

- [30] Cacione DG, Macedo CR, Baptista-Silva JC. Pharmacological treatment for Buerger's disease[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2016, 3: CD011033. DOI: 10. 1002/14651858. CD011033. pub3.
- [31] Li FQ, Li L, He XW, et al. Percutaneous transluminal angioplasty combined with intra-arterial thrombolysis to treat lower-extremity arterial occlusion in thromboangiitis[J]. Int Angiol, 2016, 35(5): 440-445.
- [32] Sayin A, Bozkurt AK, Tuzun H, et al. Surgical treatment of Buerger's disease: experience with 216 patients[J]. Cardiovasc Surg, 1993, 1(4): 377-380.
- [33] Sasajima T, Kubo Y, Inaba M, et al. Role of infrainguinal bypass in Buerger's disease: an eighteen-year experience[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 1997, 13(2): 186-192.
- [34] Nakajima N. The change in concept and surgical treatment on Buerger's disease—personal experience and review[J]. Int J Cardiol, 1998, 66 (Suppl 1): S273-280; discussion S281.
- [35] Dilege S, Aksoy M, Kayabali M, et al. Vascular reconstruction in Buerger's disease: is it feasible?[J]. Surg Today, 2002, 32(12): 1042-1047. DOI: 10. 1007/s005950200211.
- [36] Graziani L, Morelli L, Parini F, et al. Clinical outcome after extended endovascular recanalization in Buerger's disease in 20 consecutive cases[J]. Ann Vasc Surg, 2012, 26(3): 387-395. DOI: 10. 1016/j. avsg. 2011. 08. 014.
- [37] Narvaez J, Garcia-Gomez C, Alvarez L, et al. Efficacy of bosentan in patients with refractory thromboangiitis obliterans (Buerger disease): A case series and review of the literature[J]. Medicine (Baltimore), 2016, 95(48): e5511.
- [38] De Haro J, Bleda S, Acin F. An open-label study on long-term outcomes of bosentan for treating ulcers in thromboangiitis obliterans (Buerger's disease) [J]. Int J Cardiol, 2014, 177(2): 529-531. DOI: 10. 1016/j. ijcard. 2014. 08. 107.
- [39] Bagger JP, Helligsoe P, Randsbaek F, et al. Effect of verapamil in intermittent claudication A randomized, double-blind, placebo-controlled, cross-over study after individual dose-response assessment[J]. Circulation, 1997, 95(2): 411-414.
- [40] Cacione DG, Moreno DH, Nakano LC, et al. Surgical sympathectomy for Buerger's disease[J]. JRS Open, 2017, 8(8): 2054270417717666. DOI: 10. 1177/2054270417717666.
- [41] Manfredini R, Boari B, Gallerani M, et al. Thromboangiitis obliterans (Buerger disease) in a female mild smoker treated with spinal cord stimulation[J]. Am J Med Sci, 2004, 327(6): 365-368.
- [42] Liu Q, Zhou HC, Yang XL, et al. Embolus-carried vascular endothelial cell growth factor 165 improves angiogenesis in thromboangiitis obliterans[J]. Genet Mol Res, 2014, 13(1): 1744-1752. DOI: 10. 4238/2014. March. 17. 2.
- [43] Miyamoto K, Nishigami K, Nagaya N, et al. Unblinded pilot study of autologous transplantation of bone marrow mononuclear cells in patients with thromboangiitis obliterans[J]. Circulation, 2006, 114(12): 2679-2684. DOI: 10. 1161/CIRCULATIONAHA. 106. 644203.
- [44] Heo SH, Park YS, Kang ES, et al. Early results of clinical application of autologous whole bone marrow stem cell transplantation for critical limb ischemia with Buerger's disease[J]. Sci Rep, 2016, 6: 19690. DOI: 10. 1038/srep19690.
- [45] Hemsinli D, Kaplan ST, Kaplan S, et al. Hyperbaric oxygen therapy in the treatment of Fontaine stage IV thromboangiitis obliterans[J]. Int J Low Extrem Wounds, 2016, 15(4): 366-370. DOI: 10. 1177/1534734616666866.
- [46] Inan M, Alat I, Kutlu R, et al. Successful treatment of Buerger's disease with intramedullary K-wire: the results of the first 11 extremities[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2005, 29(3): 277-280. DOI: 10. 1016/j. ejvs. 2004. 12. 011.

(收稿日期: 2017-11-30)

(编辑: 卢芳)

综述

经鼻导管高流量氧疗应用于心力衰竭的研究进展

赵梦林、于婕综述, 祖凌云审校

摘要 经鼻导管高流量氧疗是一种新型无创通气方式, 近年来凭借其恒温、恒湿的高流量氧气输送能力而广泛地应用于危重患者生命支持。研究显示, 经鼻高流量氧疗可以纠正心力衰竭患者的低氧血症并改善预后, 有广阔的应用前景, 但目前其在心力衰竭中应用的报道仍较少。经鼻高流量氧疗的作用机制、功能优势、对长期的预后改善等方面仍有待于进一步研究。

关键词 高流量; 氧疗; 心力衰竭; 进展

经鼻导管高流量氧疗 (high-flow nasal cannula oxygen therapy, HFNC) 最初作为替代经鼻持续正压通气 (nasal

continuous positive airway pressure, NCPAP) 的呼吸支持手段, 广泛应用于急性呼吸窘迫综合征新生儿^[1], 这种装置可输出

基金项目: 国家自然科学基金 (81670323)

作者单位: 100191 北京市, 北京大学第三医院 心内科 血管医学研究所 卫生部心血管分子生物学与调节肽重点实验室 分子心血管学教育部重点实验室 心血管受体研究北京市重点实验室

通讯作者: 祖凌云 Email: dr_zly@126.com

中图分类号: R543 文献标识码: A 文章编号: 1000-3614 (2018) 04-0407-04 DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2018.04.025

21%~100% 的稳定氧浓度, 37℃ 恒定温度以及 100% 相对湿度的高流量气体。作为一种新型无创辅助通气方式, HFNC 以其高流量氧气输送、精确的氧浓度调节及加温湿化功能, 能够迅速有效地改善氧合, 现已逐渐成为一种危重患者呼吸支持的替代性治疗手段, 广泛应用于急性低氧性呼吸衰竭、心胸外科术后、气管插管拔管后以及睡眠呼吸暂停综合征等。

急性心力衰竭(心衰)患者常合并低氧血症。积极纠正低氧血症、改善呼吸状态可以提高心衰的治疗效果, 因此呼吸辅助支持是心衰的重要治疗措施。HFNC 在心功能不全患者中的治疗优势逐渐突显, 但目前其在心衰中的应用报道较少。现就 HFNC 治疗心衰的生理基础、工作原理和作用机制展开综述。

1 氧疗应用于心衰治疗的生理学基础

急性心衰是急性呼吸衰竭的常见原因。心衰患者常存在限制性通气不足及弥散功能受损。急性左心衰竭时, 左心房压力升高导致肺静脉压、肺动脉压升高, 肺微血管压力升高, 位于肺泡壁内的微血管容量增加导致肺泡顺应性降低、肺泡扩张能力下降, 造成区域性低通气和肺泡低氧, 进而出现体循环动脉低氧血症。心衰的呼吸辅助支持治疗的主要目标在于维持组织的氧供。氧疗手段可完全或部分替代自主呼吸, 使呼吸功降低, 并通过纠正缺氧改善冠状动脉供血从而减轻心脏负担。此外, 通过提高吸入氧浓度, 可以减轻或缓解低氧性肺血管收缩, 从而降低肺血管阻力, 减轻右心室后负荷。

2 经鼻导管高流量氧疗的组成

该设备主要包括使流量保持在设定值的流量感受器及涡轮系统(输出装置)、主动加热湿化器、内置加热线路的呼吸管以及与患者端连接的鼻塞系统 4 个部分^[2]。根据患者需求 HFNC 吸入氧浓度(fraction of inspiration O_2 , FiO_2)可以设置为 21%~100%, 流量通常可以设定在 20~60 L/min。来自输出设备的气体经加温湿化器加热和加湿, 随后通过加热呼吸管输送, 经过鼻导管吸入患者体内。

3 经鼻导管高流量氧疗的作用机制

高流量输送的温暖和湿润气体具有良好的生理效应。与其他标准氧疗方法相比, HFNC 具有许多生理优势, 包括减少解剖死腔、增加气道压力、气体充分温湿化和 FiO_2 恒定^[2]。其作用机制主要体现在以下几个方面。

3.1 减少解剖死腔和清除二氧化碳(CO_2)

心衰患者通常使用的氧气面罩、无创通气(noninvasive ventilation, NIV)接口都增加了解剖死腔, 而鼻导管是唯一不增加解剖死腔的呼吸界面。解剖死腔的存在会造成 CO_2 的重复呼吸, 降低通气效率。HFNC 虽然是一种开放系统, 但是从鼻导管输送的高流量氧气, 可以在呼气周期冲刷残留在口鼻咽部解剖无效腔的呼出气、冲洗 CO_2 , 减少其重新吸入, 促进肺泡内氧气(O_2)和 CO_2 的交换, 从而迅速提高氧饱和度, 增加通气效率, 还可以改善胸腹呼吸同步性^[3]。

3.2 产生气道压力和增加呼气末肺容积

HFNC 输送的高流量气体达到或超过了患者主动吸气的最大吸气流速, 可以产生类呼气末正压(positive end expiratory pressure, PEEP)效应, 提供低水平的气道正压支持。PEEP 使部分气道扩张, 有效降低吸气阻力和呼吸做功, 增加每分钟通气量; 同时有利于肺泡扩张, 并减少肺部通气血流灌注失调。HFNC 产生的咽部正压随气体流量增加而增加, 并受性

别、体重指数和是否张口等条件的影响。一般情况下, 流量与上呼吸道平均压力的关系基本呈线性反应^[4], 当流量为 30 L/min、40 L/min 和 50 L/min 时, 以鼻咽导管测量的鼻咽部平均气道压分别为 (1.52 ± 0.6) cmH₂O (1 cmH₂O=0.098 kPa)、 (2.21 ± 0.8) cmH₂O 和 (3.1 ± 1.2) cmH₂O^[5]。以电阻抗断层扫描测量肺阻抗可以发现, 相比较低流量氧疗组, HFNC 组的呼气末肺容积更大^[6]。目前, 许多研究都证明了 HFNC 对轻、中度低氧性呼吸衰竭的有效性^[2, 3, 7], 虽然 HFNC 在严重急性呼吸衰竭患者中应用的报导较少, 但对于成人严重呼吸衰竭的早期阶段仍有一定应用价值^[4]。

由于 HFNC 可以有效改善氧合及提供低水平的 PEEP, 因此更适用于急性心源性肺水肿的治疗。Carratalá Perales 等^[8]的研究显示, 相比于传统氧疗手段, HFNC 用于 NIV 治疗后仍存在低氧血症和呼吸困难的急性心源性肺水肿患者, 能够显著改善动脉血气参数(血氧分压和 pH)并缓解呼吸困难等临床症状, 且耐受性较好。Roca 等^[9]开展的一项前瞻性研究证明, HFNC 应用于心衰患者可改善血流动力学。该研究以下腔静脉直径变化反映右心房前负荷改善, 将 HFNC 流量设定为 20 L/min 或 40 L/min 用于纽约心脏协会(NYHA)心功能 III 级心衰患者, 结果显示, 其下腔静脉吸气塌陷率分别较基线水平降低 20% 和 53%, 撤离 HFNC 后, 这一改变也随之消失; 同时该研究还观察到, HFNC 可降低患者的呼吸频率。该研究提示, HFNC 可以在不影响心输出量的前提下, 通过产生胸腔内正压和降低心脏前负荷, 从而改善 NYHA III 级心衰患者的血流动力学状态。

3.3 温湿气体的生理作用

3.3.1 良好的舒适度和耐受性

HFNC 的加温、加湿功能可以为患者提供更好的舒适度和耐受性。虽然传统的氧疗装置有时也应用气泡加湿器加湿输送医疗气体, 但是紧急情况下气体的绝对湿度仍然很低[约为 (16 ± 2) mg/L]^[10]。这种气体往往使上呼吸道变得干燥, 上皮细胞损伤, 黏膜纤毛清除功能下降并改变黏液的生理特性, 促进肺不张; 支气管接触冷空气可发生收缩痉挛, 机体通过这种机制减少上呼吸道和气管中的气流来保护肺部免受干冷空气的不良影响。最终引起不适症状, 导致患者难以耐受。HFNC 治疗过程中可以使外界干冷空气得到有效加温加湿, 达到人体最适温度湿度, 可减轻干冷空气对呼吸道的刺激以及降低诱发支气管痉挛的机率; 加湿后痰液稀释、纤毛运动活跃, 气道分泌物更易排出, 这些都增加了 HFNC 的舒适度。HFNC 治疗过程中患者的饮食、睡眠、交谈及一般活动不受影响, 这使患者更易配合治疗。目前的证据证明了高流量氧疗可提高呼吸窘迫患者的舒适度和耐受性^[11]。

3.3.2 对分泌特性的影响

高流量干燥气体诱导产生的高粘滞性分泌物可能引起致命的气道梗阻^[12]。HFNC 输送的温湿气体使呼吸道黏膜的热量和水分散失降至最低, 可保护和优化黏膜纤毛转运系统功能, 包括促进气体交换、分泌清除和维持宿主防御功能^[13]。将气体加热至人体核心温度(37℃), 并将其加湿至饱和不仅可以有助于保留黏膜功能、最大限度地提高黏膜纤毛清除率, 还可以维持分泌物的正常流变学和体积, 而不会发生热损伤^[14]。这些特性有利于呼吸道分泌物的清除, 从而减少肺部并发症和促进肺功能的改善。

3.3.3 降低能量消耗

温湿气体可以节省机体因加热和增湿气体产生的能量消耗。在正常情况下(温度为 21℃, 相对湿度为 50% 的房间), 潮气量为 500 ml, 呼吸频率 12 次/min 的成年人需要约 156 cal/min 用于气体的加温、加湿^[15]。输送温暖潮湿的气体不仅增强了患者的舒适度, 而且减少了鼻子和上呼吸道的干燥, 有助于避免冷而干燥气体所造成的支气管收缩^[16]; 高流量氧气可对气道起机械性支撑作用, 提供与患者吸气量匹配的流量, 并显著减弱与鼻咽相关的吸气阻力, 从而减少呼吸功^[17]。此外, 通过保持黏膜纤毛功能的完整性并使分泌物更容易排出, HFNC 也可能减少咳嗽所消耗的能量。HFNC 节省能量消耗的作用对于心衰患者非常重要。

3.4 吸入氧气浓度值更高、更稳定

HFNC 通过提供高于自发性吸气需求的流量来维持高水平 FiO_2 值, 从而减少室内空气夹带, 这是标准鼻塞和面罩无法达到的。常规的氧疗仪器, 如文丘里面罩或储氧面罩虽然设有防止 CO_2 再次呼吸的气孔, 但当患者的通气需求超过设备提供的通气量时, 患者将呼吸一部分大气。因此, 在传统的氧气供应系统(低流量)下, 实际的 FiO_2 并不稳定, 通常都远低于计算的预测值^[18]。HFNC 在高流量和闭口呼吸状态时, 所输送的流量远远高于患者的自发吸气量, 因此实际 FiO_2 接近预先设定的 FiO_2 , 在改善氧合方面更具有优势。通过监测下咽部的压力及氧气、二氧化碳浓度, Ritchie 等^[19] 观察到, 当输送的气体流量大于受试者的吸气峰值流速时, 所测量的实际 FiO_2 值接近设定的 FiO_2 值。而在 FiO_2 相同的前提下, HFNC 在改善氧合方面仍有优势。Maggiore 等^[20] 将 HFNC 与文丘里面罩在危重患者气管插管拔除后的表现进行对比, 发现在 FiO_2 相同的条件下, HFNC 组的氧合指数明显改善。同时证明 HFNC 可以降低 PaCO_2 和呼吸频率、改善舒适度并减少界面位移和氧饱和度下降的发生。因此 HFNC 在避免患者再插管方面具有明显优势。

Chatila 等^[21] 观察了慢性阻塞性肺病稳定期患者分别应用 HFNC 和低流量吸氧状态下休息和运动时的血氧饱和度和血氧分压, 发现: 与低流量吸氧组相比, HFNC 组患者在休息和运动时的血氧饱和度和血氧分压均有明显的优势, 并且患者运动时间更长 [$(10.0 \pm 2.4) \text{ min}$ vs $(8.2 \pm 4.3) \text{ min}$], 呼吸困难感受较少, 平均动脉压和心率更低。同时, 在 FiO_2 匹配的前提下, HFNC 组患者的氧合较好, 提示 HFNC 能通过改善患者氧合状态增加其运动耐力, 心衰患者氧合的改善可能会增加运动耐受性, 但是尚有待于大规模随机对照试验来进一步证实。

3.5 对呼吸参数的影响

HFNC 对呼吸参数的影响主要表现在: 降低呼吸频率、增加潮气量、小幅度提高气道压力和减少呼吸功^[22]。在健康志愿者中观察到, HFNC 可以在保持每分钟通气量平稳的条件下增加潮气量和减少呼吸频率^[23]。Corley 等^[24] 也观察到, HFNC 可增加心脏手术后患者的潮气量。对于急性肺水肿患者来说, 这种肺容量和呼吸参数的变化可以产生持续正压通气样作用, 从而扩张水肿的肺泡并改善氧合、增加肺顺应性, 减轻左心室后负荷。最近, Makdee 等^[25] 开展的一项随机对照试验将急诊科原发性肺水肿患者使用 HFNC 和传统氧疗的效果进行对比。试验纳入了 128 例患者(传统氧疗组 65 例,

HFNC 组 63 例), HFNC 组和传统氧疗组的呼吸频率基线值分别为 28.7 次/min 和 28.6 次/min。该试验观察到: HFNC 组干预 60 min 后呼吸频率明显低于传统氧疗组, 证实 HFNC 可以提供有效的氧合和舒适的体验, 且并发症或不良事件的发生率最小。

目前越来越多的研究已经报道了 HFNC 对于重症监护患者的益处。为了评估 HFNC 对于普通病房患者的治疗效果, Pirret 等^[7] 将 HFNC 应用于普通病房中存在呼吸衰竭或有呼吸衰竭高危风险的患者, 结果表明: HFNC 能够改善受试者肺功能, 降低心率和呼吸频率, 增加血氧饱和度水平。该研究中的阳性结果意味着对于普通病房中未接受病危护理的患者, HFNC 有望提高其护理效果、降低对重症监护的需求, 并缩短住院时间。

3.6 降低再插管率和病死率

HFNC 的 PEEP 效应可在一定程度上减轻气管插管拔管后肺泡塌陷, 预防拔管后再插管和急性呼吸衰竭的发生, 可作为拔管后序贯氧疗的选择。为了比较气管插管拔管后不同氧疗手段对患者氧合功能的影响, Maggiore 等^[20] 进行的随机对照试验显示: 在拔管后期, 相比于文丘里面罩组, HFNC 组对于再次插管和 NIV 支持的需求度更低。一项纳入 310 例患者的多中心随机对照研究显示: NIV 和 HFNC 都会降低急性低氧呼吸衰竭患者的插管率, 并且 HFNC 在第 28 天的插管率、无呼吸机天数等结局不劣于 NIV。并且与标准氧疗或 NIV 相比, HFNC 不仅显著降低重症监护室死亡率和 90 天死亡率, 也显著减少呼吸道不适和呼吸困难症状^[26]。

目前已有多项研究证明, HFNC 可以降低拔管后再插管高危患者的插管率, 在预防再插管和拔管后呼吸衰竭方面的效能不劣于 NIV^[20, 26, 27]。Hernández 等^[28] 比较了传统氧疗方案与 HFNC 应用于拔管后再插管低危的患者, 证实 HFNC 也能够显著降低拔管后再插管低危患者 72 小时内再插管率。但是, 应用 HFNC 的适应证及其向有创机械通气转换的时机仍有待于进一步研究。

4 结论

综上所述, 作为一种新型氧疗手段, HFNC 通过加温湿化装置使气体维持人体最适宜的温度、湿度, 可以在提高舒适度的同时明显改善心衰患者的氧合, 研究证明其用于心衰所致低氧血症的治疗是安全、有效的。HFNC 在心衰所致呼吸衰竭的治疗中展现出明显的优势和广阔的前景, 值得重视和推广。

目前尚无针对 HFNC 在心衰不同进展阶段中应用的临床研究, 大多数研究缺乏心功能参数变化的数据和对患者远期预后的评估。HFNC 通过何种机制影响心功能、应用及结束的时机、具体参数的选择等问题仍无定论。我们期待大规模的随机对照试验可以为 HFNC 治疗心衰提供更多的循证依据。相信随着研究的进一步深入, 我们对于 HFNC 的认识也会更加全面。

参考文献

- [1] Manley BJ, Owen LS, Doyle LW, et al. High-flow nasal cannulae in very preterm infants after extubation[J]. N Engl J Med, 2013, 369(15): 1425-1433. DOI: 10.1056/NEJMoa1300071.
- [2] Nishimura M. High-flow nasal cannula oxygen therapy in adults: physiological benefits, Indication, clinical benefits, and adverse

- effects[J]. *Respir Care*, 2016, 61(4): 529–541. DOI: 10.4187/respcare.04577.
- [3] Itagaki T, Okuda N, Tsunano Y, et al. Effect of high-flow nasal cannula on thoraco-abdominal synchrony in adult critically ill patients[J]. *Respir Care*, 2014, 59(1): 70–74. DOI: 10.4187/respcare.02480.
- [4] Nishimura M. For critically ill patients, is high-flow nasal cannula oxygen delivery a suitable alternative to mechanical ventilation?[J]. *Respir Care*, 2015, 60(2): 307–308. DOI: 10.4187/respcare.03871.
- [5] Parke RL, McGuinness SP. Pressures delivered by nasal high flow oxygen during all phases of the respiratory cycle[J]. *Respir Care*, 2013, 58(10): 1621–1624. DOI: 10.4187/respcare.02358.
- [6] Corley A, Caruana LR, Barnett AG, et al. Oxygen delivery through high-flow nasal cannulae increase end-expiratory lung volume and reduce respiratory rate in post-cardiac surgical patients[J]. *Br J Anaesth*, 2011, 107(6): 998–1004. DOI: 10.1093/bja/aer265.
- [7] Pirret AM, Takerei SF, Matheson CL, et al. Nasal high flow oxygen therapy in the ward setting: a prospective observational study[J]. *Intensive Crit Care Nurs*, 2017, 42: 127–134. DOI: 10.1016/j.iccn.2017.04.001.
- [8] Carratalá Perales JM, Llorens P, Brouzet B, et al. High-flow therapy via nasal cannula in acute heart failure[J]. *Rev Esp Cardiol*, 2011, 64(8): 723–725. DOI: 10.1016/j.recesp.2010.10.034.
- [9] Roca O, Pérez-Terán P, Masclans JR, et al. Patients with New York Heart Association class III heart failure may benefit with high flow nasal cannula supportive therapy: High flow nasal cannula in heart failure[J]. *J Crit Care*, 2013, 28(5): 741–746. DOI: 10.1016/j.jcrc.2013.02.007.
- [10] Chanques G, Constantin JM, Sauter M, et al. Discomfort associated with underhumidified high-flow oxygen therapy in critically ill patients[J]. *Intensive Care Med*, 2009, 35(6): 996–1003. DOI: 10.1007/s00134-009-1456-X.
- [11] Spoletini G, Alotaibi M, Blasi F, et al. Heated humidified high-flow nasal oxygen in adults: mechanisms of action and clinical implications[J]. *Chest*, 2015, 148(1): 253–261. DOI: 10.1378/chest.14-2871.
- [12] Wood KE, Flaten AL, Backes WJ. Inspissated secretions: a life-threatening complication of prolonged noninvasive ventilation[J]. *Respir Care*, 2000, 45(5): 491–493.
- [13] Esquinas Rodríguez AM, Scala R, Soroksky A, et al. Clinical review: humidifiers during non-invasive ventilation—key topics and practical implications[J]. *Crit Care*, 2012, 16(1): 203. DOI: 10.1186/cc10534.
- [14] Williams R, Rankin N, Smith T, et al. Relationship between the humidity and temperature of inspired gas and the function of the airway mucosa[J]. *Crit Care Med*, 1996, 24(11): 1920–1929.
- [15] Dysart K, Miller TL, Wolfson MR, et al. Research in high flow therapy: mechanisms of action[J]. *Respir Med*, 2009, 103(10): 1400–1405. DOI: 10.1016/j.rmed.2009.04.007.
- [16] Richards GN, Cistulli PA, Ungar RG, et al. Mouth leak with nasal continuous positive airway pressure increases nasal airway resistance[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 1996, 154(1): 182–186. DOI: 10.1164/ajrccm.154.1.8680678.
- [17] Papazian L, Corley A, Hess D, et al. Use of high-flow nasal cannula oxygenation in ICU adults: a narrative review[J]. *Intensive Care Med*, 2016, 42(9): 1336–1349. DOI: 10.1007/s00134-016-4277-8.
- [18] Pisani L, Vega ML. Use of nasal high flow in stable COPD: rationale and physiology[J]. *COPD*, 2017, 14(3): 346–350. DOI: 10.1080/15412555.2017.1315715.
- [19] Ritchie JE, Williams AB, Gerard C, et al. Evaluation of a humidified nasal high-flow oxygen system, using oxygraphy, capnography and measurement of upper airway pressures[J]. *Anaesth Intensive Care*, 2011, 39(6): 1103–1110.
- [20] Maggiore SM, Idone FA, Vaschetto R, et al. Nasal high-flow versus Venturi mask oxygen therapy after extubation. Effects on oxygenation, comfort, and clinical outcome[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2014, 190(3): 282–288. DOI: 10.1164/rccm.201402-0364OC.
- [21] Chatila W, Nugent T, Vance G, et al. The effects of high-flow vs low-flow oxygen on exercise in advanced obstructive airways disease[J]. *Chest*, 2004, 126(4): 1108–1115. DOI: 10.1378/chest.126.4.1108.
- [22] Bräunlich J, Köhler M, Wirtz H. Nasal highflow improves ventilation in patients with COPD[J]. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2016, 11: 1077–1085. DOI: 10.2147/COPD.S104616.
- [23] Mündel T, Feng S, Tatkov S, et al. Mechanisms of nasal high flow on ventilation during wakefulness and sleep[J]. *J Appl Physiol*, 2013, 114(8): 1058–1065. DOI: 10.1152/japplphysiol.01308.2012.
- [24] Corley A, Caruana LR, Barnett AG, et al. Oxygen delivery through high-flow nasal cannulae increase end-expiratory lung volume and reduce respiratory rate in post-cardiac surgical patients[J]. *Br J Anaesth*, 2011, 107(6): 998–1004. DOI: 10.1093/bja/aer265.
- [25] Makdee O, Monsomboon A, Surabenjawong U, et al. High-flow nasal cannula versus conventional oxygen therapy in emergency department patients with cardiogenic pulmonary edema: a randomized controlled trial[J]. *Ann Emerg Med*, 2017, 70(4): 465–472.e2. DOI: 10.1016/j.annemergmed.2017.03.028.
- [26] Frat JP, Thille AW, Mercat A, et al. High-flow oxygen through nasal cannula in acute hypoxemic respiratory failure[J]. *N Engl J Med*, 2015, 372(23): 2185–2196. DOI: 10.1056/NEJMoa1503326.
- [27] Hernández G, Vaquero C, Colinas L, et al. Effect of postextubation high-flow nasal cannula vs noninvasive ventilation on reintubation and postextubation respiratory failure in high-risk patients: a randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2016, 316(15): 1565–1574. DOI: 10.1001/jama.2016.14194.
- [28] Hernández G, Vaquero C, González P, et al. Effect of postextubation high-flow nasal cannula vs conventional oxygen therapy on reintubation in low-risk patients: a randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2016, 315(13): 1354–1361. DOI: 10.1001/jama.2016.2711.

(收稿日期:2017-09-01)

(编辑: 朱柳媛)