

术后无创呼吸支持的研究进展

李芮珂 魏珂

【摘要】 术后肺部并发症(PPCs)是指术后发生的呼吸系统并发症,主要包括呼吸道感染、呼吸衰竭、胸腔积液、肺不张、气胸、支气管痉挛及吸入性肺炎等。PPCs 的发生与患者自身、手术和麻醉等因素密切相关,影响患者围术期康复及预后。无创呼吸支持(NRS)包括常规氧气疗法(COT)、无创正压通气(NPPV)、经鼻高流量(HFNC)氧疗等,通过改善肺部呼吸力学和满足氧气需求减少肺部并发症的发生。目前 NRS 已在重症监护病房(ICU)广泛应用,但其术后应用尚无共识。本文就近年来术后 NRS 应用的研究进展进行综述,包括 NRS 的模式、NRS 在不同类型手术的应用和 NRS 在不同类型患者的应用等内容,为促进术后康复提供参考。

【关键词】 术后肺部并发症;术后康复;无创呼吸支持;无创正压通气;经鼻高流量氧疗

Research progress of postoperative noninvasive respiratory support LI Ruike, WEI Ke. Department of anesthesiology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China
Corresponding author: WEI Ke, Email: wk202448@hospital-cqmu.com

【Abstract】 Postoperative pulmonary complications (PPCs) are respiratory complications that occur after surgery, mainly including respiratory infection, respiratory failure, pleural effusion, atelectasis, pneumothorax, bronchospasm, and aspiration pneumonia, etc. The occurrence of PPCs is closely related to the patient's own, anesthetic, and surgical factors that affect the perioperative recovery and prognosis of patients. Noninvasive respiratory support (NRS) including conventional oxygen therapy (COT), non-invasive positive pressure ventilation (NPPV), high-flow nasal cannula (HFNC) oxygen therapy, reduces the occurrence of pulmonary complications by improving respiratory mechanics and meeting oxygen demand. Currently, NRS has been widely used in intensive care unit (ICU), but there is no uniform consensus on its application in the postoperative period. This article reviewed the research progress of postoperative NRS in recent years, including the model of NRS, the application of NRS in different types of surgery and patient, in order to provide reference for promoting postoperative rehabilitation.

【Key words】 Postoperative pulmonary complications; Postoperative rehabilitation; Noninvasive respiratory support; Non-invasive positive pressure ventilation; High-flow nasal cannula oxygen therapy

全球范围内,患者术后肺部并发症(postoperative pulmonary complications, PPCs)发生率为 11%~59%,发生 PPCs 的患者中约 0.4%~3.0% 出现急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS),导致患者住院时间延长、术后死亡率增高及医疗负担增加^[1]。全面的术前评估和预康复计划、肺部合并症的优化、术中肺保护性通气策略的实施等降低了发生 PPCs 的风险系数,但麻醉药和肌松药的残余效应可抑制塌陷肺泡的复张;术后疼痛使患者咳嗽咳痰乏力,导致低氧血症、肺不张等。因此,肺保护策略应贯穿整个围术期。

术后即刻是防治 PPCs 的关键时期,无创呼吸支持(noninvasive respiratory support, NRS)是防治低氧血症和肺不张的有效措施,能减少有创机械通气相关并发症,目前在 ICU 应用广泛,术后患者如何实施 NRS 尚存争议。

术后 NRS 的模式

临床上常使用 NRS 作为拔管后的序贯治疗,以达到早期撤机、减少再次气管插管的目的,以改善患者预后。NRS 包括常规氧气疗法(conventional oxygen therapy, COT)、无创正压通气(non-invasive positive pressure ventilation, NPPV)和经鼻高流量(high-flow nasal cannula, HFNC)氧疗等。

常规氧气疗法 COT 是拔管后最常用的呼吸支持方式,主要通过鼻导管、普通面罩或储氧面罩等为患者输送氧气,改善氧合,缓解呼吸困难。需

DOI: 10.12089/jca.2024.06.015

基金项目:重庆市技术创新与应用发展专项面上项目(cstc2019jcsx-msxmX0214)

作者单位:400016 重庆医科大学附属第一医院麻醉科
通信作者:魏珂, Email: wk202448@hospital-cqmu.com

注意的是,吸气流量和时间、呼吸频率会影响通气量,张口或闭口呼吸、空气稀释会影响氧气浓度,因此,患者实际吸入氧浓度可能会低于预期水平。此外,COT 仅适合于有足够呼吸强度的自主呼吸患者。

无创正压通气 NPPV 是通过面罩、鼻罩或头罩连接呼吸机为患者提供压力支持辅助呼吸,可缓解呼吸肌疲劳、减少呼吸做功,促进术后肺复张、减少 PPCs 的发生。NPPV 常用的通气模式包括持续气道正压通气(continuous positive airway pressure, CPAP)、双水平气道正压通气(bi-level positive airway pressure, BiPAP)。CPAP 是持续提供恒定水平的呼气末正压(positive end expiratory pressure, PEEP)的通气方式。CPAP 通过 PEEP 增加功能残气量(functional residual capacity, FRC),改善肺顺应性和氧合。PEEP 在减少心输出量和改善氧合之间存在很强的关联。因此,需要同时评估氧合、呼吸力学和血流动力学以确定最佳 PEEP。BiPAP 是交替提供吸气相正压(inspired positive airway pressure, IPAP)和呼气相正压(expired positive airway pressure, EPAP)的通气模式,二者压力差决定潮气量^[2]。Grieco 等^[3]研究表明,包括心率、酸中毒、意识、氧合和呼吸频率五大参数的复合量表(HACOR)可以识别在应用 BiPAP 6 h 后易发生治疗失败的患者,有助于临床决策。患者应用 NPPV 的常见不良反应包括面部及气道损伤、腹胀、吻合口瘘、误吸和幽闭恐惧症等。患者对 NPPV 耐受性低是术后应用 NPPV 受限的重要原因。影响耐受性的因素包括疼痛、漏气、人机对抗、口渴、睡眠障碍及心理压力等。使用头罩代替面罩进行 NPPV,可减少皮肤破损、溃疡的发生,并且改善患者难以耐受的情况,但会导致 CO₂ 的重吸收增多。通过调整通气模式,例如压力支持通气,可以改善人机同步性和舒适度,或者使用镇静、镇痛药物来改善患者的配合度。

经鼻高流量氧疗 HFNC 氧疗是一种通过专用的非密封性鼻导管持续为患者提供高流量且温度、湿度以及氧浓度均可控的呼吸支持技术。与 NPPV 比较,HFNC 氧疗可提高患者耐受度。早期,HFNC 氧疗大多用于儿科,替代 CPAP 治疗新生儿及婴幼儿急性呼吸衰竭。近年来,HFNC 氧疗被越来越多地用于成人氧疗,包括重症肺部感染相关呼吸衰竭、阻塞性睡眠呼吸暂停(obstructive sleep apnea, OSA),以及拔除气管导管后序贯氧疗等。HFNC 氧

疗是治疗轻中度呼吸衰竭($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 > 150 \text{ mmHg}$)的有效方法。通过宽口径套管可输送 60 L/min 的精准氧浓度气流,可以快速改善氧合,并能清除生理死腔内的重复呼吸气体,减少 CO₂ 蓄积。高速气流更接近呼吸困难患者的吸气峰流量,可减轻患者的呼吸费力和呼吸做功。HFNC 氧疗还可产生低水平 PEEP(1~8 cmH₂O),有利于肺泡复张和改善气体交换。此外,HFNC 氧疗的加温加湿功能能够维持黏液纤毛清除系统的正常功能。在中重度呼吸衰竭($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 150 \text{ mmHg}$)患者中,低吸气努力(吸气努力增加 < 10 cmH₂O)患者可采取最大流量的 HFNC 氧疗并结合俯卧位,或 PEEP 设置为 12 cmH₂O 的头罩 CPAP;高吸气努力(吸气努力增加 $\geq 10 \text{ cmH}_2\text{O}$)患者可采取双相压力均设置为 12 cmH₂O 的头罩 BiPAP,或 IPAP 设置为 8~10 cmH₂O、EPAP 设置为 5~8 cmH₂O 的面罩 BiPAP^[3]。HFNC 氧疗失败可能延误再次气管插管的治疗时机,导致患者死亡率上升。因此,Roca 等^[4]提出应用 ROX 指数预测 HFNC 氧疗成功率。ROX 指数是指 SpO₂ 与 FiO₂ 的比值,再除以 RR 所得的值($\text{SpO}_2 \div \text{FiO}_2 \div \text{RR}$)。ROX 指数在治疗开始后 2、6 或 12 h 的测量值 ≥ 4.88 是 HFNC 氧疗成功的预测指标。Frat 等^[5]研究表明,HFNC 氧疗 1 h 后 HR 增快可能是 HFNC 氧疗失败需再次气管插管的预测因素。因此,Goh 等^[6]将 HR 与 ROX 指数相结合,提出改良 ROX 指数($\text{ROX 指数} \div \text{HR} \times 100$)可能是早期识别拔管后 HFNC 氧疗预防性治疗失败的指标。目前尚需高质量研究来确定 ROX 指数及改良 ROX 指数对术后拔管患者的指导作用,这些研究将有助于早期评估 HFNC 氧疗的有效性,及时识别再次气管插管的风险。

NRS 在不同手术后的应用

胸科手术 胸科手术的 PPCs 发生率很高,特别是肺切除术,患者常因术后持续数天的严重肺功能障碍导致病情复杂,影响术后康复。导致这一情况的影响因素很多,包括膈神经反射被抑制、麻醉、疼痛、远端气道关闭和功能性肺实质丧失等。

Torres 等^[7] Meta 分析表明,NPPV 对肺切除术 PPCs 发生率无积极改善作用,但该研究未对不同干预频率进行亚组分析,结果具有一定局限性。Puente-Maestú 等^[8]研究表明,接受肺切除术的患者拔除气管导管后,与 COT 比较,连续性应用 PEEP 7 cmH₂O 的 CPAP 6 h 可明显改善患者氧合、预防重

大肺部并发症的发生,尤其对高危人群是一种有效的预防性措施。Abrand 等^[9]研究表明,由于胸科手术后患者对正压通气耐受性低,预防性、间歇性应用 BiPAP 不能减少急性呼吸衰竭等 PPCs 的发生。

HFNC 氧疗似乎有利于肺切除术后 CO₂ 的清除,预防高碳酸血症的发生。胸科手术方式可能影响 HFNC 氧疗的疗效。与接受胸腔镜下肺叶切除术比较,开胸肺叶切除术后的患者接受 HFNC 氧疗不能有效改善氧合、降低 PPCs 的发生率^[10],可能与 HFNC 氧疗只能提供较低水平的 PEEP,不能早期实现肺复张有关。

心脏手术 50%的心脏手术患者术后可能出现肺不张、肺炎、胸腔积液和肺水肿等 PPCs。Matte 等^[11]通过比较三种方式(激励性肺活量测定法、CPAP 和 BiPAP)对冠状动脉旁路移植术(coronary artery bypass grafting, CABG)患者的影响,结果表明,BiPAP 在改善患者氧合、减少肺功能损害方面最为有效。低氧血症、肺不张和呼吸功能障碍在肥胖患者心脏手术后更常见。肥胖患者心脏手术后尽早预防性使用 BiPAP 可改善脱机后 24 h 的肺功能、减少再次气管插管的需求,且 BiPAP 对射血分数小的患者同样受用^[12],这可能与 BiPAP 可提升氧合、更好地减少呼吸做功,降低心肌耗氧量有关。目前,缺乏评估不同双相压力水平对心脏容量、压力和功能影响的研究,因此,BiPAP 对心脏手术后患者结局的影响仍有待进一步研究探索。

Stéphan 等^[13]研究表明,连续性应用流量为 50 L/min 的 HFNC 氧疗可改善呼吸系统并发症高风险的心脏外科手术患者的氧合指数,降低再次气管插管率,并且能为患者提供较好的舒适度,其疗效不亚于间歇性 BiPAP。因此,HFNC 氧疗可能是心脏手术后 NRS 的更优选择。欧洲重症监护医学学会指南建议,接受胸心外科手术的患者优先考虑使用 HFNC 氧疗作为术后 NRS 以预防呼吸衰竭^[14]。初始流量为 35~40 L/min 的 HFNC 氧疗易使患者耐受,60 L/min 的 HFNC 氧疗可快速缓解患者呼吸困难、改善氧合并预防呼吸肌疲劳。对于心胸外科低氧血症患者,拔管后 HFNC 氧疗的最佳初始流量的设置仍有待进一步研究确定。

腹部手术 Lockstone 等^[15] Meta 分析表明,上腹部手术后预防性 NPPV 可能无法减少 PPCs 的发生。术后预防性 NPPV 尚未作为临床上常规治疗方法。在腹部大手术后,治疗性应用 NPPV 于发生呼吸衰竭的患者,可降低再次气管插管、肺炎的发生

率,缩短住院时间;预防性应用时未降低再次气管插管、肺炎和死亡的发生率,但该研究未对 ARISCAT 评分>45 分的患者进行单独分析,因此,术后预防性使用 CPAP 可能对极高危患者预防 PPCs 的发生存在不同结果^[16-17]。BiPAP 治疗运用于发生低氧血症性呼吸衰竭的患者时,可降低 7 d 内再次气管插管的风险^[18]。BiPAP 可明显改善第一秒用力呼气容积(forced expiratory volume in one second, FEV₁)和用力肺活量(forced vital capacity, FVC),并且接受较高参数的 BiPAP 可实现更好的氧合。欧洲呼吸学会和美国胸科协会指南建议对术后呼吸衰竭患者治疗性应用 NPPV^[19]。对于再次气管插管风险高危患者,是否应该预防性应用 NPPV 还需要进一步验证。

Lockstone 等^[20]研究表明,在腹部手术后发生肺部并发症的高危患者中,与 HFNC 氧疗联合 BiPAP 比较,预防性单独应用 HFNC 氧疗 48 h 效果更好。目前证据尚不支持腹部手术后患者常规使用 HFNC 氧疗^[14],HFNC 氧疗在腹部术后的应用还需进一步优化。

NRS 在不同患者中的应用

病态肥胖患者 病态肥胖患者由于呼吸系统生理和解剖发生改变,常合并 OSA 和肥胖低通气综合征(obesity hypoventilation syndrome, OHS),术后常出现低氧伴高碳酸血症,是发生 PPCs 的高危人群。

CPAP 可能通过防止肥胖患者上呼吸道塌陷,对下呼吸道产生潜在影响,改善氧合,但无明显的 CO₂ 清除作用,并且短时间的 CPAP 干预不能明显提高 FEV₁ 和 FVC。肺功能改善程度与 CPAP 的干预时间和患者的耐受性有关。Neligan 等^[21]研究表明,与拔管后 30 min 比较,拔管即刻给予 CPAP 用以维持术后 24 h 的肺功能效果更佳。因此,尽早对肥胖患者术后进行呼吸支持干预是必要的。

HFNC 氧疗也常用于肥胖患者。Ferrando 等^[22]研究表明,早期应用 HFNC 氧疗可降低肥胖患者术后低氧血症和肺不张的发生率。HFNC 氧疗可通过增加呼气末肺容积(end-expiratory lung volume, EE-LV)和潮气量以减慢呼吸频率,改善肥胖患者氧合状态。Chaudhuri 等^[23] Meta 分析表明,接受心胸外科手术的高危和/或肥胖患者术后应预防性使用 HFNC 氧疗。HFNC 氧疗具有提高缺氧耐受性的优势,因此,可能替代 CPAP 成为改善肥胖和 OSA 患

者围术期氧合的有效方法^[24]。

患儿 小儿与成人患者呼吸系统存在生理差异, FVC 较小、闭合容积较大、胸壁顺应性更大, 因此术后肺不张更常见。Lee 等^[25]研究表明, 非心胸剖腹手术后, 与 COT 比较, 应用 HFNC 氧疗在优化患儿肺部超声评分和预防术后肺不张的发生方面效果更为突出, 但并未观察到接受 HFNC 氧疗的患儿 PPCs 的发生率和住院时间等其他术后结局的改善。HFNC 氧疗可通过降低呼吸频率改善心脏术后急性呼吸衰竭患儿的呼吸状态^[26]。因此, 需要进一步研究术后应用 HFNC 氧疗是否与 PPCs 高风险患儿的术后结局改善有关。Iyer 等^[27]网状 Meta 分析表明, 与 BiPAP、HFNC 氧疗、COT 比较, CPAP 是预防患儿拔管失败和氧疗失败的最有效的呼吸支持方式, 但发生腹胀和鼻损伤的风险较高。

老年患者 老年患者呼吸系统结构和功能常发生显著的退行性改变, 气道分泌物清除受损, 因此术后发生低氧血症的风险较高。中华医学会麻醉学分会气道管理学组的专家共识^[28]推荐, 低氧血症高风险的患者拔管后使用 HFNC 氧疗, 可降低低氧血症和再次气管插管的发生率。老年患者术后应尽早使用 HFNC 氧疗, 且当病情较重、痰液难以引流时, 可考虑 HFNC 氧疗联合支气管镜吸痰以及交替使用 NPPV。目前关于老年患者术后 NRS 的研究尚少, 大多数研究将高龄视为高危因素进行分析, 因此, 对于老年患者术后 NRS 方式的选择还需要进一步研究。

慢性阻塞性肺疾病患者 慢性阻塞性肺疾病 (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) 患者气道阻力增加、肺顺应性下降, COPD 被认为是全身麻醉及手术后呼吸衰竭的危险因素。对于 COPD 患者, 术前和术后均进行呼吸支持可能是必要的。拔管后序贯 NPPV 的促进性呼吸支持策略是 COPD 与高碳酸血症患者唯一被证实有效的方式。欧洲呼吸协会建议, COPD 和高碳酸血症急性呼吸衰竭患者应用 NPPV。还需要更多的研究证实 HFNC 氧疗可替代 NPPV 成为一线治疗方式, 并探索从应用 NPPV 过渡到 HFNC 氧疗的预测因素^[29]。中至重度 COPD 患者拔管后应用加湿的 NPPV 在预防再次气管插管方面优于 HFNC 氧疗^[30]。

小 结

PPCs 的发生严重影响着患者围术期康复与预后, 术后 NRS 是围术期肺保护的重要一环, 拔管即

刻被认为是术后 NRS 的最佳时机, 需要根据拔管时机、是否为高危患者、手术类型等以及时选择合理的 NRS 方式。COT 仍然是术后一线治疗方式, 但疗效有限。NPPV 主要通过产生较高气道正压、减少呼吸肌做功以防治 PPCs, 但改善患者对 NPPV 的耐受性是 NPPV 广泛应用的前提和条件。HFNC 氧疗凭借较小 PEEP、舒适性、易清除 CO₂ 的优点, 逐渐成为 NPPV 在心胸外科手术后或肥胖、患儿等诸多领域的替代治疗方式。但 HFNC 氧疗在腹部手术后的应用效果尚未明确, 仍需更深入的研究。NPPV 联合 HFNC 氧疗、加温加湿的 NPPV 等新模式呼吸支持技术可能成为未来的研究方向。

参 考 文 献

- [1] O'Gara B, Talmor D. Perioperative lung protective ventilation. *BMJ*, 2018, 362: k3030.
- [2] Popowicz P, Leonard K. Noninvasive ventilation and oxygenation strategies. *Surg Clin North Am*, 2022, 102(1): 149-157.
- [3] Grieco DL, Munshi L, Piquilloud L. Personalized noninvasive respiratory support for acute hypoxemic respiratory failure. *Intensive Care Med*, 2023, 49(7): 840-843.
- [4] Roca O, Caralt B, Messika J, et al. An index combining respiratory rate and oxygenation to predict outcome of nasal high-flow therapy. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 199(11): 1368-1376.
- [5] Frat JP, Ragot S, Coudroy R, et al. Predictors of intubation in patients with acute hypoxemic respiratory failure treated with a noninvasive oxygenation strategy. *Crit Care Med*, 2018, 46(2): 208-215.
- [6] Goh KJ, Chai HZ, Ong TH, et al. Early prediction of high flow nasal cannula therapy outcomes using a modified ROX index incorporating heart rate. *J Intensive Care*, 2020, 8: 41.
- [7] Torres MF, Porfirio GJ, Carvalho AP, et al. Non-invasive positive pressure ventilation for prevention of complications after pulmonary resection in lung cancer patients. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015, (9): CD010355.
- [8] Puente-Maestú L, López E, Sayas J, et al. The effect of immediate postoperative boussignac CPAP on adverse pulmonary events after thoracic surgery: a multicentre, randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol*, 2021, 38(2): 164-170.
- [9] Abrard S, Rineau E, Seegers V, et al. Postoperative prophylactic intermittent noninvasive ventilation versus usual postoperative care for patients at high risk of pulmonary complications: a multicentre randomised trial. *Br J Anaesth*, 2023, 130(1): e160-e168.
- [10] Pennisi MA, Bello G, Congedo MT, et al. Early nasal high-flow versus Venturi mask oxygen therapy after lung resection: a randomized trial. *Crit Care*, 2019, 23(1): 68.
- [11] Matte P, Jacquet L, Van Dyck M, et al. Effects of conventional physiotherapy, continuous positive airway pressure and non-invasive ventilatory support with bilevel positive airway pressure after

- coronary artery bypass grafting. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2000, 44(1): 75-81.
- [12] Hamid M, Akhtar MI, Ahmed S. Immediate changes in hemodynamics and gas exchange after initiation of noninvasive ventilation in cardiac surgical patients. *Ann Card Anaesth*, 2020, 23(1): 59-64.
- [13] Stéphan F, Barrucand B, Petit P, et al. High-flow nasal oxygen vs noninvasive positive airway pressure in hypoxemic patients after cardiothoracic surgery: a randomized clinical trial. *JAMA*, 2015, 313(23): 2331-2339.
- [14] Rochweg B, Einav S, Chaudhuri D, et al. The role for high flow nasal cannula as a respiratory support strategy in adults: a clinical practice guideline. *Intensive Care Med*, 2020, 46(12): 2226-2237.
- [15] Lockstone J, Denehy L, Truong D, et al. Prophylactic postoperative noninvasive ventilation in adults undergoing upper abdominal surgery: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care Med*, 2022, 50(10): 1522-1532.
- [16] Squadrone V, Coxa M, Cerutti E, et al. Continuous positive airway pressure for treatment of postoperative hypoxemia: a randomized controlled trial. *JAMA*, 2005, 293(5): 589-595.
- [17] PRISM trial group. Postoperative continuous positive airway pressure to prevent pneumonia, re-intubation, and death after major abdominal surgery (prism): a multicentre, open-label, randomised, phase 3 trial. *The Lancet. Respiratory Medicine*, 2021, 9(11): 1221-1230.
- [18] Jaber S, Lescot T, Futier E, et al. Effect of noninvasive ventilation on tracheal reintubation among patients with hypoxemic respiratory failure following abdominal surgery: a randomized clinical trial. *JAMA*, 2016, 315(13): 1345-1353.
- [19] Rochweg B, Brochard L, Elliott MW, et al. Official ERS/ATS clinical practice guidelines: noninvasive ventilation for acute respiratory failure. *Eur Respir J*, 2017, 50(2): 1602426.
- [20] Lockstone J, Parry SM, Denehy L, et al. Non-invasive positive airway pressure therapy to reduce postoperative lung complications following upper abdominal surgery (NIPPER PLUS): a pilot randomised control trial. *Physiotherapy*, 2022, 117: 25-34.
- [21] Neligan PJ, Malhotra G, Fraser M, et al. Continuous positive airway pressure via the Boussignac system immediately after extubation improves lung function in morbidly obese patients with obstructive sleep apnea undergoing laparoscopic bariatric surgery. *Anesthesiology*, 2009, 110(4): 878-884.
- [22] Ferrando C, Puig J, Serralta F, et al. High-flow nasal cannula oxygenation reduces postoperative hypoxemia in morbidly obese patients: a randomized controlled trial. *Minerva Anesthesiol*, 2019, 85(10): 1062-1070.
- [23] Chaudhuri D, Granton D, Wang DX, et al. High-flow nasal cannula in the immediate postoperative period: a systematic review and meta-analysis. *Chest*, 2020, 158(5): 1934-1946.
- [24] Tsai FC, Chen NL, Gobindram A, et al. Efficacy of high flow nasal cannula as an alternative to continuous positive airway pressure therapy in surgical patients with suspected moderate to severe obstructive sleep apnea. *Am J Otolaryngol*, 2022, 43(2): 103295.
- [25] Lee JH, Ji SH, Jang YE, et al. Application of a high-flow nasal cannula for prevention of postextubation atelectasis in children undergoing surgery: a randomized controlled trial. *Anesth Analg*, 2021, 133(2): 474-482.
- [26] Shioji N, Iwasaki T, Kanazawa T, et al. Physiological impact of high-flow nasal cannula therapy on postextubation acute respiratory failure after pediatric cardiac surgery: a prospective observational study. *J Intensive Care*, 2017, 5: 35.
- [27] Iyer NP, Rotta AT, Essouri S, et al. Association of extubation failure rates with high-flow nasal cannula, continuous positive airway pressure, and bilevel positive airway pressure vs conventional oxygen therapy in infants and young children: a systematic review and network meta-analysis. *JAMA Pediatr*, 2023, 177(8): 774-781.
- [28] 黄宇光, 左明章, 鲍红光, 等. 经鼻高流量氧疗临床麻醉规范应用专家共识(2023 版). *临床麻醉学杂志*, 2023, 39(8): 881-887.
- [29] Oczkowski S, Ergan B, Bos L, et al. ERS clinical practice guidelines: high-flow nasal cannula in acute respiratory failure. *Eur Respir J*, 2022, 59(4): 2101574.
- [30] Hernández G, Paredes I, Moran F, et al. Effect of postextubation noninvasive ventilation with active humidification vs high-flow nasal cannula on reintubation in patients at very high risk for extubation failure: a randomized trial. *Intensive Care Med*, 2022, 48(12): 1751-1759.

(收稿日期:2023-07-04)