

经鼻高流量氧疗用于小儿喉气道手术自主呼吸麻醉的临床研究进展

袁锐, 徐颖*

重庆医科大学附属儿童医院麻醉科, 儿童少年健康与疾病国家临床医学研究中心, 儿童发育疾病研究教育部重点实验室, 重庆市卫生健康委儿童重要器官发育与疾病重点实验室, 重庆

收稿日期: 2026年3月9日; 录用日期: 2026年4月3日; 发布日期: 2026年4月13日

摘要

小儿喉气道手术因患儿独特的解剖生理特征及“共享气道”的手术特殊性, 围术期氧合与通气管管理面临极高挑战。经鼻高流量氧疗(high-flow nasal cannula, HFNC)作为一种支持自主呼吸的新型非侵入性技术, 凭借高流量输送、呼气末正压、死腔冲刷等机制, 在提供稳定氧合的同时, 允许患儿保留自主呼吸。相较于控制呼吸, HFNC避免了肌松药与机械通气的干扰, 显著降低了气道黏膜损伤、喉痉挛等不良反应, 且能优化术野暴露, 提升围术期生理适配性, 缩短术后恢复时间。目前, HFNC在小儿喉气道手术中的应用已从初步可行性验证, 向参数个体化优化与多场景拓展方向深入, 但临床应用中仍存在疗效异质性、特殊人群适配争议及安全风险管控等问题, 且缺乏大样本多中心长期随访研究。本文系统综述HFNC的技术机制、在小儿喉气道手术中的应用优势、研究现状及现存挑战, 为该技术在小儿喉气道手术麻醉中的个体化应用与优化提供科学参考。

关键词

小儿喉气道手术, 经鼻高流量氧疗(HFNC), 自主呼吸麻醉, 共享气道, 围术期管理

Clinical Research Progress of High-Flow Nasal Cannula in Spontaneous Breathing Anesthesia for Pediatric Laryngeal Surgery

Rui Yuan, Ying Xu*

Department of Anesthesiology, Children's Hospital of Chongqing Medical University, National Clinical Research Center for Children and Adolescents' Health and Diseases, Ministry of Education Key Laboratory of Child Development and Disorders, Chongqing Municipal Health Commission Key Laboratory of Children's Vital Organ Development and Diseases, Chongqing

*通讯作者。

文章引用: 袁锐, 徐颖. 经鼻高流量氧疗用于小儿喉气道手术自主呼吸麻醉的临床研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 2540-2547. DOI: 10.12677/acm.2026.1641505

Abstract

Pediatric laryngotracheal surgery presents major challenges for perioperative oxygenation and ventilation due to the unique anatomy and physiology of children and the shared airway condition. As a novel noninvasive technique for supporting spontaneous respiration, high-flow nasal cannula (HFNC) delivers stable oxygenation while allowing patients to maintain spontaneous breathing through mechanisms including high-flow delivery, positive end-expiratory pressure, and dead space flushing. Compared with conventional tracheal intubation, HFNC reduces airway complications, improves surgical exposure, and accelerates postoperative recovery. The application of HFNC has evolved from feasibility verification to individualized optimization and wider implementation. However, challenges remain, including heterogeneous efficacy, debates in special populations, and safety management. Large-scale, multicenter, long-term studies are still insufficient. This review summarizes the mechanisms, benefits, current status, and challenges of HFNC in pediatric laryngotracheal surgery, providing evidence for its individualized anesthetic application.

Keywords

Pediatric Laryngeal Airway Surgery, High-Flow Nasal Cannula (HFNC), Spontaneous Breathing Anesthesia, Shared Airway, Perioperative Management

Copyright © 2026 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. 前言

近年来, 小儿喉气道相关疾病(如喉部良恶性病变、声门/声门下狭窄、喉软化及各类气道畸形等)的诊疗需求增加, 喉显微、喉气管内镜等“共享气道(shared airway)”手术量随之上升。此类手术的核心挑战在于: 麻醉通气与外科操作必须在同一条狭窄气道内协同完成——既要保障氧合与通气, 又要最大化暴露术野、减少器械干扰, 同时尽量降低插管相关机械性损伤与术后喉部并发症风险[1]-[3]。传统气管插管全身麻醉虽可提供稳定通气, 但属侵入性操作且需打断自主呼吸, 易引发喉头水肿、声带损伤等并发症, 在合并气道畸形或功能不全的患儿中风险更高, 可影响手术安全与预后[2]。经鼻高流量氧疗(high-flow nasal cannula, HFNC)作为新型非侵入性呼吸支持技术, 可通过温湿化高流量混合气体实现相对稳定的氧浓度供给, 并产生一定的气道正压与死腔冲刷效应, 优化通气/血流比值、减少解剖死腔, 从而提升氧合与通气效率, 近年来逐步应用于小儿喉气道手术的麻醉管理[4] [5]。

2. 经鼻高流量氧疗(High-Flow Nasal Cannula, HFNC)的技术特点与作用机制

鉴于小儿气道解剖生理的特殊性(管腔狭窄、黏膜血管丰富), 围术期需极力避免因气道操作引发的水肿及呼吸波动。不同于传统控制通气易导致的人机不同步及气道高压风险, HFNC 通过“无创支持自主呼吸”的模式, 实现了更优的生理适配。其提供的温湿化高流量气体不仅能形成动态气道正压以对抗气道塌陷, 还能有效冲刷解剖死腔, 降低吸气阻力。在保留自主呼吸的过程中, HFNC 避免了肌松药与机械通气对气道的机械性刺激, 显著降低了喉痉挛及气道黏膜损伤等不良反应; 同时, 患儿无需深度镇静

即可耐受, 使得在应对手术刺激时, 呼吸中枢能保持一定的代偿调节能力, 从而维持更精准的通气/血流匹配。

经鼻高流量氧疗(HFNC)依托五大核心机制——高流量气体输送、呼气末正压效应、死腔冲刷、气道湿化保护及呼吸做功降低——为患儿提供稳定可靠的氧合支持, 进而优化呼吸功能。该技术以鼻导管为输送途径, 提供经过充分加温湿化的高流量混合气体, 主要设备包括空氧混合单元、加温湿化系统及专用高流量鼻塞, 可依据患儿个体差异对吸入氧浓度与气体流量实施精准调节。加温湿化处理能够有效减少气道黏膜刺激, 提高患儿耐受程度, 其临床应用价值已得到多项研究证实与专家共识认可[4][6]。具体机制如下:

2.1. 高流量气体输送: 保障氧浓度与流量稳定

通过空氧混合装置精准配比空气与氧气, 可提供 21%~100%恒定吸氧浓度(F_{iO_2}); 湿化治疗仪将气体温度调控至 31℃~37℃、湿度接近 100%, 模拟人体生理气道环境, 降低气道刺激性[5][6]。其气体流量可达 8~80 L/min, 显著高于传统鼻导管(1~6 L/min)及面罩(5~15 L/min), 可满足患者吸气峰流量需求, 减少环境空气混入, 保障氧浓度稳定[4][5]。

2.2. 呼气末正压(PEEP)效应: 维持肺泡开放, 优化氧合功能

高流量气体在呼气末可形成 2~8 cmH₂O 持续正压, 等效于低水平 PEEP, 可有效抑制肺泡塌陷、增加功能残气量(FRC), 改善氧合[3][6][7]。该效应在急性低氧性呼吸衰竭(如肺炎、ARDS)患者中尤为适用, 可减少肺内分流, 提升动脉血氧分压(P_{aO_2}) [6][7]。

2.3. 死腔冲刷效应: 减少二氧化碳重复吸入, 提升通气效率

高流量气体(如 80 L/min)可快速冲刷鼻咽部约 150 ml 解剖死腔, 降低呼气末二氧化碳(CO₂)残留量, 减少吸气时 CO₂ 重复吸入, 降低无效腔通气[6][8]。该效应可降低患者呼吸频率, 优化通气/血流比例(V/Q 比值), 减轻呼吸负荷, 提升呼吸效率[4][5]。

2.4. 气道湿化与保护: 维持黏液纤毛功能, 降低肺部感染风险

HFNC 提供接近体温(37℃)、饱和湿度(100% RH)的温湿化气体, 可防止气道黏膜干燥, 维持黏液纤毛清除系统生理功能, 保障痰液引流通畅[4][5]。其可降低痰液黏稠度、促进排痰, 进而减少肺部感染发生风险, 尤其适用于慢性阻塞性肺疾病(COPD)急性加重期患者的呼吸功能辅助改善[6][7]。

2.5. 降低呼吸做功: 缓解呼吸肌疲劳, 提高患者耐受性

高流量气体可支撑鼻咽部结构, 降低上气道阻力, 减少患者吸气时的阻力负荷, 从而降低呼吸做功, 缓解呼吸肌疲劳[4][5]。同时, 温湿化气体可避免气道额外承担加温加湿负荷, 减少机体能量消耗, 进一步提升患者舒适度, 适用于心功能不全等耐受度较低的患者[6][7]。

3. 小儿喉气道手术的特殊性

小儿喉气道手术是麻醉学与耳鼻咽喉头颈外科交叉领域中风险极高、管理难度极大的专科方向。小儿并非成人的简单缩小, 其独特的解剖与生理特点, 决定了围术期气道管理高度复杂且危险[1][2]; 解剖上, 小儿喉腔呈漏斗状, 声门下区狭窄, 黏膜柔嫩疏松易水肿, 喉软骨柔软易受压变形, 轻微刺激即可引发气道梗阻[1]; 生理学上, 患儿高代谢、低储备特征, 氧耗量高达成人的 2 倍(约 6~8 ml/(kg·min)), 而潮气量仅 6~7 ml/kg, 氧合崩溃时间窗极短, 且呼吸做功主要依赖膈肌、呼吸肌薄弱易疲劳, 气道狭窄还

使气流阻力呈指数级增加(符合 Poiseuille 泊肃叶定律), 显著升高围术期呼吸衰竭风险[2][3]; 在术中管理层面, 需要在通气保障与术野暴露之间取得动态平衡; 小儿困难气道发生率较高, 且激光手术还存在气道燃爆等潜在安全风险, 进一步提升管理难度[2]。

小儿喉气道手术的“结构性矛盾”在于: 一方面患儿氧储备低、氧耗高, 任何短暂通气受限都可能迅速导致去饱和[2][3]; 另一方面外科操作需要尽可能“无管化”, 以减少气道内异物占位、提升视野与操作精度[1]。HFNC 的关键价值在于对这一矛盾的缓解——在释放术野的前提下提高氧合容错并争取时间窗。

首先, HFNC 经鼻供氧无需气道内导管, 占位小, 可在很大程度上释放声门/声门下操作空间, 减少器械与导管相互干扰, 降低导管移位造成的通气不稳定风险, 有利于精细、短小、需频繁器械进出的喉气道操作。其次, HFNC 提供温湿化高流量混合气体, 可通过一定的 PEEP 与死腔冲刷效应改善氧合稳定性, 使自主呼吸麻醉策略在相对较浅麻醉深度下仍可能维持可接受的氧合安全边界, 从而降低深镇静/深麻醉导致的呼吸抑制风险。再次, HFNC 的非侵入性符合减少气道机械性损伤的理念, 可能降低插管与拔管相关的喉部刺激、水肿与不适, 促进术后恢复体验[4]-[7]。

需要强调的是, HFNC 并非“完全通气替代”。在共享气道手术中, 其更应被定位为: 以无管化优势换取术野与操作自由度[10], 同时借助生理机制提高氧合稳定性与容错[4]。其净获益高度依赖病例筛选(年龄/体重、病变部位与程度、基础通气储备)、手术时长与方式、麻醉方案(镇静深度、肌松策略)以及是否建立可靠的 CO₂ 监测与转换通气预案。

4. HFNC 与传统通气方式比较

4.1. 非侵入性特性降低气道相关并发症风险

传统气管插管作为一种控制呼吸模式, 需通过导管建立人工气道, 不仅直接摩擦、压迫小儿娇嫩的气道黏膜与声带, 易致喉头水肿、出血等并发症[9], 更因抑制自主呼吸而干扰生理防御机制。对于气道畸形或功能不全的高危患儿, 这种“有创替代”风险极高, 相关指南推荐优先采用非侵入性通气[10]。相比之下, HFNC 的核心优势在于“支持而不替代”患儿的自主呼吸: 它通过经鼻输送温湿化高流量气体, 在不建立人工气道的前提下提供通气支持, 既彻底规避了气管导管对气道的机械性摩擦与压迫, 又保留了患儿自主呼吸的生理节律与气道反射[10]。研究证实, 得益于这种对自主呼吸的尊重与保护, HFNC 应用于小儿喉气道手术时, 术后气道并发症发生率较传统插管降低 40%~60%, 且无严重永久性损伤[11], 这一显著的安全性优势, 使其成为减少气道机械性损伤的理想策略, 并与 2023 年欧洲重症医学会 ARDS 指南推荐的非侵入性支持原则高度一致[12]。

4.2. 通气灵活性适配手术操作需求

小儿喉气管手术中, 麻醉通气与外科操作需共享狭窄气道, 传统气管插管导管会占据气道容积、限制术野, 精细手术中还可能因器械干扰移位, 增加通气不稳定风险。HFNC 无需气道内导管, 经鼻腔提供通气支持, 可完全释放手术操作空间, 便于外科医生精准操作; 且支持自主呼吸, 无需深度镇静即可维持稳定通气, 减少麻醉药物对呼吸中枢的抑制, 降低相关风险, 更适配短小精细的小儿喉气管手术[13]。

4.3. 生理适配性优化氧合与通气效率

小儿气道具有管腔狭窄、黏膜血管丰富、呼吸频率快等特点, 传统气管插管固定潮气量通气易与自主呼吸冲突, 引发气道压力异常或通气不足, 手术刺激致呼吸频率波动时更易出现通气/血流比值失衡[14]。HFNC 通过气道动态正压防塌陷、37℃ 且相对湿度 100% 的温湿化气体适配气道生理、持续气流冲刷死腔

提升肺泡通气效率, 实现更优生理适配[15]; 临床数据显示, 小儿喉气管手术中 HFNC 组术中 $\text{SpO}_2 \geq 95\%$ 时间占比达 98.2%, 显著高于传统插管组的 92.7%, 且术中低氧血症($\text{SpO}_2 < 90\%$)发作次数减少 75% [17]。

4.4. 术后恢复与长期预后更具优势

传统气管插管麻醉后拔管的气道刺激易引发呛咳、血压及心率异常等应激反应, 增加术后喉头水肿复发、切口出血风险, 且插管相关气道损伤会延长声嘶、咳嗽等症状持续时间[18]。HFNC 无需拔管, 术后可直接撤离鼻腔导管, 避免拔管相关应激反应及二次气道损伤; 其温湿化通气可促进气道黏膜修复, 减少分泌物滞留, 降低术后肺部感染、肺不张风险。此外, HFNC 对麻醉深度要求较低, 可缩短患儿术后苏醒时间及麻醉复苏室停留时间(平均 30~60 分钟), 缩短住院周期, 长期随访未发现通气相关不良预后 [19] [20]。

5. 研究现状

5.1. 早期研究: HFNC 的初步探索与可行性验证

HFNC 最初用于成人呼吸功能不全患者, 研究证实其通过温湿化高流量气体输送, 可改善成人氧合指数($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$)、降低呼吸频率、优化通气效率[16]。随着技术成熟及小儿麻醉理念更新, HFNC 被拓展至小儿群体, 聚焦喉气道手术自主呼吸麻醉通气支持。早期小样本观察研究对比传统通气方式, 初步证实其在小儿喉气道手术中应用可行, 可维持术中稳定氧合并无严重通气相关并发症[11] [13]。为其推广奠定临床基础并明确非侵入性通气优势。

5.2. 近期研究: HFNC 的优化策略与应用场景拓展

近年来, HFNC 在小儿喉气道手术中的研究向精准化优化与多场景拓展深入, 已形成较系统证据体系[21]-[23]。优化策略方面, 参数个体化调控为核心, 基于年龄、体重等的精准设置方案日趋成熟。针对肥胖患者、阻塞性睡眠呼吸暂停患者等特殊人群, 研究证实采用阶梯式流量调节(如初始 30~40 L/min 逐步升至 50~70 L/min)结合 45°头高位摆放, 可使安全窒息时间延长 30%以上, 显著降低麻醉诱导期低氧血症发生率[24] [25]。而针对小儿患者, 采用 2~3 L/kg/min 体重相关流量配合动态 FiO_2 滴定(维持 SpO_2 94%~98%), 可保障氧合并减少气道刺激[26] [27]。此外, HFNC 与其他呼吸支持技术联合优化亦有进展, 麻醉诱导期联合无创通气预充氧可提升 EtO_2 达标率 25%~30% [28] [29]。

无管喉咽手术中, HFNC 及其升级技术 THRIVE (经鼻湿化快速充气通气交换)通过提供持续气道正压与高效死腔冲刷, 成功解决了手术视野暴露与术中氧合维持的矛盾, 在成人喉显微手术中使术中 $\text{SpO}_2 \geq 95\%$ 的时间占比达 95%以上, 且气道并发症发生率较传统通气方式降低 60% [30]-[32]。尽管在小儿无管气道手术中其优势尚未完全明确, 仍需严格筛选病例并加强术中监测, 但已有研究证实对于 6 岁以上、手术时长 < 30 分钟的患儿, HFNC 可作为标准护理的补充方案[13] [33]。

6. 挑战和争议

尽管 HFNC 进展显著, 其临床应用仍存核心挑战与争议, 集中于疗效异质性、特殊人群适配性及安全风险管控[21] [34]。针对疗效异质性, 未来研究需从“广度验证”转向“深度分层”: 不仅要开展大样本多中心 RCT, 更应聚焦于高风险术后肺部并发症(PPCs)及心脏手术患儿等争议亚组, 通过统一的风险分层标准, 明确 HFNC 在此类特定人群中的有效性边界[35]-[38]。针对特殊人群适配性, 需解决“一刀切”的参数设置问题, 建议开展基于生理指标(如体重、潮气量、经皮 CO_2)的动态参数滴定研究, 探索针对 <6 岁婴幼儿及重症患者的个体化流量与 FiO_2 组合方案, 并评估其与其他通气技术(如 CPAP)联合应用

的协同效应。针对安全风险管控, 需建立围术期动态监测与预警体系, 具体包括设定 CO₂ 潴留的经皮监测阈值、制定气道燃爆与反流误吸的标准化应急预案及紧急插管指征[13][33][39]-[41]。此外, 鉴于 HFNC 在改善氧合、降低气道损伤及缩短苏醒时间方面的优势[10][11][17]-[19], 未来亟需补充长达 1 年以上的远期随访数据, 重点关注患儿咽喉部感觉功能及神经认知发育, 从而为 ERAS 理念下的临床推广提供确凿的循证依据[15][20]。

声明

本研究符合伦理要求, 批准实施, 批准号: (2024)年伦审(临研)批件第(509)号, 已在中国临床试验注册中心(ChiCTR)完成注册, 注册号为: ChiCTR2500114493。

参考文献

- [1] 中华医学会耳鼻咽喉头颈外科学分会咽喉学组, 中华医学会耳鼻咽喉头颈外科学分会嗓音学组, 中华医学会中华耳鼻咽喉头颈外科杂志编辑委员会咽喉组. 喉气管狭窄诊断与治疗专家共识[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2018, 53(6): 410-413.
- [2] 卢奇, 梁玉丹, 汪照炎, 等. 婴幼儿声门下血管瘤围术期的气道管理[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2021, 35(6): 501-504, 510.
- [3] Xia, M., Ma, W., Zuo, M., Deng, X., Xue, F., Battaglini, D., *et al.* (2023) Expert Consensus on Difficult Airway Assessment. *Hepatobiliary Surgery and Nutrition*, **12**, 545-566. <https://doi.org/10.21037/hbsn-23-46>
- [4] Liu, H., Qu, P., Liu, Q., Xiao, F., Yang, Y., Xu, L., *et al.* (2025) High-Flow Nasal Cannula Oxygen Therapy: Physiological Basis and Clinical Applications in Anesthesia. *Frontiers in Medicine*, **12**, Article 1661569. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1661569>
- [5] Ward, J.J. (2013) High-Flow Oxygen Administration by Nasal Cannula for Adult and Perinatal Patients. *Respiratory Care*, **58**, 98-122. <https://doi.org/10.4187/respcare.01941>
- [6] 中华医学会呼吸病学分会呼吸危重症医学学组, 中国医师协会呼吸医师分会危重症医学工作委员会. 成人经鼻高流量湿化氧疗临床规范应用专家共识[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2019, 42(2): 83-91.
- [7] Rochweg, B., Einav, S., Chaudhuri, D., Mancebo, J., Mauri, T., Helviz, Y., *et al.* (2020) The Role for High Flow Nasal Cannula as a Respiratory Support Strategy in Adults: A Clinical Practice Guideline. *Intensive Care Medicine*, **46**, 2226-2237. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06312-y>
- [8] Möller, W., Celik, G., Feng, S., Bartenstein, P., Meyer, G., Eickelberg, O., *et al.* (2015) Nasal High Flow Clears Anatomical Dead Space in Upper Airway Models. *Journal of Applied Physiology*, **118**, 1525-1532. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00934.2014>
- [9] 中华医学会小儿外科学分会心胸外科学组. 基于快速康复的小儿外科围手术期气道管理专家共识[J]. 中华小儿外科杂志, 2019, 40(7): 577-582.
- [10] 中华医学会麻醉学分会小儿麻醉学组, 中华医学会麻醉学分会器官移植麻醉学组, 中国心胸血管麻醉学会日间手术麻醉分会. 儿童麻醉评估与围手术期风险预测中国专家共识(2024 版) [J]. 中华医学杂志, 2024, 104(29): 2688-2700.
- [11] Nolasco, S., Manti, S., Leonardi, S., Vancheri, C. and Spicuzza, L. (2022) High-Flow Nasal Cannula Oxygen Therapy: Physiological Mechanisms and Clinical Applications in Children. *Frontiers in Medicine*, **9**, Article 920549. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.920549>
- [12] European Society of Intensive Care Medicine Taskforce on ARDS (2023) ESICM Guidelines on Acute respiratory Distress Syndrome: Definition, Phenotyping and Respiratory Support Strategies. *Intensive Care Medicine*, **49**, 727-759.
- [13] Kim, E., Ji, S., Lee, J., Kim, J., Jang, Y., Kwon, S., *et al.* (2022) Use of High-Flow Nasal Oxygen in Spontaneously Breathing Pediatric Patients Undergoing Tubeless Airway Surgery: A Prospective Observational Study. *Medicine*, **101**, e29520. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000029520>
- [14] Davis, P.J., Cladis, F.P. and Motoyama, E.K. (2021) Smith's Anesthesia for Infants and Children. 11th Edition, Elsevier, 589-602.
- [15] Restrepo, R.D. and Walsh, B.K. (2012) Humidification during Invasive and Noninvasive Mechanical Ventilation: 2012. *Respiratory Care*, **57**, 782-788. <https://doi.org/10.4187/respcare.01766>
- [16] Rastogi, S., Singhal, S. and Malhotra, A. (2020) Physiological Effects of High-Flow Nasal Cannula Oxygen Therapy in

- Children. *Pediatric Critical Care Medicine*, **21**, e345-e352.
- [17] Kuo, H., Liu, W., Li, C., Cherng, Y., Chen, J., Wu, H., *et al.* (2022) A Comparison of High-Flow Nasal Cannula and Standard Facemask as Pre-Oxygenation Technique for General Anesthesia: A PRISMA-Compliant Systemic Review and Meta-Analysis. *Medicine*, **101**, e28903. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000028903>
- [18] Thiele, E.L. and Nemergut, E.C. (2020) Miller's Anesthesia, 9th Ed. *Anesthesia & Analgesia*, **130**, e175-e176. <https://doi.org/10.1213/ane.00000000000004780>
- [19] Xiang, G., Wu, Q., Xie, L., Song, J., Wu, X., Hao, S., *et al.* (2021) High Flow Nasal Cannula versus Conventional Oxygen Therapy in Postoperative Patients at High Risk for Pulmonary Complications: A Systematic Review and Meta-analysis. *International Journal of Clinical Practice*, **75**, e13828. <https://doi.org/10.1111/ijcp.13828>
- [20] Liu, D., Jin, T., Li, W., Chen, L. and Xing, D. (2023) Effect of High-Flow Nasal Cannula on Patients' Recovery after Inhalation General Anesthesia. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, **39**, 687-692. <https://doi.org/10.12669/pjms.39.3.6638>
- [21] Thiruvenkatarajan, V., Sekhar, V., Wong, D.T., Currie, J., Van Wijk, R. and Ludbrook, G.L. (2023) Effect of High-Flow Nasal Oxygen on Hypoxaemia during Procedural Sedation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Anaesthesia*, **78**, 81-92. <https://doi.org/10.1111/anae.15845>
- [22] Cristian de Carvalho, C., Iliff, H.A., Santos Neto, J.M., Potter, T., Alves, M.B., Blake, L., *et al.* (2024) Effectiveness of Preoxygenation Strategies: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *British Journal of Anaesthesia*, **133**, 152-163. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2024.02.028>
- [23] Yu, H., Saffaran, S., Tonelli, R., Laffey, J.G., Esquinas, A.M., de Lima, L.M., *et al.* (2025) Machine Learning Models Compared with Current Clinical Indices to Predict the Outcome of High Flow Nasal Cannula Therapy in Acute Hypoxic Respiratory Failure. *Critical Care*, **29**, Article No. 101. <https://doi.org/10.1186/s13054-025-05336-4>
- [24] Schutzer-Weissmann, J., Wojcikiewicz, T., Karmali, A., Lukosiute, A., Sun, R., Kanji, R., *et al.* (2023) Apnoeic Oxygenation in Morbid Obesity: A Randomised Controlled Trial Comparing Facemask and High-Flow Nasal Oxygen Delivery. *British Journal of Anaesthesia*, **130**, 103-110. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2021.12.011>
- [25] Lei, G., Yang, S., Wu, L., Yin, Y., Xi, C., Yang, Q., *et al.* (2025) High-flow Nasal Oxygen Prolongs Safe Apnea Time in Obstructive Sleep Apnea Patients Undergoing General Anesthesia: A Randomized Controlled Trial. *Risk Management and Healthcare Policy*, **18**, 2469-2477. <https://doi.org/10.2147/rmhp.s518271>
- [26] Klotz, D., Seifert, V., Baumgartner, J., Teufel, U. and Fuchs, H. (2020) High-Flow Nasal Cannula vs Standard Respiratory Care in Pediatric Procedural Sedation: A Randomized Controlled Pilot Trial. *Pediatric Pulmonology*, **55**, 2706-2712. <https://doi.org/10.1002/ppul.24975>
- [27] Humphreys, S., Lee-Archer, P., Reyne, G., Long, D., Williams, T. and Schibler, A. (2017) Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange (THRIVE) in Children: A Randomized Controlled Trial. *British Journal of Anaesthesia*, **118**, 232-238. <https://doi.org/10.1093/bja/aew401>
- [28] Jaber, S., Monnin, M., Girard, M., Conseil, M., Cisse, M., Carr, J., *et al.* (2016) Apnoeic Oxygenation via High-Flow Nasal Cannula Oxygen Combined with Non-Invasive Ventilation Preoxygenation for Intubation in Hypoxaemic Patients in the Intensive Care Unit: The Single-Centre, Blinded, Randomised Controlled OPTINIV Trial. *Intensive Care Medicine*, **42**, 1877-1887. <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4588-9>
- [29] Zhong, M., Xia, R., Zhou, J., Zhang, J., Yi, X. and Yang, A. (2024) The Comparison of Preoxygenation Methods before Endotracheal Intubation: A Network Meta-Analysis of Randomized Trials. *Frontiers in Medicine*, **11**, Article 1379369. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1379369>
- [30] Courbon, C. (2023) Spontaneous Ventilation with High-Flow Nasal Oxygen for Elective Suspension Microlaryngoscopy. *OTO Open*, **7**, e54. <https://doi.org/10.1002/oto2.54>
- [31] Ma, B., Liu, F., Wang, D., Zhong, R., Lin, K., Li, S., *et al.* (2022) High-Flow Nasal Cannula in Nonlaser Microlaryngoscopic Surgery: A Prospective Study of 19 Cases in a Chinese Population. *BMC Anesthesiology*, **22**, Article No. 81. <https://doi.org/10.1186/s12871-022-01627-3>
- [32] Huang, L., Dharmawardana, N., Badenoch, A. and Ooi, E.H. (2020) A Review of the Use of Transnasal Humidified Rapid Insufflation Ventilatory Exchange for Patients Undergoing Surgery in the Shared Airway Setting. *Journal of Anesthesia*, **34**, 134-143. <https://doi.org/10.1007/s00540-019-02697-3>
- [33] Humphreys, S., von Ungern-Sternberg, B.S., Taverner, F., Davidson, A., Skowno, J., Hallett, B., *et al.* (2024) High-Flow Nasal Oxygen for Children's Airway Surgery to Reduce Hypoxaemic Events: A Randomised Controlled Trial. *The Lancet Respiratory Medicine*, **12**, 535-543. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(24\)00115-2](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(24)00115-2)
- [34] Futier, E., Paugam-Burtz, C., Godet, T., Kho-y-Ear, L., Rozenewajg, S., Delay, J., *et al.* (2016) Effect of Early Postextubation High-Flow Nasal Cannula vs Conventional Oxygen Therapy on Hypoxaemia in Patients after Major Abdominal Surgery: A French Multicentre Randomised Controlled Trial (Opera). *Intensive Care Medicine*, **42**, 1888-1898. <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4594-y>

-
- [35] Yu, Y., Qian, X., Liu, C. and Zhu, C. (2017) Effect of High-Flow Nasal Cannula versus Conventional Oxygen Therapy for Patients with Thoracoscopic Lobectomy after Extubation. *Canadian Respiratory Journal*, **2017**, Article ID: 7894631. <https://doi.org/10.1155/2017/7894631>
- [36] Corley, A., Bull, T., Spooner, A.J., Barnett, A.G. and Fraser, J.F. (2015) Direct Extubation onto High-Flow Nasal Cannulae Post-Cardiac Surgery versus Standard Treatment in Patients with a BMI \geq 30: A Randomised Controlled Trial. *Intensive Care Medicine*, **41**, 887-894. <https://doi.org/10.1007/s00134-015-3765-6>
- [37] Oczkowski, S., Ergan, B., Bos, L., Chatwin, M., Ferrer, M., Gregoretti, C., *et al.* (2022) ERS Clinical Practice Guidelines: High-Flow Nasal Cannula in Acute Respiratory Failure. *European Respiratory Journal*, **59**, Article ID: 2101574. <https://doi.org/10.1183/13993003.01574-2021>
- [38] Roca, O., Caralt, B., Messika, J., Samper, M., Sztrymf, B., Hernández, G., *et al.* (2019) An Index Combining Respiratory Rate and Oxygenation to Predict Outcome of Nasal High-Flow Therapy. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **199**, 1368-1376. <https://doi.org/10.1164/rccm.201803-0589oc>
- [39] Shankla, S., De Zoysa, N., Bird, J. and Girgis, M. (2024) Facial Fire with Use of High-Flow Nasal Oxygen during Laser Surgery. *Anaesthesia Reports*, **12**, e12329. <https://doi.org/10.1002/anr3.12329>
- [40] Booth, A.W.G., Vidhani, K., Lee, P.K., Coman, S.H., Pelecanos, A.M., Dimeski, G., *et al.* (2021) The Effect of High-Flow Nasal Oxygen on Carbon Dioxide Accumulation in Apneic or Spontaneously Breathing Adults during Airway Surgery: A Randomized-Controlled Trial. *Anesthesia & Analgesia*, **133**, 133-141. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000005002>
- [41] Zhou, X., Huang, X., Zhou, Z., Xu, Q., Mei, A., Mazomba, L.X., *et al.* (2023) Effect of Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange on Gastric Insufflation during Anaesthesia Induction: A Randomised Controlled Trial and Multivariate Analysis. *European Journal of Anaesthesiology*, **40**, 521-528. <https://doi.org/10.1097/eja.0000000000001846>