

高强度无创正压通气研究进展

陈晓蝶, 王晓龙*

重庆医科大学附属第二医院急救科, 重庆

收稿日期: 2025年10月6日; 录用日期: 2025年10月31日; 发布日期: 2025年11月10日

摘要

无创正压通气(Noninvasive Positive Pressure Ventilation, NPPV)作为急、慢性呼吸衰竭的重要干预手段,近年来在各类急性、慢性呼吸衰竭疾病中均取得了显著疗效。然而,传统NPPV在部分重症患者中未能充分改善通气不足与CO₂潴留情况,尤其在严重高碳酸血症、呼吸驱动低下及夜间低通气患者中治疗效果有限。近年来,高强度无创正压通气(High-Intensity Non-Invasive Positive Pressure Ventilation, HI-NPPV)作为一种新的策略应运而生。部分研究发现,HI-NPPV能通过提高吸气压力和潮气量,迅速纠正高碳酸血症,降低PaCO₂浓度,减少呼吸机相关并发症,改善患者生存率。本综述整理了近年来HI-NPPV的相关研究进程,以及其在各类疾病中(包括慢阻肺稳定期、急性加重期、呼吸衰竭及急性心源性肺水肿等)中的应用进展。

关键词

高强度无创正压通气, 慢性阻塞性肺疾病, 高碳酸血症, 呼吸衰竭

Research Progress of High-Intensity Non-Invasive Positive Pressure Ventilation

Xiaodie Chen, Xiaolong Wang*

Emergency Department, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: October 6, 2025; accepted: October 31, 2025; published: November 10, 2025

Abstract

Noninvasive Positive Pressure Ventilation (NPPV) has emerged as a crucial intervention for acute and chronic respiratory failure, demonstrating significant efficacy in various related conditions in recent years. However, conventional NPPV often fails to adequately address hypoventilation and CO₂ retention in some critically ill patients, showing limited effectiveness particularly in cases of severe hypercapnia, reduced respiratory drive, and nocturnal hypoventilation. In recent years, High-Intensity Non-Invasive Positive Pressure Ventilation (HI-NPPV) has emerged as an innovative

*通讯作者。

文章引用: 陈晓蝶, 王晓龙. 高强度无创正压通气研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(11): 791-798.
DOI: 10.12677/acm.2025.15113162

strategy. Some studies have found that HI-NPPV, by increasing inspiratory pressure and tidal volume, can rapidly correct hypercapnia, reduce PaCO₂ levels, decrease ventilator-associated complications, and improve patient survival rates. This review consolidates relevant research on HI-NPPV and its application progress across various diseases, including stable and acute exacerbation phases of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, respiratory failure, and acute cardiogenic pulmonary edema.

Keywords

High-Intensity Non-Invasive Positive Pressure Ventilation, Chronic Obstructive Pulmonary Disease, Hypercapnia, Respiratory Failure

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

无创正压通气(Noninvasive Positive Pressure Ventilation, NPPV)自 20 世纪 80 年代应用于临床以来,已逐渐成为急慢性呼吸衰竭的最重要的治疗手段之一[1] [2]。

传统 NPPV 采用低强度设置,即吸气相气道正压(Inspiratory Positive Airway Pressure, IPAP)为 12~16 cmH₂O,虽然能缓解患者的缺氧症状和通气障碍,但这种保守策略对慢性阻塞性肺疾病合并慢性高碳酸血症性呼吸衰竭(Chronic Hypercapnia Respiratory Failure, CHRF)患者的临床症状改善及长期预后改善均存在一定不足[3] [4]。

而高强度无创正压通气(High-Intensity Non-Invasive Positive Pressure Ventilation, HI-NPPV)作为一种新的通气策略应运而生,从一开始的理论尝试[5],到临床推广[6] [7],最终形成标准化的治疗手段,如今,HI-NPPV 的发展与应用已取得显著进展[8]。

但尽管如此,HI-NPPV 的临床应用仍面临诸多挑战,而本综述旨在整理总结 HI-NPPV 的研究进展,为临床实践提供进一步参考。

2. NPPV 目前的困境

NPPV 经过数十年发展,已成为治疗各类急慢性呼吸衰竭的重要工具,尤其是在慢性阻塞性肺病(Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD)患者的治疗上,能显著降低气管插管率和死亡率等。

然而,传统 NPPV 仍存在部分不足,临床上对 COPD 合并高碳酸血症患者的纠正效果有限,对慢性呼吸衰竭患者的生活质量改善不佳,长期生存获益不明确等等。而有研究[9]表明,约 20%~30%的慢性阻塞性肺病急性加重(Acute Exacerbation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, AECOPD)患者对常规 NPPV 治疗效果不佳,甚至可能因为常规 NPPV 治疗失败而加重病情,延误最佳的气管插管时间。

而 HI-NPPV 的出现为解决这些困境提供了新的途径[10],部分研究表明它可通过更高的气道压力提高肺泡通气量,实现更好的呼吸肌卸载,同时更有效降低 PaCO₂,加速实现患者的血气正常化。

3. HI-NPPV 的概念

HI-NPPV 最初由德国学者 Wolfram 等人[11]提出,他们在研究中试图通过提高吸气压力(IPAP 通常 ≥20 cmH₂O)来加速患者的 PaCO₂ 正常化,而后续的多项随机对照实验[12]-[14]都进一步验证了 HI-NPPV

在急、慢性呼吸衰竭治疗中的有效性。同时, 也有研究[15]显示, HI-NPPV 还能改善 COPD 患者的长期生存率。

而在理论创新和临床研究的基础上, 学者 Dreher M 等人[16]概括性地提出了 HI-NPPV 的定义: 这是一种以实现 PaCO_2 正常化为目标的通气策略, 其主要特征包括 IPAP 20~30 cmH₂O, 目标潮气量 8~10 mL/kg (理想体重), 备用频率 14~16 次/分等参数设定。

实际上, HI-NPPV 并不是严格要求吸气压力必须需要达到某一种压力值才能称为“高强度”。除了远高于传统 NPPV 的 IPAP 外, 与常规吸气压力相比, 最关键的是需要根据不同患者耐受性和血气反应灵活调整压力, 直至达到生理目标或最大耐受限度。

4. HI-NPPV 的优势

传统 NPPV 的主要作用机制是缓解呼吸困难和改善氧合, 但其提供的通气支持往往不足以克服严重的通气障碍, 尤其在患者存在严重肺过度充气、呼吸驱动减弱或人机不同步的情况下, 治疗效果有限[16]。

相比之下, HI-NPPV 在多方面均更具备优势。在生理学上, 更强的 IPAP 能够有效清除 CO_2 , 而更高的驱动压也能产生更大潮气量, 增加肺泡通气量, 迅速改善二氧化碳潴留情况[17]。同时, 有研究[18]通过表面肌电图监测发现, 高压设置能够使患者膈肌 EMG 振幅下降, 而这意味着呼吸肌得到了实质性的休息, 极大地减轻了患者的呼吸肌疲劳。而从长期预后角度来看, 在稳定期 COPD 合并高碳酸血症患者中, HI-NPPV 不仅能显著降低死亡风险, 还能改善患者的生活质量。

5. HI-NPPV 的应用进展

5.1. 慢阻肺稳定期(Stable COPD with Chronic Hypercapnia)

HI-NPPV 的价值不仅在于急性抢救, 更多地在于长期管理。Windisch W 等人的研究指出[11], 在 COPD 稳定期患者身上, HI-NPPV 不仅能迅速降低 PaCO_2 , 研究随访的 3 个月内患者的血气情况也在逐渐改善, 从而提高患者的生活质量。而 Dreher M 的研究[17]也指出, 对于稳定型高碳酸血症 COPD 患者, HI-NPPV 不仅可以更好地清除患者夜间二氧化碳潴留情况, 减轻呼吸困难程度, 还能增加患者的运动能力。Köhnlein 等人研究[19]更是表明, 与常规治疗相比, HI-NPPV 能使慢阻肺稳定期患者的 3 年死亡率相对降低 22%。

而在这些研究的支持下, 目前针对慢阻肺稳定期的患者, 已逐渐形成专家共识[20]: GOLD III~IV 级、日间 $\text{PaCO}_2 \geq 55$ mmHg、且急性加重后持续高碳酸血症超过 4 周的患者, 应优先考虑启动 HI-NPPV 治疗。

5.2. 慢性阻塞性肺疾病急性加重(AECOPD)

HI-NPPV 在 AECOPD 患者中治疗价值也在被逐步挖掘中, 多项随机对照性实验均验证了 HI-NPPV 在 AECOPD 患者中的疗效[21]。2024 年一篇发表在 JAMA 上的随机前瞻性研究[22]纳入 300 例接受 6 h 低强度 NPPV 后 PaCO_2 仍 > 45 mmHg 的 AECOPD 患者, 将患者随机分为高强度组(潮气量目标 10~15 mL/kg)与继续低强度组(6~10 mL/kg), 结果显示: 高强度组达到预设气管插管标准的比例更低。

但值得注意的是, HI-NPPV 虽然能降低符合设气管插管标准的比例, 但是两组的实际插管率其实并无显著差异, 这可能是因为研究允许低强度组患者在达到插管标准前交叉转为高强度治疗, 从而避免了实际插管。而这类“符合插管标准但未实际插管”的现象, 更加凸显了早期转换至 HI-NPPV 的重要性。这提示研究人员, 不应要关注患者的结局最终是否会走向气管插管, 更应重视“治疗失败的进程”, 并在早期进行干预。

很明显,“强度”的提升正是决定患者生死的关键,而对于持续高碳酸血症的 AECOPD 患者,及时升级为 HI-NPPV 能够显著降低治疗失败风险。

5.3. AECOPD 合并严重高碳酸血症

此类患者常伴有严重酸中毒($\text{pH} \leq 7.25$),属于 NPPV 治疗的“灰色地带”,既往临床上一般认为该人群极易失败,使用无创通气可能并不是改善患者的通气障碍,反而会延误治疗,所以应该尽早插管,然而,近几年的研究[23]却挑战了这一观点。

吴晓虞等人研究[24]比较了高压与常规压力 NPPV 对 AECOPD 合并严重 II 型呼吸衰竭的疗效,结果显示,高压组在改善 PaO_2 、降低 PaCO_2 和心率方面均显著优于常规压力组。一项来自重庆医科大学的回顾性病例对照研究[25]纳入 194 例 AECOPD 合并严重 II 型呼吸衰竭患者,通过倾向评分匹配后分析显示,HI-NPPV 组气管插管率及死亡率均显著降低,而在血气改善方面,HI-NPPV 组治疗后 24~48 h 后,患者的氧分压升高,而 PaCO_2 也能逐渐减低。

而这些研究均表明,对于这类极度危重的酸中毒患者,HI-NPPV 也可通过快速改善通气障碍,从而降低患者的死亡率和插管率。

5.4. 其他疾病上的应用: ARDS/心衰/神经肌肉疾病与限制性胸廓病

5.4.1. 急性呼吸窘迫综合征(Acute Respiratory Distress Syndrome, ARDS)

HI-NPPV 在 ARDS 中的应用尚存在争议,部分研究仅探索早期、轻中度 ARDS 或免疫抑制患者的可行性[26]。这可能是因为 ARDS 患者通常病情重、氧合差,患者肺顺应性显著降低,NPPV 可能增加气压伤风险,目前国际指南多建议有创机械通气为首选[27]。

Ferrer M 的研究[28]在重度低氧性呼吸衰竭($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 200$)的情况下,将患者随机分配为 NPPV 组及常规氧疗组,在 NPPV 组中,维持良好的氧合,部分患者使用了较高 IPAP (22~26 cmH_2O)和 PEEP (8~10 cmH_2O),而结果显示,NPPV 组不仅能降低插管需求并减少患者的 ICU 住院时间,同时并不会增加患者的不良反应。这表明,在严密监测下,HI-NPPV 对部分重度低氧患者(包括轻/中度 ARDS)也存在一定有效性。

因此,在临床资源有限或患者明确拒绝插管的情况下,尝试使用 HI-NPPV 作为过渡治疗可能有一定价值,但需要研究者密切监测患者潮气量(目标 $\leq 8 \text{ mL/kg}$ 理想体重)及氧合情况。

5.4.2. 心力衰竭(Heart Failure, HF)

在 HF 尤其是心源性肺水肿患者中,NPPV 虽然显示出独特的应用价值[29],但目前关于 HI-NPPV 应用还需进一步探讨。有研究[30]探讨了 NPPV 对于心功能的影响,研究发现,虽然呼气道压力和较高的吸气压力均可能导致患者心输出量急性下降,但长期应用可降低利钠肽水平,改善心率变异性。

同时也有研究[31]结果发现,尽管 HI-NPPV 增加了胸腔压力波动,但并未引起患者明显的心功能下降,部分患者甚至显示左心射血分数改善,这提示该治疗在确保血流动力学稳定的前提下是安全的。

这类不同的研究结果的异质性值得谨慎思考和斟酌,但显而易见的是,在使用 NPPV 一段时间后,利钠肽水平会下降,心率变异性似乎也有所改善,考虑到现有的生理学数据,也许未来的研究应侧重于长期 NPPV 对心功能和临床结局的影响。

未来还需要进一步研究不同 NIV 模式、压力(低压和高压)以及呼吸频率对心脏的长期影响,特别是当患者存在潜在心脏合并症的情况下。

5.4.3. 呼吸肌疲劳相关疾病

HI-NPPV 虽然主要应用于 COPD 相关的呼吸衰竭,在之前提到的缓解呼吸肌疲劳的生理学机制上,

也有相关研究，例如神经肌肉疾病与限制性胸廓病等。

肌萎缩侧索硬化(Amyotrophic Lateral Sclerosis, ALS)、脊柱侧弯等患者中，有研究[32]系统汇总了无创及有创机械通气在 ALS 的证据，研究结果证明 NPPV 能改善生存与症状，但研究中使用的压力强度差异，研究结果的异质性和证据质量差异仍然需要进一步谨慎解释。

这可能是因为在这类疾病中高强度 NPPV 的概念与 COPD 研究中的高强度吸气末正压以纠正慢性高碳酸血症的理论并不完全一致，因为 ALS/胸廓畸形患者中通气参数通常根据患者需求个体化调整，其目的只是改善患者的夜间通气并减轻呼吸肌负担。但从 HI-NPPV 本身能够减少呼吸肌做功的生理角度来讲，未来的研究方向也应该在这一方面进一步深入。

从 Windisch 和 Dreher 团队提出 HI-NPPV 概念，到临床应用扩展阶段，探索 HI-NPPV 在 AECOPD 中的应用，验证其在急性加重期的有效性，最后建立临床实践指南，以及开始逐渐过度到精准治疗阶段，清晰地展示了 HI-NPPV 研究从概念提出到临床应用验证的完整发展历程(见表 1)。

Table 1. HI-NPPV clinical research progress
表 1. HI-NPPV 临床研究进展

年份	研究者	研究设计	研究人群	干预细节	关键结局
2009	Windisch W 等	前瞻性研究	稳定期高碳酸血症 COPD 患者	HI-NPPV 治疗	迅速降低 PaCO ₂ ，随访 3 个月内血气持续改善
2010	Dreher M 等	随机交叉试验	稳定期高碳酸血症 COPD 患者	HI-NPPV vs 低强度 NPPV	更好地清除夜间 CO ₂ 潴留，减轻呼吸困难，增加运动能力
2012	Lukácsovits J 等	生理学研究	COPD 患者	低强度 vs 高强度 NIV	揭示高强度 NIV 的生理机制优势
2014	Köhnlein T 等	多中心随机对照试验	稳定期 COPD 合并高碳酸血症患者	HI-NPPV vs 常规治疗	HI-NPPV 使 3 年死亡率相对降低 22%，显著改善长期生存率
2014	Galli JA 等	临床研究	AECOPD 后高碳酸血症患者	家庭 NPPV 使用	探索家庭 NPPV 在急性加重后的应用价值
2018	吴晓虞等	临床研究	AECOPD 合并严重 II 型呼吸衰竭患者	高压 NPPV vs 常规 NPPV	高压组在改善 PaO ₂ 、降低 PaCO ₂ 和心率方面显著更优
2022	Luo Z 等	随机对照试验	AECOPD 患者	HI-NPPV vs 低强度 NPPV	验证 HI-NPPV 在 AECOPD 中的生理效应优势
2024	Luo Z 等(JAMA)	随机对照试验	300 例 AECOPD 患者	高强度 vs 低强度 NPPV	高强度组达到预设气管插管标准的比例更低，强调早期转换重要性
2024	姜锐	回顾性病例对照研究	194 例 AECOPD 合并严重 II 型呼吸衰竭患者	HI-NPPV vs 常规治疗	HI-NPPV 组气管插管率及死亡率显著降低

6. HI-NPPV 的局限性

HI-NPPV 脱胎于传统的无创正压通气，虽然存在着新的应用潜力，但仍然无法避免 NPPV 本身的一些局限性，包括面罩带来的不良反应，例如局部皮肤压伤，胃肠胀气等等，同时，过高的气道压力可能肺泡过度膨胀，增加气胸、纵膈气肿等气压伤的风险，尤其对于合并肺部基础疾病的患者。

有研究表明[33]，自主呼吸驱动过强的 ARF 患者使用 NPPV 时，可能导致过大跨肺压和潮气量，加重肺损伤，研究者引用了数字孪生模型模拟了 NIV 期间不恰当参数设置诱发患者自我诱导性肺损伤 (Patient-Self Inflicted Lung Injury, P-SILI)的过程。这无疑对 NIV 临床实践提出新警示，研究人员在关注气体交换时，必须关注呼吸驱动和肺保护性。

此外, 为改善 NPPV 初期患者耐受性和人机同步性, 临床上的医生有时候会选择适量用镇静药物, 但实际上却存在安全性的质疑, 有 Meta 分析[34]指出, NIV 期间使用镇静药物可能增加患者死亡率。可能机制是过度镇静抑制呼吸驱动和咳嗽反射, 掩盖病情恶化迹象, 延误升级治疗时机。

尽管目前的无创呼吸机技术日臻完善, 医生对无创正压通气的运用手段也越发精准, 但在临床上“何时启动”仍是悬而未决的关键问题, 哪一类的病人能在 HI-NPPV 中得到最大获益, 而危重患者是选择 HI-NPPV 来过渡, 还是直接选择气管插管?

过早启动可能造成医疗资源浪费和患者不必要的负担, 而过晚启动无疑可能错失疾病的最佳干预时机。有研究[35]前瞻性地讨论过类似的问题, 指出对 AECOPD 出院后患者精准分层是关键, 后续更是基于大型医疗数据库的回顾性研究[36], 尝试分析患者启动家庭 NPPV 前的“健康轨迹”, 如急性加重频率、住院次数等, 以找到预测哪些患者最能从早期干预获益的模式。这表明未来可通过大数据分析 with 机器学习算法, 实现对 H-NIV 启动时机的个性化预测。

7. HI-NPPV 的未来展望

NPPV 的研究焦点从最初验证有效性, 转向了如何优化 NPPV 的应用, 在多种疾病的应用与尝试, 个体化的通气模式和参数调整, 这种从普适性治疗向精准化治疗模式的转变, 标志着 NIV 领域逐渐步入成熟发展阶段。

而 HI-NPPV 作为在传统 NPPV 基础上发展出来的新通气策略, 通过提高吸气压力的手段, 能在多种以高碳酸血症为主的呼吸衰竭情形中更有效地降低 PaCO₂、减轻呼吸肌负担并在一定程度上降低患者插管率与死亡率。它的验证和普及无疑是近年来 NIV 领域最重大的突破之一, 这不仅是压力强度的改变, 更多地揭示了患者从“被动耐受”到“主动干预”的通气治疗理念变化, 而研究者也不再满足于仅仅将 NPPV 当作辅助治疗, 反而是致力于实现明确的生理目标——即最大程度地卸载呼吸肌做功和高效地清除二氧化碳。

虽然现有证据, 包含多项 RCT、前瞻性研究及回顾性队列均肯定了 HI-NPPV 在稳定期高碳酸血症 COPD 与 AECOPD 患者中的应用价值, 但仍需更大规模、多中心的研究来明确 HI-NPPV 的最佳适应症、使用的安全性, 患者的长期获益与生存改善率, 以及在其他疾病中的应用潜力等。

而其中, 患者精准分层的关键性毋庸置疑, 临床上目前仍缺乏高度准确的预测模型来识别 NIV 治疗成功或失败的患者, 而未来的重要方向有可能是结合临床表型、影像学、血气分析、肺力学参数、基因组学和蛋白质组学数据, 利用机器学习和人工智能技术构建更精准的预测模型。

同时不能忽略最重要的一点, 虽然 HI-NPPV 强调高压力, 但“多高才是合适”以及如何根据患者具体情况进行个体化滴定, 仍缺乏统一标准。而不论是传统还是高压力无创通气的治疗中, 人机不同步是导致治疗失败和导致患者不适的最常见因素。所以, 精准评估呼吸驱动、智能响应患者呼吸需求是未来技术突破的关键。

而随着研究的深入和技术的进步, HI-NPPV 将不再是一种“备选”或“抢救性”策略, 而会成为呼吸支持领域中一个更加主流、更加精准、更加强有力的治疗工具, 为广大呼吸衰竭患者带来更美好的预后和更高质量的生活。

基金项目

重庆市卫生适宜技术推广项目 2025jsstg012。

参考文献

- [1] Rochwerg, B., Brochard, L., Elliott, M.W., Hess, D., Hill, N.S., Nava, S., *et al.* (2017) Official ERS/ATS Clinical

- Practice Guidelines: Noninvasive Ventilation for Acute Respiratory Failure. *European Respiratory Journal*, **50**, Article ID: 1602426. <https://doi.org/10.1183/13993003.02426-2016>
- [2] Casanova, C., Celli, B.R., Tost, L., Soriano, E., Abreu, J., Velasco, V., *et al.* (2000) Long-Term Controlled Trial of Nocturnal Nasal Positive Pressure Ventilation in Patients with Severe COPD. *Chest*, **118**, 1582-1590. <https://doi.org/10.1378/chest.118.6.1582>
 - [3] Osadnik, C.R., Tee, V.S., Carson-Chahhoud, K.V., Picot, J., Wedzicha, J.A. and Smith, B.J. (2017) Non-Invasive Ventilation for the Management of Acute Hypercapnic Respiratory Failure Due to Exacerbation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2017**, CD004104. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd004104.pub4>
 - [4] Ram, F.S., Picot, J., Lightowler, J. and Wedzicha, J.A. (2004) Non-Invasive Positive Pressure Ventilation for Treatment of Respiratory Failure Due to Exacerbations of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, No. 3, CD004104.
 - [5] Meecham Jones, D.J., Paul, E.A., Jones, P.W. and Wedzicha, J.A. (1995) Nasal Pressure Support Ventilation plus Oxygen Compared with Oxygen Therapy Alone in Hypercapnic COPD. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **152**, 538-544. <https://doi.org/10.1164/ajrcm.152.2.7633704>
 - [6] Lukácsovits, J., Carlucci, A., Hill, N., Ceriana, P., Pisani, L., Schreiber, A., *et al.* (2011) Physiological Changes during Low- and High-Intensity Noninvasive Ventilation. *European Respiratory Journal*, **39**, 869-875. <https://doi.org/10.1183/09031936.00056111>
 - [7] Windisch, W., Dreher, M., Geiseler, J., Siemon, K., Brambring, J., Dellweg, D., *et al.* (2017) S2k-Leitlinie: Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz—Revision 2017. *Pneumologie*, **71**, 722-795. <https://doi.org/10.1055/s-0043-118040>
 - [8] Dretzke, J., Wang, J., Yao, M., Guan, N., Ling, M., Zhang, E., *et al.* (2022) Home Non-Invasive Ventilation in COPD: A Global Systematic Review. *Chronic Obstructive Pulmonary Diseases: Journal of the COPD Foundation*, **9**, 237-251. <https://doi.org/10.15326/jcopdf.2021.0242>
 - [9] Lightowler, J.V., Wedzicha, J.A., Elliott, M.W. and Ram, F.S. (2003) Non-Invasive Positive Pressure Ventilation to Treat Respiratory Failure Resulting from Exacerbations of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Cochrane Systematic Review and Meta-Analysis. *BMJ*, **326**, Article No. 185. <https://doi.org/10.1136/bmj.326.7382.185>
 - [10] Huang, Q.Y., Zha, S.S., Guan, L.L., He, Z.F., Niu, J.Y. and Chen, R.C. (2025) Clinical Research Progress in Non-Invasive Positive Pressure Ventilation from 2023 to 2024. *Chinese Journal of Tuberculosis and Respiratory Diseases*, **48**, 154-158.
 - [11] Windisch, W., Haenel, M., Storre, J.H. and Dreher, M. (2009) High-Intensity Non-Invasive Positive Pressure Ventilation for Stable Hypercapnic COPD. *International Journal of Medical Sciences*, **6**, 72-76. <https://doi.org/10.7150/ijms.6.72>
 - [12] Windisch, W., Storre, J.H. and Köhnlein, T. (2015) Nocturnal Non-Invasive Positive Pressure Ventilation for COPD. *Expert Review of Respiratory Medicine*, **9**, 295-308. <https://doi.org/10.1586/17476348.2015.1035260>
 - [13] Galli, J.A., Krahnke, J.S., James Mamary, A., Shenoy, K., Zhao, H. and Criner, G.J. (2014) Home Non-Invasive Ventilation Use Following Acute Hypercapnic Respiratory Failure in COPD. *Respiratory Medicine*, **108**, 722-728. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2014.03.006>
 - [14] Nathani, A., Hatipoğlu, U. and Mireles-Cabodevila, E. (2023) Noninvasive Positive Pressure in Acute Exacerbations of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, **29**, 112-122. <https://doi.org/10.1097/mcp.0000000000000937>
 - [15] Liao, H., Pei, W., Li, H., Luo, Y., Wang, K., Li, R., *et al.* (2017) Efficacy of Long-Term Noninvasive Positive Pressure Ventilation in Stable Hypercapnic COPD Patients with Respiratory Failure: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, **12**, 2977-2985. <https://doi.org/10.2147/copd.s148422>
 - [16] Dreher, M., Storre, J.H., Schmoor, C. and Windisch, W. (2010) High-Intensity versus Low-Intensity Non-Invasive Ventilation in Patients with Stable Hypercapnic COPD: A Randomised Crossover Trial. *Thorax*, **65**, 303-308. <https://doi.org/10.1136/thx.2009.124263>
 - [17] Weir, M., Marchetti, N., Czyst, A., Hill, N., Sciurba, F., Strollo, P., *et al.* (2015) High Intensity Non-Invasive Positive Pressure Ventilation (HINPPV) for Stable Hypercapnic Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) Patients. *Chronic Obstructive Pulmonary Diseases: Journal of the COPD Foundation*, **2**, 313-320. <https://doi.org/10.15326/jcopdf.2.4.2015.0145>
 - [18] Duiverman, M.L., Huberts, A.S., van Eykern, L.A., Bladder, G. and Wijkstra, P.J. (2017) Respiratory Muscle Activity and Patient-Ventilator Asynchrony during Different Settings of Noninvasive Ventilation in Stable Hypercapnic COPD: Does High Inspiratory Pressure Lead to Respiratory Muscle Unloading? *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, **12**, 243-257. <https://doi.org/10.2147/copd.s119959>

- [19] Köhnlein, T., Windisch, W., Köhler, D., Drabik, A., Geiseler, J., Hartl, S., *et al.* (2014) Non-Invasive Positive Pressure Ventilation for the Treatment of Severe Stable Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Prospective, Multicentre, Randomised, Controlled Clinical Trial. *The Lancet Respiratory Medicine*, **2**, 698-705. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(14\)70153-5](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(14)70153-5)
- [20] MacIntyre, N.R., Wilson, K.C., Ely, E.W., *et al.* (2021) Long-Term Non-Invasive Ventilation in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD): 2021 Canadian Thoracic Society Clinical Practice Guideline Update. *Canadian Journal of Respiratory, Critical Care, and Sleep Medicine*, **5**, 199-215.
- [21] Luo, Z., Cao, Z., Li, Y., Jin, J., Sun, W., Zhu, J., *et al.* (2022) Physiological Effects of High-Intensity versus Low-Intensity Noninvasive Positive Pressure Ventilation in Patients with Acute Exacerbation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Randomised Controlled Trial. *Annals of Intensive Care*, **12**, Article No. 41. <https://doi.org/10.1186/s13613-022-01018-4>
- [22] Luo, Z., Li, Y., Li, W., Li, Y., Nie, Q., Shi, Y., *et al.* (2024) Effect of High-Intensity vs Low-Intensity Noninvasive Positive Pressure Ventilation on the Need for Endotracheal Intubation in Patients with an Acute Exacerbation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: The HAPPEN Randomized Clinical Trial. *JAMA*, **332**, 1709-1722. <https://doi.org/10.1001/jama.2024.15815>
- [23] Squadrone, E., Frigerio, P., Fogliati, C., Gregoretti, C., Conti, G., Antonelli, M., *et al.* (2004) Noninvasive vs Invasive Ventilation in COPD Patients with Severe Acute Respiratory Failure Deemed to Require Ventilatory Assistance. *Intensive Care Medicine*, **30**, 1303-1310. <https://doi.org/10.1007/s00134-004-2320-7>
- [24] 吴晓虞, 等. 高压无创通气对 COPD 合并严重 II 型呼吸衰竭的临床疗效[J]. 浙江医学教育, 2018, 17(3): 49-51.
- [25] Jiang, R., Li, X.J., He, Y.H., Li, Y.L. and Wang, X.L. (2024) Clinical Efficacy of HI-NPPV in the Treatment of AECOPD Combined with Severe Type II Respiratory Failure. *Journal of Central South University. Medical Science*, **49**, 266-272.
- [26] Ferreyro, B.L., Angriman, F., Munshi, L., Del Sorbo, L., Ferguson, N.D., Rochwerf, B., *et al.* (2020) Association of Noninvasive Oxygenation Strategies with All-Cause Mortality in Adults with Acute Hypoxemic Respiratory Failure: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA*, **324**, 57-67. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.9524>
- [27] Venkatesan, P. (2024) Updated ESICM Guidelines on Ards. *The Lancet Respiratory Medicine*, **12**, 16-18. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(23\)00460-5](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(23)00460-5)
- [28] Ferreyro, B.L., *et al.* (2020) Noninvasive Ventilation for Hypoxemic Respiratory Failure. *JAMA*, **324**, 572-580.
- [29] Zanza, C., Saglietti, F., Tesauro, M., Longhitano, Y., Savioli, G., Balzanelli, M.G., *et al.* (2023) Cardiogenic Pulmonary Edema in Emergency Medicine. *Advances in Respiratory Medicine*, **91**, 445-463. <https://doi.org/10.3390/arm91050034>
- [30] Budweiser, S., Hitzl, A.P., Jörres, R.A., *et al.* (2007) Long-Term Noninvasive Ventilation in Patients with Chronic Hypercapnic Respiratory Failure: Assisting the Diaphragm, but Threatening the Heart? *Chest*, **131**, 1478-1487.
- [31] Duiverman, M.L., Maagh, P., Magnet, F.S., Schmoor, C., Arellano-Maric, M.P., Meissner, A., *et al.* (2017) Impact of High-Intensity-Niv on the Heart in Stable COPD: A Randomised Cross-Over Pilot Study. *Respiratory Research*, **18**, Article No. 76. <https://doi.org/10.1186/s12931-017-0542-9>
- [32] Radunovic, A., Annane, D., Rafiq, M.K., Brassington, R. and Mustafa, N. (2017) Mechanical Ventilation for Amyotrophic Lateral Sclerosis/Motor Neuron Disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2018**, CD004427. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd004427.pub4>
- [33] Weaver, L., Shamohammadi, H., Saffaran, S., Tonelli, R., Laviola, M., Laffey, J.G., *et al.* (2024) Digital Twins of Acute Hypoxemic Respiratory Failure Patients Suggest a Mechanistic Basis for Success and Failure of Noninvasive Ventilation. *Critical Care Medicine*, **52**, e473-e484. <https://doi.org/10.1097/ccm.0000000000006337>
- [34] Dunbar, P.J., Peterson, R., McGrath, M., Pomponio, R., Kiser, T.H., Ho, P.M., *et al.* (2024) Analgesia and Sedation Use during Noninvasive Ventilation for Acute Respiratory Failure. *Critical Care Medicine*, **52**, 1043-1053. <https://doi.org/10.1097/ccm.0000000000006253>
- [35] Duiverman, M.L., Windisch, W., Storre, J.H. and Wijkstra, P.J. (2016) The Role of NIV in Chronic Hypercapnic COPD Following an Acute Exacerbation: The Importance of Patient Selection? *Therapeutic Advances in Respiratory Disease*, **10**, 149-157. <https://doi.org/10.1177/1753465815624645>
- [36] Pepin, J., Lemeille, P., Denis, H., Josseran, A., Lavergne, F., Panes, A., *et al.* (2023) Health Trajectories before Initiation of Non-Invasive Ventilation for Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A French Nationwide Database Analysis. *The Lancet Regional Health—Europe*, **34**, Article ID: 100717. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2023.100717>