoro U E, et al. Respiratory Therapist-Driven Mechanical Ventilation Protocol Is Associated With Increased Lung Protective Ventilation[J]. Respir Care, 2024,69(9):1071-1080.
- [18] Aswanetmanee P, Limsuwat C, Maneechotesuwan K, et al. Noninvasive ventilation in patients with acute hypoxemic respiratory failure: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Sci Rep, 2023,13(1):8283.
- [19] Guzel S, Umay E, Gundogdu I, et al. Effects of diaphragm thickness on rehabilitation outcomes in post-ICU patients with spinal cord and brain injury[J]. Eur J Trauma Emerg Surg, 2022,48(1):559-565.