

# 基于高流量氧疗的自主呼吸试验在机械通气患者撤机中的应用

张立恒 邓猛 李海亮 吴罡 王鸢 王文春 孟珊珊 陈伟伟 张东星 杨从山 陈洁

东南大学附属中大医院重症医学科, 江苏省重症医学重点实验室, 南京 210009

通信作者: 陈洁, Email: dncj05@126.com

**【摘要】 目的** 分析基于高流量氧疗(HFOT)的自主呼吸试验(SBT)在机械通气患者撤机过程中的应用效果。**方法** 采用随机对照试验,选择2024年9月至2025年7月东南大学附属中大医院重症医学科收治的163例行气管插管机械通气患者,随机分配至HFOT组(80例)和压力支持通气(PSV)组(83例)。HFOT组实施基于HFOT的SBT,PSV组实施基于PSV的SBT。收集并比较两组患者的基线资料,记录两组SBT期间不良事件发生情况。主要观察指标为48 h内拔管成功率;次要观察指标为SBT开始前及实施30 min后的生命体征、痰液分级、动脉血气分析指标、SBT成功率、结局指标[机械通气时间、重症监护病房(ICU)住院时间、住院总费用、ICU病死率、住院病死率和28 d病死率]。**结果** 共纳入163例机械通气患者,其中HFOT组80例,PSV组83例。两组间基线资料和结局指标差异均无统计学意义。HFOT组和PSV组的SBT成功率分别为100%(80/80)、98.8%(82/83),48 h内拔管成功率分别为87.5%(70/80)、80.5%(66/82),差异均无统计学意义(均 $P>0.05$ )。HFOT组SBT实施30 min后的心率( $HR_{0.5}$ )和HR下降值( $\Delta HR_{0.5}$ )均低于PSV组[ $HR_{0.5}$ :  $87.10 \pm 12.73$ 比 $94.28 \pm 13.60$ ,  $\Delta HR_{0.5}$ :  $0.0(-3.0, 2.0)$ 比 $-1.0(-5.0, 1.0)$ ,均 $P<0.05$ ],其余生命体征指标及痰液分级和动脉血气分析指标差异均无统计学意义。两组患者在试验过程中均未出现安全事件,安全性良好。亚组分析显示,年龄和机械通气时间与干预方式的交互作用存在统计学意义(均 $P<0.05$ );在年龄 $\geq 65$ 岁患者中, HFOT组ICU住院时间较PSV组平均缩短83.12 h[95%置信区间(95%CI)为 $-151.28 \sim -14.96$ ];在机械通气时间 $\geq 24$  h的患者中, HFOT组ICU住院时间较PSV组平均缩短157.40 h(95%CI为 $-254.60 \sim -60.20$ )。**结论** 基于HFOT的SBT在机械通气患者撤机中是安全的,在改善HR方面具有一定生理学优势。在老年患者( $\geq 65$ 岁)和长机械通气时间( $\geq 24$  h)人群中,基于HFOT的SBT能够显著缩短ICU住院时间,但在提高48 h拔管成功率方面无明显优势。

**【关键词】** 高流量氧疗;自主呼吸试验;机械通气;气管插管拔管;撤机

**基金项目:** 东南大学附属中大医院护理科研基金(KJZC-HL-202322)

**临床试验注册:** 中国临床试验注册中心(ChiCTR2500101835)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20260408-00165

## Application of a spontaneous breathing trial based on high-flow oxygen therapy in weaning of mechanically ventilated patients

Zhang Liheng, Deng Meng, Li Hailiang, Wu Gang, Wang Zhi, Wang Wenchun, Meng Shanshan, Chen Weiwei, Zhang Dongxing, Yang Congshan, Chen Jie

Department of Critical Care Medicine, Zhongda Hospital Southeast University, Jiangsu Provincial Key Laboratory of Critical Care Medicine, Nanjing 210009, China

Corresponding author: Chen Jie, Email: dncj05@126.com

**【Abstract】 Objective** To evaluate the application efficacy of a spontaneous breathing trial (SBT) based on high-flow oxygen therapy (HFOT) during the weaning process in mechanically ventilated patients. **Methods** A randomized controlled trial was conducted. A total of 163 patients undergoing invasive mechanical ventilation admitted to the Department of Critical Care Medicine, Zhongda Hospital, Southeast University, from September 2024 to July 2025 were enrolled and randomly assigned to the HFOT group (80 cases) or the pressure support ventilation (PSV) group (83 cases). The HFOT group received SBT based on HFOT, while the PSV group received SBT based on PSV. Baseline data were collected and compared between the two groups, and adverse events during SBT were recorded. The primary outcome was the success rate of extubation within 48 hours. Secondary outcomes included vital signs, sputum grade, arterial blood gas parameters measured before SBT and 30 minutes after SBT initiation, SBT success rate, and prognostic outcomes [duration of mechanical ventilation, length of intensive care unit (ICU) stay, hospitalization costs, ICU mortality, in-hospital mortality, and 28-day mortality]. **Results** A total of 163 mechanically ventilated patients were included, with 80 in the HFOT group and 83 in the PSV group. There were no statistically significant differences in baseline data or prognostic outcomes between the two groups. The SBT success rates were 100% (80/80) in the HFOT group and 98.8% (82/83) in the PSV group, and the 48-hour extubation success rates were 87.5% (70/80) and 80.5% (66/82), respectively, with no statistically significant differences (both  $P>0.05$ ). At 30 minutes after SBT initiation, the heart rate

( $HR_{0.5}$ ) and the decrease in HR ( $\Delta HR_{0.5}$ ) in the HFOT group were significantly lower than those in the PSV group [ $HR_{0.5}$ :  $87.10 \pm 12.73$  vs.  $94.28 \pm 13.60$ ;  $\Delta HR_{0.5}$ :  $0.0 (-3.0, 2.0)$  vs.  $-1.0 (-5.0, 1.0)$ ; both  $P < 0.05$ ]. No significant differences were observed in other vital signs, sputum grade, or arterial blood gas parameters between the two groups. No safety events occurred in either group during the trial, indicating good safety. Subgroup analysis showed statistically significant interactions between intervention modality and both age and duration of mechanical ventilation (both  $P < 0.05$ ). In patients aged  $\geq 65$  years, the ICU length of stay in the HFOT group was significantly shorter by a mean of 83.12 hours [95% confidence interval (95%CI) was  $-151.28$  to  $-14.96$ ] compared with the PSV group. In patients with mechanical ventilation duration  $\geq 24$  hours, the ICU length of stay in the HFOT group was significantly shorter by a mean of 157.40 hours (95%CI was  $-254.60$  to  $-60.20$ ) compared with the PSV group. **Conclusions** SBT based on HFOT is safe for weaning mechanically ventilated patients and offers certain physiological advantages in improving HR. In elderly patients ( $\geq 65$  years) and those with prolonged mechanical ventilation ( $\geq 24$  hours), HFOT-based SBT can significantly shorten ICU length of stay, but it does not show a clear advantage in improving the 48-hour extubation success rate.

**【Key words】** High-flow oxygen therapy; Spontaneous breathing test; Mechanical ventilation; Tracheal extubation; Weaning

**Fund program:** Nursing Research Fund of Zhongda Hospital Affiliated to Southeast University (KJZC-HL-202322)

**Trial registration:** Chinese Clinical Trial Registry (ChiCTR2500101835)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20260408-00165

机械通气是重症监护病房(intensive care unit, ICU)危重患者呼吸衰竭救治的核心生命支持技术,约40%的ICU成人患者需接受有创机械通气,成功撤机是治疗的重要环节之一<sup>[1]</sup>。过早撤机易导致呼吸肌疲劳和再插管率升高,延迟撤机则增加呼吸机相关性肺炎、气压伤等并发症风险,因此临床指南推荐拔管前通过标准化自主呼吸试验(spontaneous breathing trial, SBT)评估患者自主呼吸能力,为撤机决策提供依据。目前临床常用的 SBT 方法包括压力支持通气(pressure support ventilation, PSV)和 T 管试验<sup>[2-3]</sup>。关于机械通气期间最适宜的撤机策略,相关研究结果并不一致<sup>[3-5]</sup>。从生理学角度看,撤机阶段的 SBT 会改变肺力学特性,降低压力支持(pressure support, PS)和呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP),可能增加氧耗和回心血量,重新暴露心功能障碍风险<sup>[4]</sup>。其中 PSV 因操作便捷被广泛应用于临床,但存在缺乏生理优势、过度通气风险及人机同步性不佳等局限;T 管试验则存在氧合稳定性不足、气道湿化效果欠佳等问题<sup>[5]</sup>。高流量氧疗(high-flow oxygen therapy, HFOT)通过提供加温加湿(37℃、相对湿度 100%)的高流量气体,可产生适度 PEEP 效应、改善氧合、降低呼吸功、优化气道分泌物清除<sup>[6]</sup>。经鼻高流量氧疗(high-flow nasal cannula oxygen therapy, HFNC)越来越多地应用于各类重症患者,包括新发低氧血症、呼吸衰竭、拔管后、术后呼吸衰竭和姑息治疗患者<sup>[6-7]</sup>。HFNC 和(或)无创通气(non-invasive ventilation, NIV)现已被广泛使用<sup>[7]</sup>。然而,关于 SBT 期间高流量氧疗策略有效性和安全性的证据有限。HFOT 在 SBT 中的应用缺乏标准化方案,其流量设

置、适用人群、序贯策略等关键参数仍需进一步验证。鉴于 HFOT 在维持氧合、减少呼吸肌做功、促进二氧化碳(carbon dioxide, CO<sub>2</sub>)清除、保护气道及提升舒适度等方面的生理学优势,推测其应用于 SBT 也可能会达到相应的临床效果。本研究假设,与 PSV 相比,基于 HFOT 的 SBT 策略可提高拔管成功率;同时拟探讨该策略在机械通气撤机中的应用优势及临床价值,明确其能否降低 SBT 失败率、缩短撤机时间、减少呼吸肌疲劳及提高患者耐受性,以期机械通气患者实现安全、高效撤机提供新的临床策略和理论依据。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象:**本研究为单中心随机对照试验(randomized control trial, RCT),采用平行对照设计,选择 2024 年 9 月至 2025 年 7 月东南大学附属中大医院重症医学科收治的符合标准的机械通气患者。

**1.1.1 纳入标准:**①年龄  $\geq 18$  岁;②行气管插管机械通气,原发病好转,有气道自洁能力,且符合 SBT 指征;③通过 3 min PSV 的 SBT 筛查。

**1.1.2 排除标准:**①未拔管即行气管切开;②未拔管即出院或转科;③临床决策与试验方案冲突。

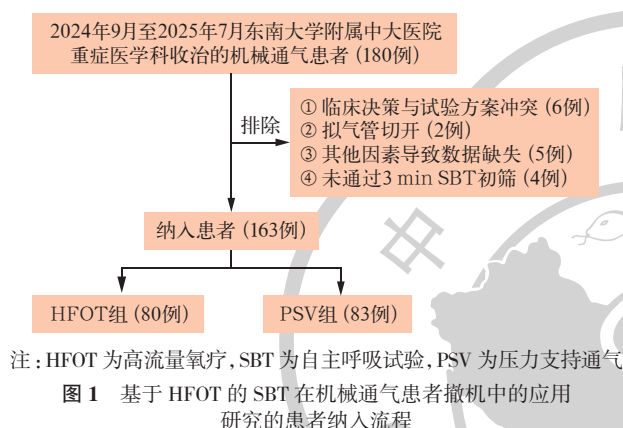
**1.1.3 脱落或终止标准:**患者及家属放弃治疗、病情急剧恶化需抢救或死亡时停止评估。

**1.1.4 伦理学:**本研究通过本院临床研究伦理委员会审核(审批号:2024ZDSYLL252-P01),遵循医学伦理学规范,所有研究对象均同意参加本研究并签署知情同意书。

**1.2 样本量及计算方法:**以拔管成功率为主要结局指标,基于单中心 RCT 的设计特点,本次估算采用两组独立样本率比较的统计学公式:

$$n_1 = n_2 = \frac{2[Z_{1-\alpha/2}\sqrt{2P(1-P)} + Z_{1-\beta}\sqrt{P_1(1-P_1) + P_2(1-P_2)}]^2}{(P_1 - P_2)^2}$$

其中,  $P = (P_1 + P_2)/2$  为两组率的合并值,  $P_1 = 87\%$  (HFOT 组预期成功率),  $P_2 = 75\%$  (PSV 组预期成功率),  $Z_{1-\alpha/2} = 1.96$  ( $\alpha = 0.05$  双侧),  $Z_{1-\beta} = 0.84$  ( $\beta = 0.20$ ), 考虑 10% 脱落率, 通过计算估算出每组需纳入 80 例, 总样本量为 160 例。本研究共入组 180 例患者, 根据纳排标准, 最终纳入 163 例符合要求的患者 (图 1)。



**1.3 研究分组及指标收集:** 将 163 例符合标准的患者随机分配至 HFOT 组 (80 例) 和 PSV 组 (83 例)。由于 SBT 策略无法设盲, 因此无法对临床研究人员和受试者实施盲法操作。收集两组患者的基线资料, 包括性别、年龄、身高、体质指数 (body mass index, BMI)、入 ICU 诊断以及入 ICU 当日急性生理学与慢性健康状况评分 II (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II, APACHE II) 和序贯器官衰竭评分 (Sequential Organ Failure Assessment, SOFA)。PSV 组 83 例患者中, 1 例因 SBT 失败未进入后续数据分析, 故 PSV 组结局指标分析纳入 82 例患者。

**1.4 撤机流程:** 本中心遵循严格的程序化撤机流程, 该流程参照国际指南, 并结合本中心的实际情况制定, 由临床医师执行。具体流程主要包括: ① 每日筛查; ② 通过 3 min SBT 筛查; ③ 可耐受者继续进行 30 ~ 120 min SBT; ④ 通过气道开放及廓清能力评估; ⑤ 撤机, 若失败立即返回至 SBT 前通气模式和参数设置且当日不再进行 SBT<sup>[8-9]</sup>。

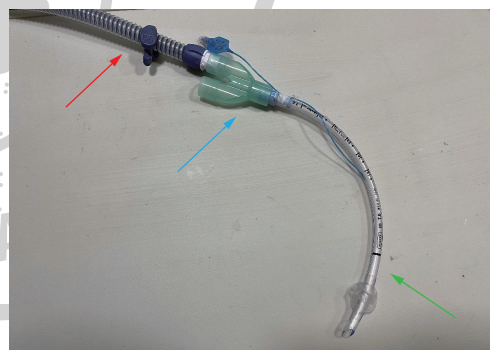
### 1.5 干预方案

**1.5.1 呼吸机设备:** 使用迈瑞 SV300、SV380、SV600 和德尔格 C300 呼吸机, 不仅包括有创和无创呼吸机的功能, 还具有 HFOT 等功能。呼吸机配备费雪

派克 MR850 呼吸湿化器, 呼吸机管路属于双加热导丝类型 (即吸气管路和呼气管路内均有加热导丝), 呼吸湿化器能提供温度接近核心体温、饱和湿度 (37 °C, 44 mg/L) 的气体。同时, 在采用同一套呼吸机管路的前提下, 可随时切换模式, 保证患者安全, 减少医务人员更换设备的工作量。

**1.5.2 PSV 组:** PSV 组切换为 PSV 模式, 参数设置为 PS 8 cmH<sub>2</sub>O (1 cmH<sub>2</sub>O = 0.098 kPa), PEEP ≤ 5 cmH<sub>2</sub>O, 吸入氧浓度 (fraction of inspired oxygen, FiO<sub>2</sub>) 不变, 持续 30 min。耐受者继续漏气试验, 均予负压拔管后序贯 HFOT 或支持力度更低的氧疗方式<sup>[9]</sup>, 保证目标氧合。

**1.5.3 HFOT 组:** HFOT 组暂停呼吸机支持模式, 于 Y 型管处断开呼吸管路中的呼出端 (图 2), 切换呼吸模式为 HFOT 模式, 参数设置为 FiO<sub>2</sub> 不变, 根据气管插管拔管前的 PEEP (≤ 5 cmH<sub>2</sub>O), 设定对应的流速 30 ~ 50 L/min<sup>[10-14]</sup>, 观察 30 min。耐受者继续漏气试验, 均于拔管后予负压吸引, 并序贯 HFOT 或支持水平更低的氧疗方式, 以保证目标氧合。



注: 红色箭头所示为高流量呼吸管路, 蓝色箭头所示为 Y 型管, 绿色箭头所示为气管插管

图 2 高流量呼吸管路与气管插管连接示意图

### 1.6 研究相关定义

**1.6.1 拔管成功定义:** 患者拔管后 48 h 内无需 NIV, 无再插管或无气管切开视为拔管成功。

**1.6.2 SBT 失败定义:** 患者在 SBT 过程中出现以下情况之一判断为 SBT 失败, 重新改为呼吸机支持通气, 并重新每日评估。① 呼吸频率 (respiratory rate, RR) ≥ 35 次/min 或较试验前增加 50% 并持续 5 min 以上或浅快呼吸指数 (rapid shallow breathing index, RSBI) > 105 次 · L<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>; ② 动脉血氧饱和度 (arterial oxygen saturation, SaO<sub>2</sub>) < 0.90 或动脉血氧分压 (arterial partial pressure of oxygen, PaO<sub>2</sub>) ≤ 50 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa), 动脉血二氧化碳分压 (arterial

partial pressure of carbon dioxide,  $\text{PaCO}_2$ )  $> 50$  mmHg 或较试验前增加  $> 10$  mmHg,  $\text{FiO}_2 \geq 0.5$ , pH 值  $< 7.3$  或较试验前增加  $> 0.07$ ; ③ 心率 (heart rate, HR)  $> 140$  次/min 或较试验前增加或减少 20% 或新发心律失常, 收缩压 (systolic blood pressure, SBP)  $> 180$  mmHg 或  $< 90$  mmHg 或在原有基础上增加或减少 20% 以上; ④ 出现呼吸窘迫相关的临床症状 (如主诉呼吸困难、出汗、兴奋、焦虑、精神抑郁、辅助呼吸肌参与、胸腹矛盾运动)、尿量明显减少、烦躁不安且不可控制等<sup>[3-4]</sup>。再次插管进行有创机械通气的时机由临床医师决定, 其指征为: ① 心搏骤停或明显的血流动力学不稳定; ② 难治性低氧血症; ③ 代谢性酸中毒 (动脉血 pH 值  $\leq 7.20$ ); ④ 神经功能恶化 (SOFA 评分  $\leq 8$  分); ⑤ 呼吸驱动异常 (RR  $< 8$  次/min 或  $> 40$  次/min 持续存在)<sup>[8, 15]</sup>。

## 1.7 观察指标

**1.7.1 主要观察指标:** 患者 48 h 内拔管成功率。

**1.7.2 次要观察指标:** 患者 SBT 开始前及实施 30 min 后的 HR、SBP、RR、脉搏血氧饱和度 (blood oxygen saturation,  $\text{SpO}_2$ )、痰液分级<sup>[16]</sup>、动脉血气分析中的  $\text{PaO}_2$ 、 $\text{PaCO}_2$  和氧合指数 (oxygenation index,  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ )、以及 SBT 成功率、机械通气时间、ICU 住院时间、住院费用、ICU 病死率、住院病死率和 28 d 病死率。

**1.7.3 安全性指标:** 记录两组 SBT 期间不良事件发生情况, 如低氧、气压伤、肺部感染加重、心律失常、低血压、非计划拔管等。

**1.8 质量控制:** ① 人员培训与考核: 研究工作以团队模式运作, 成立课题小组, 课题小组中负责方案实施及数据收集人员在试验开始前进行统一培训及考核, 主要培训考核 SBT 操作流程、指标监测方法、结局判断标准及痰液分级标准, 确保操作一致性与数据准确性。② 设备标准化管理: 定期校准呼吸机、血气分析仪等设备, 确保监测数据可靠; 统一使用同一品牌型号设备, 减少设备差异带来的偏倚。③ 数据管理: 采用双人双录入法录入数据, 建立标准化数据库, 定期进行数据核查与纠错, 设置数据盲态审核环节; 明确数据缺失处理原则, 确保数据完整性与真实性。④ 不良事件处理: 制定不良事件应急预案, 发生不良事件后及时记录、上报, 分析原因并采取干预措施, 保障患者安全。

**1.9 统计学分析:** 采用 SPSS 31.0 软件进行统计学分析。正态分布的计量资料以均数  $\pm$  标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 组间比较采用两独立样本  $t$  检验; 非正态分

布的计量资料以中位数 (四分位数) [ $M(Q_1, Q_3)$ ] 表示, 组间比较采用 Wilcoxon 秩和检验。计数资料以例 (%) 表示, 采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确检验。亚组分析采用 Mann-Whitney  $U$  检验与 Wilcoxon 符号秩检验。检验水准  $\alpha$  值取双侧 0.05。

## 2 结果

**2.1 患者一般资料:** 共纳入 163 例患者, 其中 HFOT 组 80 例, PSV 组 83 例。两组患者的性别、年龄、身高、BMI、入 ICU 诊断、APACHE II 评分和 SOFA 评分差异均无统计学意义 (均  $P > 0.05$ ; 表 1)。

表 1 基于不同策略的 SBT 两组行气管插管机械通气患者的基线特征比较

| 指标                                      | PSV 组 (83 例)            | HFOT 组 (80 例)           | 统计量值             | $P$ 值 |
|-----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|-------|
| 性别 [例 (%)]                              |                         |                         | $\chi^2 = 0.001$ | 0.970 |
| 女性                                      | 32 (39)                 | 30 (38)                 |                  |       |
| 男性                                      | 51 (61)                 | 50 (62)                 |                  |       |
| 年龄 [岁, $M(Q_1, Q_3)$ ]                  | 67.0<br>(57.3, 75.8)    | 70.5<br>(62.0, 76.3)    | $Z = -1.256$     | 0.210 |
| 身高 [cm, $M(Q_1, Q_3)$ ]                 | 170.0<br>(163.0, 172.8) | 165.0<br>(160.0, 172.3) | $Z = -1.582$     | 0.114 |
| BMI [ $\text{kg/m}^2$ , $M(Q_1, Q_3)$ ] | 23.93<br>(21.62, 26.28) | 23.44<br>(20.92, 25.65) | $Z = -0.892$     | 0.373 |
| 入 ICU 诊断 [例 (%)]                        |                         |                         | $\chi^2 = 4.538$ | 0.334 |
| 心脏手术                                    | 40 (48)                 | 40 (50)                 |                  |       |
| 脑血管意外                                   | 9 (11)                  | 18 (22)                 |                  |       |
| 肺炎                                      | 10 (12)                 | 12 (15)                 |                  |       |
| COPD                                    | 4 (5)                   | 2 (2)                   |                  |       |
| 其他                                      | 19 (23)                 | 8 (10)                  |                  |       |
| APACHE II 评分 [分, $M(Q_1, Q_3)$ ]        | 15.0<br>(11.0, 18.0)    | 16.0<br>(12.0, 20.3)    | $Z = -0.649$     | 0.516 |
| SOFA 评分 [分, $M(Q_1, Q_3)$ ]             | 7.0<br>(5.0, 9.0)       | 7.0<br>(5.0, 9.0)       | $Z = -0.666$     | 0.505 |

注: SBT 为自主呼吸试验, PSV 为压力支持通气, HFOT 为高流量氧疗, BMI 为体质指数, ICU 为重症监护病房, COPD 为慢性阻塞性肺疾病, APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II, SOFA 为序贯器官衰竭评分

**2.2 两组 SBT 成功率比较:** HFOT 组和 PSV 组患者均进行 SBT, HFOT 组 SBT 成功率为 100% (80/80), PSV 组 SBT 成功率为 98.8% (82/83), 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。PSV 组患者 SBT 失败的原因为  $\text{SpO}_2$  下降、出汗、主观感觉不适及胸腹矛盾运动等。

**2.3 两组结局指标比较 (表 2):** HFOT 组 48 h 内再插管 1 例 (占 1.3%), 无创正压机械通气 9 例 (占 11.3%), 48 h 拔管成功率为 87.5%; PSV 组 SBT 失败 1 例, 48 h 内再插管 2 例 (占 2.4%), 无创正压机械通气 12 例 (占 14.6%), 48 h 拔管成功率为 80.5%; 两组间 48 h 拔管成功率差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。此外, 两组间机械通气时间、ICU 住院时间、住院总费用差异均无统计学意义 (均  $P > 0.05$ ), HFOT 组

ICU 病死率、住院病死率和 28 d 病死率略低于 PSV 组,但差异亦无统计学意义(均  $P>0.05$ )。

**2.4** 两组生命体征、痰液分级和血气分析指标比较(表 3): HFOT 组 SBT 实施 30 min 后的  $HR_{0.5}$  和 HR 下降值( $\Delta HR_{0.5}$ )均低于 PSV 组(均  $P<0.05$ ),其余生命体征指标以及痰液分级和血气分析指标差异均无统计学意义(均  $P>0.05$ )。

**2.5** 两组安全事件情况比较: 两组患者在试验过程中均未出现安全事件,安全性良好。

**2.6** 两组 ICU 住院时间的亚组分析(表 4): 两组间 ICU 住院时间差异虽无统计学意义( $P>0.05$ ),但 HFOT 组 ICU 住院时间存在显著延长的风险。以年龄(65 岁)、APACHE II 评分(25 分)、SOFA 评分(8 分)、机械通气(24 h)4 项界定标准,将患者分为 4 个亚组,分别为高龄组( $\geq 65$  岁)与低龄组( $<65$  岁)、APACHE II 评分 $\geq 25$  分组与 $<25$  分组、SOFA 评分 $\geq 8$  分组与 $<8$  分组、机械通气 $\geq 24$  h 组与 $<24$  h 组。年龄和机械通气时间与干预方式的

交互作用存在统计学意义(均  $P<0.05$ ),提示年龄和机械通气时间是影响两组患者 ICU 住院时间差异的重要效应修饰因子;在 $\geq 65$  岁的高龄患者中, HFOT 组 ICU 住院时间较 PSV 组平均缩短 83.12 h [95% 置信区间(95% confidence interval, 95%CI)为  $-151.28 \sim -14.96$ ],差异有统计学意义( $P<0.05$ );在机械通气时间 $\geq 24$  h 的患者中, HFOT 组 ICU 住院时间较 PSV 组平均缩短 157.40 h(95%CI 为  $-254.60 \sim -60.20$ ),差异有统计学意义( $P<0.05$ );APACHE II 评分和 SOFA 评分与干预方式的交互作用无统计学意义(均  $P>0.05$ ),提示这两种评分对两组患者 ICU 住院时间的影响无显著差异。

### 3 讨论

**3.1** 基于 HFOT 的 SBT 对 48 h 拔管成功率的影响: 本研究显示, HFOT 组患者的 48 h 拔管成功率高于 PSV 组,与既往研究结果一致<sup>[17]</sup>,但两组间差异无统计学意义。原因可能是: ① 拔管后序贯支持策略的同质化效应。两组患者拔管后均接受 HFOT 或其

表 2 基于不同策略的 SBT 两组行气管插管机械通气患者的结局指标比较

| 组别                 | 例数<br>(例) | 48 h 拔管成功率<br>[% (例)] | 机械通气时间<br>[h, $M(Q_1, Q_3)$ ] | ICU 住院时间<br>[h, $M(Q_1, Q_3)$ ] | 住院总费用<br>[万元, $M(Q_1, Q_3)$ ] | ICU 病死率<br>[% (例)] | 住院病死率<br>[% (例)] | 28 d 病死率<br>[% (例)] |
|--------------------|-----------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------|------------------|---------------------|
| 总体                 | 162       | 84.0 (136)            | 18.0 (9.0, 62.75)             | 37.0 (20.0, 106.5)              | 3.91 (1.89, 8.69)             | 0.6 (1)            | 0.6 (1)          | 8.6 (14)            |
| PSV 组 <sup>a</sup> | 82        | 80.5 (66)             | 15.0 (7.0, 67.0)              | 26.0 (19.0, 91.25)              | 3.66 (1.54, 8.10)             | 1.2 (1)            | 1.2 (1)          | 11.0 (9)            |
| HFOT 组             | 80        | 87.5 (70)             | 20.5 (14.0, 61.2)             | 47.5 (23.7, 110.7)              | 4.28 (2.29, 9.07)             | 0 (0)              | 0 (0)            | 6.2 (5)             |
| 统计量值               |           | $\chi^2=2.394$        | $Z=-1.476$                    | $Z=-1.920$                      | $Z=-1.278$                    | -                  | -                | $\chi^2=0.625$      |
| P 值                |           | 0.122                 | 0.140                         | 0.055                           | 0.202                         | 1.000              | 1.000            | 0.429               |

注: SBT 为自主呼吸试验, PSV 为压力支持通气, HFOT 为高流量氧疗, ICU 为重症监护病房; <sup>a</sup> PSV 组有 1 例因 SBT 失败未进入后续数据分析,故结局指标分析纳入 82 例患者; - 为 Fisher 精确检验

表 3 基于不同策略的 SBT 两组行气管插管机械通气患者 SBT 实施 30 min 后生命体征、痰液分级和血气分析比较

| 组别     | 例数<br>(例) | 生命体征                                           |                                                           |                                                       |                                                           |                                                            |                                                           | 痰液分级 [例 (%)]     |                   |                    |
|--------|-----------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------|-------------------|--------------------|
|        |           | $HR_{0.5}$ <sup>a</sup><br>[次/min, $x \pm s$ ] | $\Delta HR_{0.5}$ <sup>b</sup><br>[次/min, $M(Q_1, Q_3)$ ] | SBP <sub>0.5</sub> <sup>a</sup><br>(mmHg, $x \pm s$ ) | $\Delta SBP_{0.5}$ <sup>b</sup><br>(mmHg, $M(Q_1, Q_3)$ ) | SpO <sub>2.0.5</sub> <sup>a</sup><br>[% ( $M(Q_1, Q_3)$ )] | RR <sub>0.5</sub> <sup>a</sup><br>[次/min, $M(Q_1, Q_3)$ ] | I 度 <sup>c</sup> | II 度 <sup>d</sup> | III 度 <sup>e</sup> |
| 总体     | 163       | 90.73 $\pm$ 13.62                              | 0.0 (-4.0, 2.0)                                           | 130.85 $\pm$ 15.63                                    | -1.0 (-6.0, 3.0)                                          | 0.98 (0.97, 0.99)                                          | 17.0 (16.0, 19.0)                                         | 117 (72.2)       | 45 (27.8)         | 0 (0)              |
| PSV 组  | 83        | 94.28 $\pm$ 13.60                              | -1.0 (-5.0, 1.0)                                          | 130.07 $\pm$ 15.97                                    | -1.0 (-6.0, 3.0)                                          | 0.98 (0.97, 0.99)                                          | 17.0 (16.0, 19.0)                                         | 60 (73.2)        | 22 (26.8)         | 0 (0)              |
| HFOT 组 | 80        | 87.10 $\pm$ 12.73                              | 0.0 (-3.0, 2.0)                                           | 131.65 $\pm$ 15.33                                    | 0.0 (-6.0, 3.2)                                           | 0.98 (0.97, 0.99)                                          | 17.0 (15.7, 19.0)                                         | 57 (71.2)        | 23 (28.7)         | 0 (0)              |
| 统计量值   |           | $t=3.477$                                      | $Z=2.198$                                                 | $t=-0.644$                                            | $Z=0.578$                                                 | $Z=0.759$                                                  | $Z=0.355$                                                 | $\chi^2=0.009$   |                   |                    |
| P 值    |           | <0.001                                         | 0.028                                                     | 0.522                                                 | 0.564                                                     | 0.448                                                      | 0.723                                                     | 0.922            |                   |                    |

| 组别     | 例数<br>(例) | 动脉血气分析                                                |                                                             |                                                                               |                                                                                        |                                                          |                                                                       |
|--------|-----------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|        |           | pH 值 <sub>0.5</sub> <sup>a</sup><br>[ $M(Q_1, Q_3)$ ] | PaO <sub>2.0.5</sub> <sup>a</sup><br>[mmHg, $M(Q_1, Q_3)$ ] | PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2.0.5</sub> <sup>a</sup><br>[mmHg, $M(Q_1, Q_3)$ ] | $\Delta$ PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2.0.5</sub> <sup>b</sup><br>[mmHg, $M(Q_1, Q_3)$ ] | PaCO <sub>2.0.5</sub> <sup>a</sup><br>(mmHg, $x \pm s$ ) | $\Delta$ PaCO <sub>2.0.5</sub> <sup>b</sup><br>[mmHg, $M(Q_1, Q_3)$ ] |
| 总体     | 163       | 7.42 (7.39, 7.45)                                     | 115.40 (97.00, 142.90)                                      | 288.50 (242.50, 357.25)                                                       | 9.50 (-24.00, 68.00)                                                                   | 35.99 $\pm$ 5.17                                         | 1.10 (-2.48, 4.45)                                                    |
| PSV 组  | 83        | 7.42 (7.39, 7.45)                                     | 118.85 (99.12, 144.65)                                      | 297.12 (247.81, 361.62)                                                       | 3.12 (-24.75, 50.56)                                                                   | 35.99 $\pm$ 5.94                                         | 0.85 (-2.08, 4.25)                                                    |
| HFOT 组 | 80        | 7.42 (7.38, 7.45)                                     | 114.65 (93.33, 139.28)                                      | 286.62 (233.31, 348.19)                                                       | 18.50 (-20.69, 76.31)                                                                  | 36.00 $\pm$ 4.28                                         | 1.45 (-2.70, 4.55)                                                    |
| 统计量值   |           | $Z=0.398$                                             | $Z=0.667$                                                   | $Z=0.667$                                                                     | $Z=1.514$                                                                              | $t=-0.012$                                               | $Z=0.181$                                                             |
| P 值    |           | 0.691                                                 | 0.505                                                       | 0.505                                                                         | 0.130                                                                                  | 0.992                                                    | 0.856                                                                 |

注: SBT 为自主呼吸试验, HR 为心率, SBP 为收缩压, SpO<sub>2</sub> 为脉搏血氧饱和度, RR 为呼吸频率, PaO<sub>2</sub> 为动脉血氧分压, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 为氧合指数, PaCO<sub>2</sub> 为动脉血二氧化碳分压; 1 mmHg=0.133 kPa; <sup>a</sup> 各指标 SBT 实施 30 min 后的数值; <sup>b</sup> 各指标 SBT 实施 30 min 后的下降值; <sup>c</sup> I 度痰液相对米汤或泡沫塑料,吸痰后痰液与玻璃管无接触,无残留; <sup>d</sup> II 度痰液外观略比 I 度痰液厚,吸过后少量痰液粘在玻璃管上,但易于用水冲洗干净; <sup>e</sup> III 度痰液外观比 II 度更黏稠,可能呈黄色或绿色,颜色较深,吸痰管吸后大量痰液留在玻璃管壁,水洗不容易清洗干净

表 4 基于不同策略的 SBT 两组行气管插管机械通气患者的 ICU 住院时间亚组分析比较

| 亚组           | 例数<br>〔例(%)〕 | ICU 住院时间(h, $\bar{x} \pm s$ ) |                 | $\beta$ 值(95%CI)          | P 值   | 交互 P 值 |
|--------------|--------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------|-------|--------|
|              |              | PSV 组(82 例)                   | HFOT 组(80 例)    |                           |       |        |
| 年龄           |              |                               |                 |                           |       | 0.004  |
| <65 岁        | 63(38.9)     | 54.12 ± 100.22                | 115.59 ± 143.47 | 61.47(1.03 ~ 121.91)      | 0.051 |        |
| ≥65 岁        | 99(61.1)     | 159.04 ± 233.94               | 75.92 ± 81.10   | -83.12(-151.28 ~ -14.96)  | 0.019 |        |
| APACHE II 评分 |              |                               |                 |                           |       | 0.957  |
| <25 分        | 143(88.3)    | 100.00 ± 197.15               | 75.51 ± 90.37   | -24.49(-74.88 ~ 25.89)    | 0.342 |        |
| ≥25 分        | 19(11.7)     | 227.40 ± 156.49               | 207.00 ± 167.51 | -20.40(-166.08 ~ 125.28)  | 0.787 |        |
| SOFA 评分      |              |                               |                 |                           |       | 0.077  |
| <8 分         | 87(53.7)     | 68.72 ± 143.33                | 80.95 ± 118.47  | 12.23(-43.42 ~ 67.89)     | 0.668 |        |
| ≥8 分         | 75(46.3)     | 175.36 ± 237.16               | 100.13 ± 98.07  | -75.23(-156.23 ~ 5.77)    | 0.073 |        |
| 机械通气时间       |              |                               |                 |                           |       | <0.001 |
| <24 h        | 100(61.7)    | 26.53 ± 17.26                 | 29.40 ± 17.33   | 2.87(-3.98 ~ 9.71)        | 0.413 |        |
| ≥24 h        | 62(38.3)     | 318.48 ± 260.19               | 161.08 ± 126.58 | -157.40(-254.60 ~ -60.20) | 0.002 |        |

注: SBT 为自主呼吸试验, ICU 为重症监护病房, PSV 为压力支持通气, HFOT 为高流量氧疗, APACHE II 为急性生理学及慢性健康状况评分 II, SOFA 为序贯器官衰竭评分, 95%CI 为 95% 置信区间

他呼吸支持,可能弥补了 SBT 阶段的方法学差异,缩小了组间拔管成功率的差距。有研究指出,拔管后预防性应用 NIV 或 HFNC 可降低再插管风险<sup>[18]</sup>,若两组均接受类似序贯支持策略, SBT 本身的差异对最终结局的影响可能被削弱。② 心脏手术患者占比较高,存在天花板效应。本研究中心心脏手术患者在 PSV 组和 HFOT 组中分别占 48.2%、50.0%。此类患者基础肺功能较好,撤机成功率普遍较高,两种 SBT 策略均能达到较高的拔管成功率,使组间差异难以显现。尽管两组间拔管成功率差异无统计学意义,但 HFOT 仍展现出多方面优势:① 改善氧合及减少呼吸肌做功, HFOT 通过产生适度 PEEP 效应、冲洗鼻咽部死腔,可改善氧合并降低呼吸功;② 良好的加温加湿效果, 37℃、100% 相对湿度的气体可优化气道分泌物清除,保护气道黏膜功能;③ 提高患者耐受性和舒适度, HFNC 患者舒适度更高,界面移位和氧饱和度下降事件更少。目前基于 HFOT 的 SBT 流速设置尚无统一标准,为匹配 SBT 前的 PEEP 水平、保证两组基线一致,本研究将高流量流速设为 30~50 L/min<sup>[13-14]</sup>。因此,上述所有因素都可能导致 HFOT 组与 PSV 组在主要结局方面缺乏差异性,需要进行更大规模的 RCT 来证实这些可能性。

**3.2 两组 ICU 住院时间的亚组分析:** 整体分析中,两组 ICU 住院时间差异无统计学意义,但 P 值接近 0.05,这一结果并非意味着两种方式效果完全等同,而是反映亚组间效应可能存在显著异质性。低龄(<65 岁)患者中, HFOT 组 ICU 住院时间呈延长趋势,而高龄(≥65 岁)患者及长机械通气(≥24 h)患者中, HFOT 组 ICU 住院时间显著缩短,相反方向的效应在整体分析中相互抵消,导致整体结果差异无

统计学意义。年龄亚组的差异具有明确的生理学基础。老年患者呼吸肌储备功能随年龄增长进行性减退,且常合并慢性心肺疾病,撤机后易出现呼吸肌疲劳、氧合下降和痰液引流不畅,再插管风险显著升高<sup>[19]</sup>。HFOT 通过提供 30~50 L/min 的高流量加温湿化氧气,可有效改善氧合、减少呼吸肌做功、促进痰液排出,从而降低再插管率,缩短 ICU 住院时间。而年轻患者呼吸肌储备能力良好, PSV 模式下自主呼吸参与度更高,护理需求更少,因此此类患者中 PSV 组 ICU 住院时间短于 HFOT 组。长机械通气患者由于呼吸肌长期处于废用性萎缩和疲劳状态,撤机后呼吸功能恢复缓慢,是撤机失败的高危人群。HFOT 能提供持续稳定的气道正压支持,防止肺泡萎陷,改善肺顺应性,因此在长机械通气患者中 ICU 住院时间差异有统计学意义。而短机械通气患者呼吸功能损伤较轻,撤机难度低,两种撤机方式均能达到较好的效果,因此 ICU 住院时间差异无统计学意义。亚组分析显示,高 SOFA 评分(≥8 分)患者中 HFOT 组存在 ICU 住院时间缩短的趋势,这与长机械通气亚组的结果相呼应; APACHE II 评分亚组未发现显著交互作用,可能与样本量较小(仅 19 例)有关,统计学效能不足可能导致假阴性结果。

**3.3 基于 HFOT 的 SBT 对 HR 的影响:** HR 是 SBT 的核心监测指标。本研究显示, HFOT 组与 PSV 组 SBT 实施 30 min 后的 HR<sub>0.5</sub> 和  $\Delta$ HR<sub>0.5</sub> 差异有统计学意义。这一结果看似与传统认知相悖, PSV 模式提供 8 cmH<sub>2</sub>O 的 PS 和 ≤5 cmH<sub>2</sub>O 的 PEEP,理论上比提供气流支持的 HFOT 具有更强的呼吸辅助效能,但其 HR 表现反而劣于 HFOT。原因可能是:① SBT 的目标是模拟拔管后的自主呼吸状态,而非提供最

大程度的呼吸支持, PSV 组与 HFOT 组虽然 SBT 方式不同, 但 PEEP 效应力度相近或相同; ② HFOT 具有稳定氧合、减少呼吸肌做功、改善 CO<sub>2</sub> 清除、保护气道、提升舒适度的生理学优势; ③ HFOT 可能通过降低交感神经张力, 降低心脏负荷, 而发挥心血管保护作用。所以推测 HFOT 的 SBT 也具有同样的优势, 患者耐受度和舒适度可能更佳。

**3.4 基于 HFOT 的 SBT 对血气分析及痰液分级的影响:** 两组间 PaO<sub>2</sub>、PaCO<sub>2</sub> 和 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 差异均无统计学意义, 可能与 HFOT 可冲刷生理无效腔、减少呼吸肌做功, 并通过输送高流速气体维持一定水平的 PEEP 效应, 有利于肺泡复张和气体交换, 从而产生与 PSV 相似的效果有关。两组间 SBT 实施 30 min 后痰液分级差异无统计学意义, 一方面可能归因于 HFOT 加温湿化的效果同样可维持气道黏膜正常功能<sup>[20]</sup>, 另一方面也可能与 SBT 实施时间较短、对湿化的影响较小有关。临床实施过程中, 由于所用呼吸机均具备 HFOT 功能, 实施 SBT 时无需更换设备, 不仅可减少日常工作量, 而且操作过程安全可靠。

本研究存在一定局限性: ① 单中心 RCT; ② 样本量较少; ③ 未对疾病分类进行二次分析; ④ 实施过程无法实现主治医师盲法, 存在主观评价的偏倚。

综上所述, HFOT 组撤机的有效性及安全性与 PSV 组相似, 可以达到临床 SBT 的要求, 尤其是 HR 下降方面存在优势, 然而, HFOT 并非适用于所有撤机患者, 其优势主要体现在老年患者 (≥65 岁) 和长机械通气 (≥24 h) 人群中, 能够显著缩短 ICU 住院时间, 而在年轻患者和短机械通气患者中, PSV 仍是安全有效的撤机方式。基于 PSV 的 SBT 可能有利于加快撤机进程, 机械通气时间相对缩短。同时两组均未发生安全事件, 且存在较高的相似性以及安全性, 故基于 HFOT 的 SBT 可以应用于临床。

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 张立恒: 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; 邓猛: 实施研究、采集数据、分析/解释数据、对文章的知识性内容作批评性审阅、指导、支持性贡献; 李海亮: 实施研究、采集数据、指导、支持性贡献; 吴罡、王莺、陈伟伟、张东星: 实施研究、采集数据、支持性贡献; 王文春: 实施研究、分析/解释数据、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析、指导、支持性贡献; 孟珊珊: 分析/解释数据、统计分析、支持性贡献; 杨从山: 实施研究、行政、技术或材料支持、支持性贡献; 陈洁: 酝酿和设计实验, 实施研究, 对文章的知识性内容作批评性审阅, 获取研究经费, 行政、技术或材料支持, 指导, 支持性贡献

## 参考文献

[1] Ouellette DR, Patel S, Girard TD, et al. Liberation from mechanical

ventilation in critically ill adults: an official American College of Chest Physicians/American Thoracic Society clinical practice guideline: inspiratory pressure augmentation during spontaneous breathing trials, protocols minimizing sedation, and noninvasive ventilation immediately after extubation[J]. Chest, 2017, 151(1): 166–180. DOI: 10.1016/j.chest.2016.10.036.

- [2] Subirà C, Hernández G, Vázquez A, et al. Effect of pressure support vs T-piece ventilation strategies during spontaneous breathing trials on successful extubation among patients receiving mechanical ventilation: a randomized clinical trial[J]. JAMA, 2019, 321(22): 2175–2182. DOI: 10.1001/jama.2019.7234. Erratum in: JAMA, 2019, 322(7): 696. DOI: 10.1001/jama.2019.11119.
- [3] Friedrich JO, Burns KEA. Spontaneous breathing trials and successful extubation[J]. JAMA, 2019, 322(17): 1716. DOI: 10.1001/jama.2019.14217.
- [4] Natalini D, Grieco DL, Santantonio MT, et al. Physiological effects of high-flow oxygen in tracheostomized patients[J]. Ann Intensive Care, 2019, 9(1): 114. DOI: 10.1186/s13613-019-0591-y.
- [5] Li YT, Li HX, Zhang D. Comparison of T-piece and pressure support ventilation as spontaneous breathing trials in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis[J]. Crit Care, 2020, 24(1): 67. DOI: 10.1186/s13054-020-2764-3.
- [6] 李洋, 刘雷, 李阔, 等. 撤机后序贯经鼻高流量湿化氧疗对肺癌根治术后呼吸衰竭患者的影响[J]. 中国现代医学杂志, 2022, 32(5): 7–12. 10.3969/j.issn.1005-8982.2022.05.002.
- [7] 李海亮, 俞云, 张星星, 等. 经鼻高流量氧疗在危重症患者气管插管过程中效果的荟萃分析[J/OL]. 中华重症医学电子杂志, 2024, 10(3): 227–235. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2096-1537.2024.03.004.
- [8] 崔朝妹, 刘静, 庄欣, 等. ICU 成人患者有创机械通气撤机的最佳证据总结[J]. 护理学报, 2021, 28(6): 27–32. DOI: 10.16460/j.issn1008-9969.2021.06.027.
- [9] 徐培峰, 李晓东, 葛慧青. 不同拔管方式对气管导管拔除患者并发症影响的研究[J]. 中华急危重症护理杂志, 2020, 1(6): 512–515. DOI: 10.3761/j.issn.2096-7446.2020.06.007.
- [10] Armarego M, Forde H, Wills K, et al. High-flow nasal cannula therapy for infants with bronchiolitis[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2024, 3(3): CD009609. DOI: 10.1002/14651858.CD009609.pub3.
- [11] 朱秀芳, 韦碧琳, 郑慧芳, 等. T 管与 PSV 自主呼吸试验对重症患者成功撤机后临床转归的影响——一项回顾性队列研究[J/OL]. 中华重症医学电子杂志, 2023, 9(1): 54–61. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2096-1537.2023.01.010.
- [12] Thomas M, Joshi R, Cave G. How much PEEP does high flow deliver via tracheostomy? A literature review and benchtop experiment[J]. Crit Care Res Pract, 2021, 2021: 6036891. DOI: 10.1155/2021/6036891.
- [13] 中国医师协会急诊医师分会, 中华医学会急诊医学分会, 中国急诊专科医联体, 等. 急诊成人经鼻高流量氧疗临床应用专家共识[J]. 中国急救医学, 2021, 41(9): 739–749. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2021.09.002.
- [14] Parke R, McGuinness S, Eccleston M. Nasal high-flow therapy delivers low level positive airway pressure[J]. Br J Anaesth, 2009, 103(6): 886–890. DOI: 10.1093/bja/aep280.
- [15] 俞超, 金佳敏, 周利, 等. 2024 版《成人机械通气撤机临床实践指南: 自主呼吸试验》解读[J]. 军事护理, 2026, 43(1): 6–9, 19. DOI: 10.3969/j.issn.2097-1826.2026.01.002.
- [16] 田贞, 金建龙, 丁俊琪, 等. 痰液分级管理在肺结核患者中的应用效果[J]. 河北医药, 2023, 45(3): 430–432. DOI: 10.3969/j.issn.1002-7386.2023.03.028.
- [17] Burns KEA, Sadeghirad B, Ghadimi M, et al. Comparative effectiveness of alternative spontaneous breathing trial techniques: a systematic review and network meta-analysis of randomized trials[J]. Crit Care, 2024, 28(1): 194. DOI: 10.1186/s13054-024-04958-4.
- [18] Ayyawar H, Bhatia P, Mohammed S, et al. Early weaning from invasive mechanical ventilation via high-flow nasal oxygen versus conventional weaning in patients with hypoxemic respiratory failure: a prospective randomized controlled study[J]. Crit Care Sci, 2025, 37: e20250157. DOI: 10.62675/2965-2774.20250157.
- [19] 王娇, 张秀珑, 张玉想. 高流量湿化氧疗序贯撤机模式在老年撤机困难患者中的应用效果[J]. 中国急救医学, 2021, 41(5): 374–379. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2021.05.002.
- [20] 齐晓玖, 吴欣娟, 高艳红, 等. 《成人经鼻高流量氧疗护理规范》团体标准解读[J]. 中华急危重症护理杂志, 2023, 4(2): 136–139. DOI: 10.3761/j.issn.2096-7446.2023.02.008.

(收稿日期: 2026-04-08)

(本文编辑: 张耘菲)