

成人经鼻高流量湿化氧疗临床规范应用 专家共识



扫一扫下载全文

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

通信作者:解立新,解放军总医院呼吸与危重症医学科,北京 100086,Email:xielx301@126.com;詹庆元,中日友好医院呼吸与危重症医学科,北京 100022,Email:zhanqy0915@163.com

【摘要】 经鼻高流量湿化氧疗(HFNC)作为一种新的呼吸支持技术近些年来在临床得到广泛应用,该治疗设备主要包括空氧混合装置、湿化治疗仪、高流量鼻塞以及连接呼吸管路,主要关注于给患者提供相对恒定的吸氧浓度(21%~100%)、温度(31~37℃)和湿度的高流量(8~80 L/min)气体,并通过鼻塞进行氧疗,具有很好的舒适性。HFNC能够通过吸入高流量气体产生一定水平的呼气末正压、冲刷上呼吸道生理死腔、恒温恒湿的气体维持黏液纤毛清除系统功能以及降低患者上气道阻力和呼吸功等作用改善患者的换气和部分通气功能,对单纯低氧性呼吸衰竭(I型呼吸衰竭)患者具有积极的治疗作用,对部分轻度低氧合并高碳酸血症(II型呼吸衰竭)患者可能也具有一定的治疗作用,但尚需要大样本的临床研究证实。需要指出的是,HFNC的局限性也应正确认识。明确其适应证和禁忌证、规范临床应用势在必行,中华医学会呼吸病学分会呼吸危重症医学学组和中国医师协会呼吸医师分会危重症医学工作委员会牵头撰写成人经鼻高流量湿化氧疗临床规范应用专家共识,对规范国内HFNC的临床应用具有积极的意义。

基金项目:国家十三五重点研发计划(2016YFC1304300, 2018ZX09201013);国家老年疾病临床医学研究中心课题(NCRCG-PLAGH-2017003)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2019.02.003

2014年经鼻高流量湿化氧疗(high-flow nasal cannula oxygen therapy, HFNC)在中国内地开始应用,短短几年内在临床上得到快速普及推广,其临床疗效得到临床医生的广泛认可,国际著名杂志近些年来也相继发表了多篇大样本前瞻性临床研究,证明了HFNC在轻中度单纯低氧性呼吸衰竭(I型呼吸衰竭)的治疗价值^[1]。与传统氧疗、无创正压通气(non-invasive positive pressure ventilation, NPPV)及有创正压通气(invasive positive pressure ventilation, IPPV)比较, HFNC如何定位?如何规范应用?为此,中华医学会呼吸病学分会呼吸危重症医学学组及中国医师协会呼吸医师分会危重症医学工作委员会组织相关专家特制定本专家共识,以指导临床规范应用HFNC。本共识英文文献检索以Pubmed、Embase和Cochrane Central Register of Controlled Trails (CENTRAL) databases数据库内容为基础,检索词为“HFNC”或“high-flow nasal

cannula”或“high-flow oxygen therapy”或“nasal high-flow oxygen therapy”。中文文献检索以中国生物医学文献数据库、维普中文生物医学期刊数据库、万方医学数据库和中国学术期刊网络出版总库这4个数据库收录文献为基础,使用“高流量氧疗”或“高流量湿化氧疗”作为关键词进行检索。对于纳入的文献进一步追溯其参考文献。对上述检索结果进行人工核对,排除以下3项:(1)与检索内容无相关性;(2)动物实验研究;(3)研究对象未满18周岁的临床研究。证据等级标准为:I级:高质量的随机对照研究、权威指南以及高质量系统综述和荟萃分析;II级:有一定研究局限性的RCT研究(如无隐蔽分组、未设盲法、未报告失访)、队列研究、病例系列研究及病例对照研究;III级:病例报道、专家意见^[2]。

一、HFNC的定义及其发展历史

HFNC是指一种通过高流量鼻塞持续为患者

提供可以调控并相对恒定吸氧浓度(21%~100%)、温度(31~37℃)和湿度的高流量(8~80 L/min)吸入气体的治疗方式。该治疗设备主要包括空氧混合装置、湿化治疗仪、高流量鼻塞以及连接呼吸管路^[3]。结合国内和国际通用命名习惯,本共识统一采用“经鼻高流量湿化氧疗”进行表述,英文简称为HFNC(图1)。

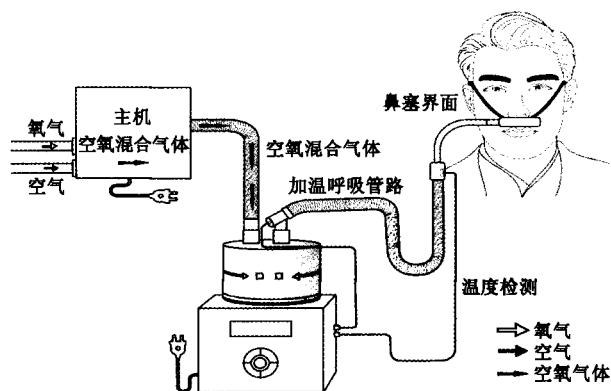


图1 经鼻高流量湿化氧疗仪示意图

人类开始氧气治疗的历史可回溯到18世纪后叶,20世纪初即开始应用橡胶制作的鼻导管进行氧疗^[4]。1987年美国研发了最高流量可达20 L/min的氧疗加温湿化装置MT-1000,应用于囊性肺纤维化等患者氧疗促进下呼吸道分泌物排出。近10年来,HFNC进入快速发展和临床广泛应用阶段,国际主流HFNC装置都是采用无创呼吸机的工作原理:用空氧混合器进行空氧混合,吸入氧浓度(FiO_2)为21%~100%,应用涡轮提供高流量的气体,采用呼吸机应用的加温加湿器和管路加热导丝对吸入气体进行全程加温加湿,并通过近患者端实时监测温度和氧浓度进行动态调控。另外,部分呼吸机厂家在有创和无创呼吸机上设置了HFNC功能,进一步拓展了呼吸机的临床适用范围,这也是未来的发展方向^[5]。国内HFNC的历史仅有5年左右,在前期仿制国外HFNC的基础上进行创新,在很短的时间内形成自己的特色,如可自动调节和精确调控 FiO_2 (21%~100%)、温度控制精度可达 $\pm 1^\circ\text{C}$ 、呼吸管路采用免消毒气路技术等。

二、HFNC设备的结构特点及作用原理

(一)HFNC的结构特点

HFNC按其结构特点可分为3大组成部分。(1)气体的空氧混合部分:其作用是将空气和氧气按预设氧浓度在涡轮前进行混合。氧浓度调控有2种

方法,一种是通过浮标式氧气流量计调节氧气流量实现对氧浓度的控制,该方法无法预设氧浓度,只能通过调节氧气流量产生实际的 FiO_2 ;一种是微型比例阀和超声氧浓度传感器实现对氧浓度的控制,可以预设 FiO_2 。(2)气体的加温湿化部分:其作用是将空氧混合后的气体进行加温湿化。(3)气体的输送部分:其作用是保证已完成加温湿化的空氧混合气体以恒温恒湿恒流速的方式输送至患者端。高流量湿化氧疗仪与患者连接部分为高流量鼻塞,高流量鼻塞的尖端呈斜面型的出口,质地柔软,用一个具有弹性可调节的过耳头带固定于患者面部。

(二)HFNC的生理学机制

1. 呼气末正压(PEEP)效应:HFNC通过输送高流速气体的方式,可以维持一定水平的PEEP,维持肺泡开放,有利于呼气末肺泡复张和气血交换。Corley等^[6]通过使用电阻抗断层扫描(EIT)测量心脏手术后肺容积的生理学研究表明HFNC可促进呼气末肺容积增加,表明HFNC通过高流量产生的PEEP作用促进肺复张。有研究结果显示,HFNC流量每增加10 L/min,患者咽腔PEEP就增加0.5~1 cmH_2O (1 $\text{cmH}_2\text{O}=0.098\text{ kPa}$)^[7]。流量增加到60 L/min时,闭口的女性受试者咽腔PEEP可达到8.7 cmH_2O 左右,男性为5.4 cmH_2O ;张口呼吸情况下女性为3.1 cmH_2O ,男性为2.6 cmH_2O 左右。但值得注意的是,由于HFNC允许大量漏气,患者若张口呼吸必然导致PEEP水平不稳定^[6]。

2. 生理死腔冲刷效应:HFNC通过为患者提供恒定的、可调节的高流速空氧混合气体,冲刷患者呼气末残留在鼻腔、口腔及咽部的解剖无效腔的气体,可明显减少患者下一次吸气时吸入的 CO_2 的含量^[8]。Möller等^[9]通过81 mKr气体测定HFNC对10名健康人鼻咽部和3例气管切开患者 CO_2 的清除率,发现 CO_2 清除率和HFNC的气体流速和佩戴时间直接相关。

3. 维持黏液纤毛清除系统功能:HFNC主要关注于提供相对精确的恒温和恒湿的高流量氧疗,因而能够更符合人体生理情况下呼吸道的气体温度及湿度,降低医用干冷气体对上下呼吸道黏液纤毛系统功能和黏膜的影响^[10]。与普通氧疗相比,使用HFNC可以明显降低患者鼻、口、咽喉的干燥评分,有助于稀释痰液和排痰,修复和维持人呼吸道上皮细胞和纤毛的结构和功能,提高患者的舒适度,降低下呼吸道感染的发生几率^[6,11]。

4. 降低患者上气道阻力和呼吸功:鼻咽腔通过

提供较大的表面积对吸入气体进行湿化和温化,但同时吸入气体之间的摩擦会对气流产生明显的阻力^[12]。HFNC可以提供满足患者吸气流速需求、恒温恒湿的高流量气体,患者在吸气时不需要用力吸气也不需要吸入气体进行加温加湿,这样不仅降低吸气阻力,同时避免患者对吸入气体进行温化湿化所需的代谢消耗,减少患者的呼吸做功^[13-14]。而且与常规氧疗输出的低流量氧气方式相比,HFNC能提供符合或超过患者所需的吸气峰流速,减少了吸气时空气的稀释作用,使得吸入氧气的浓度不会受到患者的呼吸频率、吸气流速、呼吸形态等因素的影响,为患者提供精确稳定的吸氧浓度,有利于改善患者氧合^[6]。患者低氧状态得到改善,呼吸更舒适,自主用力呼吸减弱,加之PEEP作用,呼吸功会随之降低^[15]。

三、HFNC和NPPV的异同点

HFNC和NPPV在治疗原理上存在许多相似之处。从工作原理上看,都是电动涡轮机驱动形成高速气流,通过电磁阀实现流量可控,气流均可加温加湿,都是传统意义上的正压通气,能够维持一定水平的PEEP,实现气道开放,减少死腔,改善通气,且允许开放气道发生漏气。HFNC和NPPV的不同点见表1^[16-17]。

四、HFNC临床适应证及禁忌证

由于各研究结果间的差异^[18-20],目前HFNC临床应用的适应证和禁忌证尚无统一的标准。根据已发表的HFNC临床应用研究证据,目前认为HFNC主要应用于治疗轻~中度I型呼吸衰竭患者^[21-23]。对于伴有严重通气功能障碍的II型呼吸衰竭患者,由于HFNC无明显的通气辅助功能,且

临床疗效仍不明确,此时应慎重选择HFNC。HFNC的应用时机、适应证和禁忌证见表2。

推荐建议:HFNC的适应证是轻中度低氧血症($100\text{ mmHg} \leq \text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 300\text{ mmHg}$, $1\text{ mmHg} = 0.133\text{ kPa}$)、没有紧急气管插管指征、生命体征相对稳定的患者;对轻度通气功能障碍($\text{pH} \geq 7.3$)患者也可以谨慎应用,但要做好更换为NPPV或气管插管有创正压通气的准备(证据等级II)。HFNC的禁忌证是心跳呼吸骤停、重度I型呼吸衰竭、中重度呼吸性酸中毒高碳酸血症($\text{pH} < 7.30$)、合并多脏器功能不全等(证据等级III)。

为便于临床应用,本共识总结HFNC临床应用时机流程图,见图2、3。

五、临床应用

(一) 急性I型呼吸衰竭

1. 重症肺炎:两中心的前瞻性队列研究结果显示,以社区获得性肺炎(CAP)为主的重症肺炎患者接受HFNC(2 h后 $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$ 约100),其中28%因失败需行气管插管,治疗12 h后ROX指数(即 $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$ 与呼吸频率比值) ≥ 4.88 是预测成功的重要指标^[24]。多中心随机对照试验结果显示,HFNC治疗急性I型呼吸衰竭患者[78%为重症肺炎, $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 为 $(157 \pm 89)\text{ mmHg}$],28 d气管插管率为38%,与非重复吸入面罩和NPPV相比差异无统计学意义,但在 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 200\text{ mmHg}$ 亚组比较中HFNC优于对照组;HFNC比对照组更能改善90 d的生存率^[22]。重症H1N1肺炎($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 为84~210 mmHg)的回顾性队列研究结果显示,HFNC可使常规氧疗失败的45%患者避免气管插管,成功的相关预测因素包括无休克、较低的SOFA(< 4 分)或

表1 HFNC和NPPV的不同点

比较项目	HFNC	NPPV
连接方式	主要通过鼻塞进行治疗	主要通过口鼻面罩、鼻罩、全脸罩等进行治疗
压力支持	通过高流量气体提供不稳定的气道正压,辅助通气效果有限	可以设置不同水平的通气支持和模式,如BiPAP、PCV及CPAP等,预设压力相对稳定
漏气	允许一定量漏气,漏气较多会影响治疗效果	允许一定量漏气,漏气较多会严重影响人机同步
人机配合	基本不需要人机配合,不需要吸呼切换	需要人机配合,重症患者对呼吸机的要求很高,呼吸之间人机同步直接决定治疗成败
舒适度	舒适感较好	舒适感较差,有幽闭感
气道保护	有利于患者咳嗽和气道保护	重症患者要注意气道保护和湿化问题
治疗目标	主要关注于恒温恒湿和提供相对精确的 FiO_2	主要关注于改善患者通气与换气功能,解决低氧和高碳酸血症,缓解呼吸肌疲劳
适应患者	主要适用于轻中度I型呼吸衰竭患者,对II型呼吸衰竭患者应用一定要慎重	可以广泛应用于II型和I型急性呼吸衰竭患者

注:HFNC:经鼻高流量湿化氧疗;NPPV:无创正压通气;CPAP:持续正压通气;BiPAP:双水平正压通气;PCV:压力控制通气; FiO_2 :吸入氧浓度

表2 HFNC临床应用适应证及禁忌证

适应证:

1. 轻~中度 I 型呼吸衰竭 ($100 \text{ mmHg} \leq \text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 300 \text{ mmHg}$)
2. 轻度呼吸窘迫(呼吸频率 >24 次/min)
3. 轻度通气功能障碍 ($\text{pH} \geq 7.3$)
4. 对传统氧疗或无创正压通气不耐受或有禁忌证者

相对禁忌证

1. 重度 I 型呼吸衰竭 ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 100 \text{ mmHg}$)
2. 通气功能障碍 ($\text{pH} < 7.30$)
3. 矛盾呼吸
4. 气道保护能力差,有误吸高风险
5. 血流动力学不稳定,需要应用血管活性药物
6. 面部或上呼吸道手术不能佩戴 HFNC 者
7. 鼻腔严重堵塞
8. HFNC 不耐受

绝对禁忌证

1. 心跳呼吸骤停,需紧急气管插管有创机械通气
2. 自主呼吸微弱、昏迷
3. 极重度 I 型呼吸衰竭 ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 60 \text{ mmHg}$)
4. 通气功能障碍 ($\text{pH} < 7.25$)

注:HFNC:经鼻高流量湿化氧疗;FiO₂:吸入氧浓度;1 mmHg=0.133 kPa

APACHE II 评分 (<12 分), 以及 HFNC 后 6 h 内 PaO₂/FiO₂ 明显改善; 存在呼吸系统慢性基础疾病 (哮喘或慢阻肺) 者使用 HFNC 的成功率较高。HFNC 治疗失败后转为有创通气患者的病死率为 27.3%, 高于起始使用有创通气患者 20% 的病死率, 但气管插管的延迟与病死率之间无统计学关联^[25]。

推荐建议: 重症肺炎合并急性 I 型呼吸衰竭

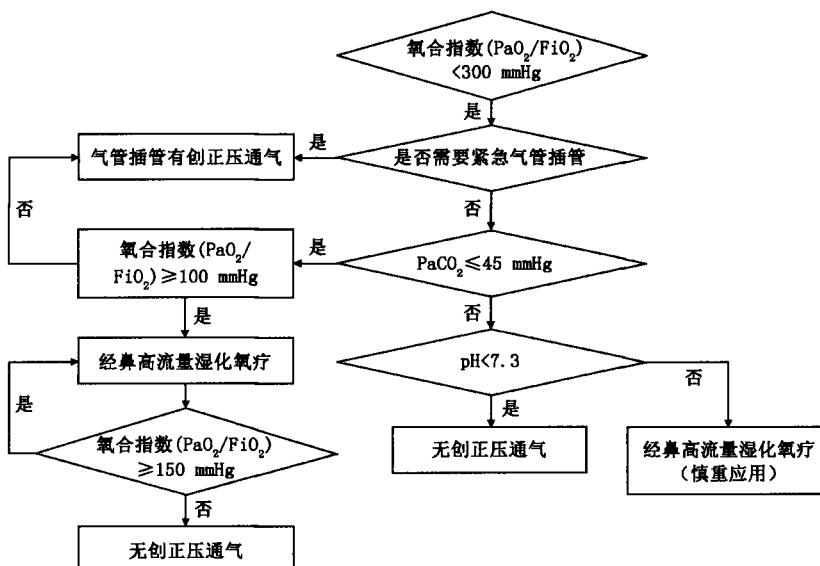


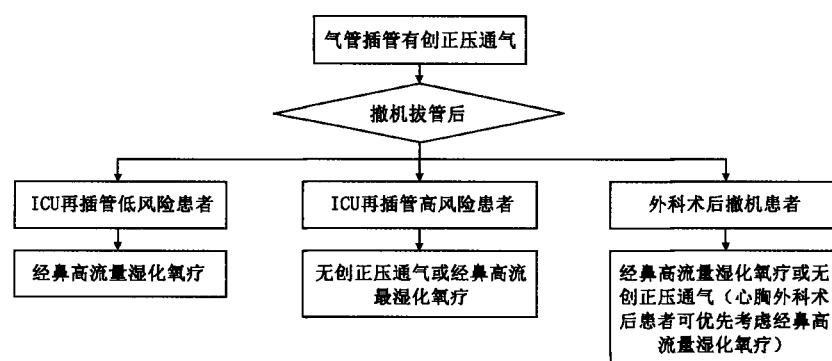
图2 急性呼吸衰竭经鼻高流量湿化氧疗应用时机

($100 \text{ mmHg} \leq \text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 300 \text{ mmHg}$) 可考虑应用 HFNC (证据等级 II), 成功的相关因素包括无休克、较低的 SOFA (<4 分) 或 APACHE II 评分 (<12 分), 以及 HFNC 后 6 h 内 PaO₂/FiO₂ 明显改善 (证据等级 II)。

2. 急性呼吸窘迫综合征 (acute respiratory distress syndrome, ARDS): ARDS 是以急性顽固性 I 型呼吸衰竭为主要临床表现的综合征, 纠正缺氧是 ARDS 治疗的重要策略^[26]。一项多中心随机开放研究结果显示, 将患者分成 HFNC 组、传统氧疗组以及 NPPV 组, 第 28 天的气管插管率分别为 38%、47% 和 50% ($P > 0.05$), 提示与传统氧疗和 NPPV 比较, HFNC 并不能降低气管插管率, 但可以改善 90 d 病死率; 进一步亚组分析, 氧合指数 <200 mmHg 的患者, 与标准氧疗和 NPPV 比较, HFNC 组气管插管率更低^[22]。一项根据柏林定义 ARDS 的诊断和严重程度分级的临床研究结果显示, 45 例 ARDS 患者采用 HFNC 治疗, 其中 33% 患者为重度 ARDS, 38% 为中度 ARDS, 29% 为轻度 ARDS, 结果成功 27 例 (60%); 对治疗失败的患者资料分析结果显示, 简化急性生理评分 II (SAPS II) 评分较成功组高, 多器官功能不全、血流动力学不稳定和意识障碍是 HFNC 失败的独立预测因素; 该研究结果同时证明, HFNC 仅可在轻中度 I 型呼吸衰竭患者中使用, 在重度低氧性呼吸衰竭患者中不被推荐^[27]。一项单中心观察性研究结果显示, 与传统氧疗相比, HFNC 同 NPPV 类似, 可以显著降低呼吸频率、改善氧分压, 且 HFNC 耐受性比 NPPV 好, 但如果

HFNC 治疗 1 h 后呼吸频率仍高于 30 次/min, 则需要插管的风险明显增高^[28]。最近一项荟萃分析结果表明, HFNC 与 NPPV 比较, 治疗 ARDS 时的气管插管率和拔管后的再插管率的差异无统计学意义, 但由于纳入的患者群体不同, 不同的研究存在一些互相矛盾的结果^[29]。

推荐建议: HFNC 可作为轻度 ARDS 患者 (PaO₂/FiO₂ 为 200~300 mmHg) 的一线治疗手段 (证据等级 II); 对于中度 ARDS 患者 (PaO₂/FiO₂ 为 150~200 mmHg), 在无明确的气管插管指征下, 可先使用 HFNC 1 h 后再次进行评估, 如症状无改善则需改为 NPPV 或有创通气



注: ICU再插管低风险标准(同时符合): 年龄 <65 岁, 急性生理和慢性健康状况评分 II (APACHE II) <12 分, 体重指数 <30 kg/m², 气道通畅, 排痰充分, 撤机顺利, 合并症 ≤ 1 个, 没有心力衰竭、中到重度慢阻肺及长期机械通气等问题^[39]; ICU再插管高风险标准(至少符合以下一条): 年龄 ≥ 65 岁, 心力衰竭, APACHE II ≥ 12 分, 体重指数 ≥ 30 kg/m², 咳痰无力或分泌物多, 至少有一次 SBT 失败, 合并症 >1 个, 有创机械通气 >7 d^[38,40]

图3 拔管后经鼻高流量湿化氧疗应用时机

(证据等级 II); PaO₂/FiO₂ <150 mmHg 的 ARDS 患者, 不建议常规应用 HFNC 治疗(证据等级 III)。预测 HFNC 治疗失败的因素包括: SAPS II 评分 ≥ 30 分、多器官功能不全、血流动力学不稳定、意识状况改变、合并 II 型呼吸衰竭的 ARDS 患者(证据等级 III)。

3. 其他 I 型呼吸衰竭疾病: 一项急诊科纳入急性心源性肺水肿患者(SpO₂为 88.7% \pm 8%)的随机对照研究结果显示, 在 30 min 内 HFNC 比传统氧疗能更明显地降低呼吸频率, 两者都能提高 SpO₂且差异无统计学意义, 在改善住院率、机械通气率及病死率等方面也无统计学差异^[30]。一篇纳入免疫抑制继发急性呼吸衰竭患者(PaO₂/FiO₂为 116~155 mmHg)的荟萃分析结果表明, 相比于 NPPV 和传统氧疗, HFNC 可显著降低短期病死率(包括 ICU 病死率、28 d 病死率和住院病死率)(RR=0.66)和气管插管率(RR=0.76), 但没有降低住 ICU 时间^[31]。近期发表的一项针对免疫抑制继发呼吸衰竭的随机对照研究中, HFNC 组和常规氧疗组 PaO₂/FiO₂ 分别是 136(96~187) mmHg 和 128(92~164) mmHg, 结果显示 HFNC 组改善氧合更显著(分别为 150 和 119 mmHg), 但不能改变死亡预后^[32]。有 4 例 PaO₂/FiO₂ 为 63~88 mmHg 的特发性肺纤维化急性加重患者应用 HFNC 治疗能显著改善氧合, 降低呼吸频率, 缓解呼吸困难, 直至急性加重病程缓解, 患者的主观舒适性及耐受性良好^[33,34]。对 PaO₂/FiO₂ 为 61.7 mmHg 的肺炎相关间质性肺炎的病例报道, HFNC 可避免气管插管, 缓解呼吸窘迫, 减少焦虑, 并允许患者早期下床康复活动, 显著提高了住院期

间的生活质量^[35]。

推荐建议: HFNC 对急性心源性呼吸衰竭、免疫抑制继发急性 I 型呼吸衰竭和间质性肺疾病急性加重能在一定程度上改善氧合(证据等级 III), 但不能改变预后(证据等级 II)。

(二) 有创通气撤机

1. ICU 危重症患者撤机: 回顾性研究^[36-37]结果显示, 与鼻导管吸氧相比 HFNC 可以降低再插管率, 但与 NPPV 比较再插管率没有明显差异。一项多中心随机研究^[38]结果显示, 再次插管低风险患者(有创通气撤机高风险和低风险的标准见图

3) 拔管后接受 HFNC 治疗, 相比传统氧疗 72 h 再插管风险显著降低; 同时, 与传统氧疗相比, HFNC 可以显著降低拔管后呼吸衰竭发生率, 但是两组再次插管的时间、呼吸道感染发生率、脓毒症发生率、多脏器功能衰竭发生率、住 ICU 时间、住院时间、ICU 及住院病死率没有明显差异。另有荟萃分析研究^[39]比较了成人患者拔管后使用 HFNC 与传统氧疗和 NPPV 之间的差异, 发现 HFNC 组相比传统氧疗再次插管率明显降低(OR=0.52, 95% CI 为 0.34~0.80, P=0.003), 与 NPPV 比较再插管率差异无统计学意义(OR=1.13, 95% CI 为 0.86~1.49, P=0.38), 且 3 组间的 ICU 病死率及 ICU 住院时间之间均没有明显差异。但在针对无高碳酸血症的再次插管高风险患者的一项多中心的研究结果^[40]显示, HFNC 组与传统氧疗组的再插管率、住 ICU 时间、住院时间及病死率没有明显差异。其他的研究结果表明, HFNC 与传统鼻导管氧疗、文丘里面罩等比较, 氧合改善更为明显; 与传统 NPPV 比较可以降低痰液黏稠度和鼻面部压疮的发生率, 舒适性更好^[41-44]。临床上也可以考虑 HFNC 与 NPPV 交替使用, 对改善氧合与提高患者的舒适度可有效兼顾。

推荐建议: 对于再次插管低风险患者, HFNC 与传统氧疗比较可以降低拔管后再插管率, 但与 NPPV 比较不能降低再插管率; 对于再次插管高风险患者(无高碳酸血症), HFNC 与传统氧疗比较不能降低再插管率(证据等级 II); 有创机械通气撤机后 HFNC 不能缩短住 ICU 时间及住院时间, 也不能降低病死率(证据等级 III)。

2. 外科术后患者撤机: (1) 腹部手术后: 一项法

国的多中心 RCT^[45]研究了腹部手术或胸腹联合术后的患者脱机拔管后即刻序贯传统氧疗或 HFNC, 结果发现与传统氧疗相比, HFNC 在应用后第 1 小时和应用结束时均不能明显改善腹部术后拔管患者的氧合情况 (PaO_2), 但 HFNC 可以缩短患者需要接受氧疗的时间, 但不能降低再插管率和升级呼吸支持的需要, 在术后 7 d 中肺部其他并发症的发生率也没有显著差异。(2) 心脏手术后: 与传统氧疗相比, 在心脏术后患者的拔管过程中序贯 HFNC 的临床效果似乎更为理想。相关荟萃分析结果显示^[46], HFNC 能降低心脏术后患者升级呼吸支持的需要 ($RR=0.61, P<0.001$), 但 ICU 住院天数无明显差异 ($RR=0.96, P=0.98$)。应用 HFNC 4 h 后患者舒适度明显优于传统氧疗组。(3) 肺部手术后: 英国的一项单中心 RCT^[47]研究了选择性肺叶切除的患者脱机拔管后即刻序贯传统氧疗或 HFNC, 结果显示两组的 6 min 步行距离差异无统计学意义, 但 HFNC 降低了患者的住院天数。

推荐建议: 外科手术后脱机序贯应用 HFNC 可以提高患者的舒适度, 降低心脏术后患者升级呼吸支持的需求 (证据等级 I), 减少胸外科手术患者的住院天数 (证据等级 II)。但与传统氧疗相比, HFNC 不能降低腹部外科手术患者的再插管率 (证据等级 II)。

(三) II 型呼吸衰竭

Bräunlich 等^[48]发现, 高碳酸血症 ($\text{PaCO}_2>45$ mmHg) 患者应用 HFNC 可以降低稳定期慢阻肺患者的 PaCO_2 , 而且与其漏气量和流速有关。有两项研究比较 HFNC 和 NPPV 对慢阻肺伴有轻度高碳酸血症患者的结果显示, 二者均能降低患者的 PaCO_2 水平, 且 HFNC 和 NPPV 之间差异无统计学意义^[49-50]。但也有小样本的研究结果证明^[51], 应用 HFNC 后可能引起 pH 值下降, PaCO_2 增高。有 4 项 RCT 对长期 (12 个月) 应用 HFNC 进行了研究^[50, 52-54], 结果显示与常规长期氧疗相比, 长期应用 HFNC 可以减少慢阻肺患者急性加重次数和天数, 减少住院次数^[50, 54], 能够显著降低 PaCO_2 ^[52-54], 改善健康相关生活质量^[53-54], 但对肺功能、6 min 步行距离、呼吸困难症状和氧合的改善存在一定分歧。目前, 慢阻肺稳定期患者 HFNC 的临床研究仍然较少, 缺乏较大规模的前瞻性随机对照研究提供证据支持。

推荐建议: 对于意识清楚的急性低氧血症合并高碳酸血症患者, 可在密切监测下, 尝试 HFNC, 若

1 h 后病情加重, 建议立即更换无创呼吸机或气管插管, 不建议作为常规一线治疗手段 (证据等级 II)。对于慢阻肺稳定期患者, 存在长期氧疗指征时 (即 $\text{PaO}_2\leq 55$ mmHg 或 $\text{SaO}_2<88\%$ 伴或不伴有高碳酸血症; 或 55 mmHg $<\text{PaO}_2\leq 60$ mmHg, 伴有肺动脉高压、肺心病临床表现或红细胞压积 >0.55), 可以尝试应用 HFNC, 用于改善患者的运动耐力和生活质量 (证据等级 II)。

HFNC 临床应用推荐建议见表 3。

六、HFNC 临床操作

1. HFNC 参数设置及撤离标准: (1) HFNC 参数设置: ① I 型呼吸衰竭: 气体流量 (Flow) 初始设置 30~40 L/min; 滴定 FiO_2 维持脉氧饱和度 (SpO_2) 在 92%~96%, 结合血气分析动态调整; 若没有达到氧合目标, 可以逐渐增加吸气流量和提高 FiO_2 最高至 100%; 温度设置范围 31~37 °C, 依据患者舒适性和耐受度, 以及痰液黏稠度适当调节。② II 型呼吸衰竭: 气体流量 (Flow) 初始设置 20~30 L/min, 根据患者耐受性和依从性调节; 如果患者二氧化碳潴留明显, 流量可设置在 45~55 L/min 甚至更高, 达到患者能耐受的最大流量; 滴定 FiO_2 维持 SpO_2 在 88%~92%, 结合血气分析动态调整; 温度设置范围 31~37 °C, 依据患者舒适性和耐受度, 以及痰液黏稠度适当调节。(2) HFNC 撤离标准: 原发病控制后逐渐降低 HFNC 参数, 如果达到以下标准即可考虑撤离 HFNC: 吸气流量 <20 L/min, 且 $\text{FiO}_2<30\%$ 。

2. 使用中注意事项: (1) 上机前应和患者充分交流, 说明治疗目的的同时取得患者配合, 建议半卧位或头高位 (>20 度); (2) 选择合适型号的鼻塞, 建议选取小于鼻孔内径 50% 的鼻导管^[55]; (3) 严密监测患者生命体征、呼吸形式运动及血气分析的变化, 及时做出针对性调整; (4) 张口呼吸患者需嘱其配合闭口呼吸, 如不能配合者且不伴有二氧化碳潴留, 可应用转接头将鼻塞转变为鼻/面罩方式进行氧疗; (5) 舌后坠伴 HFNC 效果不佳者, 先予以口咽通气道打开上气道, 后将 HFNC 鼻塞与口咽通气道开口处连通, 如仍不能改善, 可考虑无创通气其他呼吸支持方式; (6) 避免湿化过度或湿化不足, 密切关注气道分泌物性状变化, 按需吸痰, 防止痰堵窒息等紧急事件的发生; (7) 注意管路积水现象并及时处理, 警惕误入气道引起呛咳和误吸, 应注意患者鼻塞位置高度高于机器和管路水平, 一旦报警, 应及时处理管路冷凝水; (8) 如若出现患者无法耐受的异常高温, 应停机检测, 避免灼伤气道; (9) 为

表 3 经鼻高流量湿化氧疗临床应用推荐

疾病	推荐内容	证据等级
I 型呼吸衰竭		
重症肺炎	重症肺炎合并急性 I 型呼吸衰竭($100 \text{ mmHg} \leq \text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 300 \text{ mmHg}$)可考虑应用 HFNC 成功的相关因素包括无休克、较低的 SOFA(<4 分)或 APACHE II 评分(<12 分),以及 HFNC 后 6 h 内 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 明显改善	证据等级 II 证据等级 II
急性呼吸窘迫综合征	HFNC 可作为轻度 ARDS 患者($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 为 200~300 mmHg)的一线治疗手段 中度 ARDS($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 为 150~200 mmHg)患者在无明确的气管插管指征下,可先使用 HFNC,1 h 后再次进行评估,如症状无改善则需改为 NPPV 或有创通气 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 150 \text{ mmHg}$ 的 ARDS 患者,不建议常规应用 HFNC 治疗 预测 HFNC 治疗失败的因素包括:SAPS II 评分 ≥ 30 分、多器官功能不全、血流动力学不稳定、意识状况改变、合并 II 型呼吸衰竭的 ARDS 患者	证据等级 II 证据等级 II 证据等级 III 证据等级 III
其他 I 型呼吸衰竭	HFNC 对急性心源性呼吸衰竭、免疫抑制继发性 I 型呼吸衰竭和间质性肺疾病急性加重能在一定程度上改善氧合,但不能改变预后	证据等级 III
有创通气撤机	对于再次插管低风险患者,HFNC 与传统氧疗比较可以降低拔管后再插管率,但与 NPPV 比较不能降低再插管率 对于再次插管高风险患者(无高碳酸血症),HFNC 与传统氧疗比较不能降低再插管率 有创机械通气撤机后 HFNC 不能缩短住 ICU 时间及住院时间,也不能降低病死率	证据等级 II 证据等级 II 证据等级 III
外科术后	外科手术脱机序贯应用 HFNC 可以提高患者的舒适度,降低心脏术后患者升级呼吸支持的需求 减少胸外科手术患者的住院天数 与传统氧疗相比,HFNC 不能降低腹部外科手术患者的再插管率	证据等级 I 证据等级 II 证据等级 II
II 型呼吸衰竭	对于意识清楚的急性低氧血症合并高碳酸血症患者,可在密切监测下,尝试 HFNC,若 1 h 后病情加重,建议立即更换无创呼吸机或气管插管,不建议作为常规一线治疗手段 对于慢阻肺稳定期患者,存在长期氧疗指征时(即 $\text{PaO}_2 \leq 55 \text{ mmHg}$ 或 $\text{SaO}_2 < 88\%$ 伴或不伴有高碳酸血症;或 $55 \text{ mmHg} < \text{PaO}_2 \leq 60 \text{ mmHg}$,伴有肺动脉高压、肺心病临床表现或红细胞压积 > 0.55),可以尝试应用 HFNC,用于改善患者的运动能力和生活质量	证据等级 II 证据等级 II

注: HFNC:经鼻高流量湿化氧疗; PaO_2 :动脉氧分压; FiO_2 :吸入氧浓度; $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$:氧合指数; SaO_2 :动脉血氧饱和度; SOFA:序贯脏器衰竭评分; APACHE II:急性生理慢性健康状况评分 II; ARDS:急性呼吸窘迫综合征; NPPV:无创正压通气; ICU:重症监护病房; SAPS II:急性简化生理评分 II; 1 mmHg=0.133 kPa

克服呼吸管路阻力,建议最低流量最好不小于 15 L/min;(10)注意调节鼻塞固定带松紧,避免固定带过紧引起颜面部皮肤损伤;(11)使用过程中如有机器报警,及时查看并处理,直至报警消除;(12)使用过程中出现任何机器故障报错,应及时更换并记录报错代码提供厂家售后,严禁报错机器继续使用^[45,55-56]。

3. 感染预防控制:为避免交叉感染,每次使用完毕后应为 HFNC 装置进行终末消毒, HFNC 消毒连接仪器自带的消毒回路进行仪器内部消毒即可。HFNC 的表面应用 75% 酒精或 0.1% 有效氯进行擦拭消毒, HFNC 鼻导管、湿化罐及管路为一次性物品,按医疗垃圾丢弃。HFNC 的空气过滤纸片应定期更换,建议 3 个月或 1 000 h 更换一次。

七、问题与展望

HFNC 作为新的呼吸支持技术在临床得到广泛应用,对轻中度低氧性呼吸衰竭患者具有积极的治疗效果,在临床应用中如何规范合理使用,明确其适应范围,尚需要进一步的临床研究。另外 HFNC 设备还有待于进一步提高和完善,是否有必要将其技术整合到有创和无创呼吸机中尚需要进

一步论证和临床认可。期待本共识能够对临床医务人员正确选择临床适应证,明确其临床价值和局限性,规范应用,为挽救患者生命、促进其尽早康复起到积极的作用。

共识编写人员(排名不分先后):解放军总医院(解立新,徐建桥,闫鹏,胡兴硕,温若讷,肖坤,谷红俊);中日友好医院(詹庆元,夏金根);首都医科大学附属北京朝阳医院(孙兵);北京大学第三医院(周庆涛);海军军医大学附属长海医院(董宇超);上海交通大学附属瑞金医院(刘嘉琳);中南大学湘雅医院(潘频华);中南大学湘雅二院(罗红);陆军军医大学附属新桥医院(李琦);空军军医大学附属西京医院(宋立强);新疆医科大学第一附属医院(徐思成);重庆医科大学第二附属医院(王导新)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

志谢 感谢陈荣昌教授、梁宗安教授和中华医学会呼吸病学分会呼吸危重症医学学组及中国医师协会呼吸医师分会危重症医学工作委员会其他专家对本共识提出的宝贵意见

参 考 文 献

[1] Lee CC, Mankodi D, Shaharyar S, et al. High flow nasal cannula versus conventional oxygen therapy and non-invasive ventilation in adults with acute hypoxemic respiratory failure: A systematic review[J]. Respir Med, 2016, 121: 100-108. DOI: 10.1016/j.rmed.2016.11.004.

- [2] Mandell LA, Wunderink RG, Anzueto A, et al. Infectious Diseases Society of America / American Thoracic Society consensus guidelines on the management of community-acquired pneumonia in adults[J]. *Clin Infect Dis*, 2007, 44 Suppl 2: S27-72. DOI: 10.1086/511159.
- [3] Nishimura M. High-flow nasal cannula oxygen therapy in adults[J]. *J Intensive Care*, 2015, 3(1): 15. DOI: 10.1186/s40560-015-0084-5.
- [4] Waugh JB. Trends in Noninvasive Respiratory Support: Continuum of Care[J]. *Clinical Foundations*, 2006.
- [5] Ward JJ. High-flow oxygen administration by nasal cannula for adult and perinatal patients[J]. *Respir Care*, 2013, 58(1): 98-122. DOI: 10.4187/respcare.01941.
- [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] Groves N, Tobin A. High flow nasal oxygen generates positive airway pressure in adult volunteers[J]. *Aust Crit Care*, 2007, 20(4): 126-131. DOI: 10.1016/j.aucc.2007.08.001.
- [8] Möller W, Celik G, Feng S, et al. Nasal high flow clears anatomical dead space in upper airway models[J]. *J Appl Physiol*, 2015, 118(12): 1525-1532. DOI: 10.1152/jappphysiol.00934.2014.
- [9] Möller W, Feng S, Domanski U, et al. Nasal high flow reduces dead space[J]. *J Appl Physiol*, 2017, 122(1):191-197. DOI: 10.1152/jappphysiol.00584.2016.
- [10] Pillow JJ, Hillman NH, Polglase GR, et al. Oxygen, temperature and humidity of inspired gases and their influences on airway and lung tissue in near-term lambs[J]. *Intensive Care Med*, 2009, 35(12): 2157-2163. DOI: 10.1007/s00134-009-1624-z.
- [11] Cuquemelle E, Pham T, Papon JF, et al. Heated and humidified high-flow oxygen therapy reduces discomfort during hypoxemic respiratory failure[J]. *Respir Care*, 2012, 57(10): 1571-1577. DOI: 10.4187/respcare.01681.
- [12] Shepard JW Jr, Burger CD. Nasal and oral flow-volume loops in normal subjects and patients with obstructive sleep apnea [J]. *Am Rev Respir Dis*, 1990, 142(6 Pt 1): 1288-1293. DOI: 10.1164/ajrccm/142.6_Pt_1.1288.
- [13] Dysart K, Miller TL, Wolfson MR, et al. Research in high flow therapy: mechanisms of action[J]. *Respir Med*, 2009, 103(10): 1400-14405. DOI: 10.1016/j.rmed.2009.04.007.
- [14] Hasani A, Chapman TH, McCool D, et al. Domiciliary humidification improves lung mucociliary clearance in patients with bronchiectasis[J]. *Chron Respir Dis*, 2008, 5(2): 81-86. DOI: 10.1177/1479972307087190.
- [15] Lenglet H, Sztrymf B, Leroy C, et al. Humidified high flow nasal oxygen during respiratory failure in the emergency department: feasibility and efficacy[J]. *Respir Care*, 2012, 57(11): 1873-1878. DOI: 10.4187/respcare.01575.
- [16] Kang BJ, Koh Y, Lim CM, et al. Failure of high-flow nasal cannula therapy may delay intubation and increase mortality [J]. *Intensive Care Med*, 2015, 41(4): 623-632. DOI: 10.1007/s00134-015-3693-5.
- [17] Sztrymf B, Messika J, Mayot T, et al. Impact of high-flow nasal cannula oxygen therapy on intensive care unit patients with acute respiratory failure: a prospective observational study[J]. *J Crit Care*, 2012, 27(3): 324. e9-13. DOI: 10.1016/j.jcrc.2011.07.075.
- [18] Monro-Somerville T, Sim M, Ruddy J, et al. The Effect of High-Flow Nasal Cannula Oxygen Therapy on Mortality and Intubation Rate in Acute Respiratory Failure: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *Crit Care Med*, 2017, 45(4): e449-449e456. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002091.
- [19] Corley A, Rickard CM, Aitken LM, et al. High-flow nasal cannulae for respiratory support in adult intensive care patients[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2017, 5:CD010172. DOI: 10.1002/14651858.CD010172.pub2.
- [20] Nedel WL, Deuschendorf C, Moraes Rodrigues Filho E. High-Flow Nasal Cannula in Critically Ill Subjects With or at Risk for Respiratory Failure: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *Respir Care*, 2017, 62(1): 123-132. DOI: 10.4187/respcare.04831.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Ischaki E, Pantazopoulos I, Zakyntinos S. Nasal high flow therapy: a novel treatment rather than a more expensive oxygen device[J]. *Eur Respir Rev*, 2017, 26(145). DOI: 10.1183/16000617.0028-2017.
- [24] Roca O, Messika J, Caralt B, et al. Predicting success of high-flow nasal cannula in pneumonia patients with hypoxemic respiratory failure: The utility of the ROX index[J]. *J Crit Care*, 2016, 35: 200-205. DOI: 10.1016/j.jcrc.2016.05.022.
- [25] Rello J, Pérez M, Roca O, et al. High-flow nasal therapy in adults with severe acute respiratory infection: a cohort study in patients with 2009 influenza A/H1N1v[J]. *J Crit Care*, 2012, 27(5):434-439. DOI: 10.1016/j.jcrc.2012.04.006.
- [26] Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition[J]. *JAMA*, 2012, 307(23):2526-2533. DOI: 10.1001/jama.2012.5669.
- [27] Messika J, Ben Ahmed K, Gaudry S, et al. Use of High-Flow Nasal Cannula Oxygen Therapy in Subjects With ARDS: A 1-Year Observational Study[J]. *Respir Care*, 2015, 60(2): 162-169. DOI: 10.4187/respcare.03423.
- [28] Frat JP, Brugiere B, Ragot S, et al. Sequential application of oxygen therapy via high-flow nasal cannula and noninvasive ventilation in acute respiratory failure: an observational pilot study[J]. *Respir Care*, 2015, 60(2): 170-178. DOI: 10.4187/respcare.03075.
- [29] Beng LL, Wei MN, Wei FL. High flow nasal cannula oxygen versus noninvasive ventilation in adult acute respiratory failure: a systematic review of randomized-controlled trials[J]. *Eur J Emerg Med*, 2018. DOI: 10.1097 / MEJ.0000000000000557.
- [30] 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.
- [31] Huang HB, Peng JM, Weng L, et al. High-flow oxygen therapy in immunocompromised patients with acute respiratory failure: A review and meta-analysis[J]. *J Crit Care*, 2018, 43: 300-305.

- DOI: 10.1016/j.jcrc.2017.09.176.
- [32] Azoulay E, Lemiale V, Mokart D, et al. Effect of High-Flow Nasal Oxygen vs Standard Oxygen on 28-Day Mortality in Immunocompromised Patients With Acute Respiratory Failure: The HIGH Randomized Clinical Trial[J]. *JAMA*, 2018. DOI: 10.1001/jama.2018.14282.
- [33] Horio Y, Takihara T, Niimi K, et al. High-flow nasal cannula oxygen therapy for acute exacerbation of interstitial pneumonia: A case series[J]. *Respir Investig*, 2016, 54(2): 125-129. DOI: 10.1016/j.resinv.2015.09.005.
- [34] Boyer A, Vargas F, Delacore M, et al. Prognostic impact of high-flow nasal cannula oxygen supply in an ICU patient with pulmonary fibrosis complicated by acute respiratory failure[J]. *Intensive Care Med*, 2011, 37(3): 558-559. DOI: 10.1007/s00134-010-2036-9.
- [35] Shoji T, Umegaki T, Nishimoto K, et al. Use of High-Flow Nasal Cannula Oxygen Therapy in a Pregnant Woman with Dermatomyositis-Related Interstitial Pneumonia[J]. *Case Rep Crit Care*, 2017, 2017: 4527597. DOI: 10.1155/2017/4527597.
- [36] Dhillon NK, EJT S, Ko A, et al. Extubation to high-flow nasal cannula in critically ill surgical patients[J]. *J Surg Res*, 2017, 217:258-264. DOI: 10.1016/j.jss.2017.06.026.
- [37] Yoo JW, Synn A, Huh JW, et al. Clinical efficacy of high-flow nasal cannula compared to noninvasive ventilation in patients with post-extubation respiratory failure[J]. *Korean J Intern Med*, 2016, 31(1): 82-88. DOI: 10.3904/kjim.2016.31.1.82.
- [38] 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.
- [39] Ni YN, Luo J, Yu H, et al. Can High-flow Nasal Cannula Reduce the Rate of Endotracheal Intubation in Adult Patients With Acute Respiratory Failure Compared With Conventional Oxygen Therapy and Noninvasive Positive Pressure Ventilation?: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. *Chest*, 2017, 151(4): 764-775. DOI: 10.1016/j.chest.2017.01.004.
- [40] Fernandez R, Subira C, Frutos-Vivar F, et al. High-flow nasal cannula to prevent postextubation respiratory failure in high-risk non-hypercapnic patients: a randomized multicenter trial[J]. *Ann Intensive Care*, 2017, 7(1): 47. DOI: 10.1186/s13613-017-0270-9.
- [41] 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.
- [42] Song HZ, Gu JX, Xiu HQ, et al. The value of high-flow nasal cannula oxygen therapy after extubation in patients with acute respiratory failure[J]. *Clinics (Sao Paulo)*, 2017, 72(9): 562-567. DOI: 10.6061/clinics/2017(09)07.
- [43] Tiruvoipati R, Lewis D, Haji K, et al. High-flow nasal oxygen vs high-flow face mask: a randomized crossover trial in extubated patients[J]. *J Crit Care*, 2010, 25(3): 463-468. DOI: 10.1016/j.jcrc.2009.06.050.
- [44] 朱正方, 刘煜昊, 王启星, 等. 经鼻高流量氧疗用于机械通气脱机拔管后序贯治疗的初步评价[J]. *中华危重病急救医学*, 2017, 29(9):778-782. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.09.003.
- [45] Futier E, Paugam-Burtz C, Godet T, et al. 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)[J]. *Intensive Care Med*, 2016, 42(12): 1888-1898. DOI: 10.1007/s00134-016-4594-y.
- [46] Zhu Y, Yin H, Zhang R, et al. High-flow nasal cannula oxygen therapy vs conventional oxygen therapy in cardiac surgical patients: A meta-analysis[J]. *J Crit Care*, 2017, 38: 123-128. DOI: 10.1016/j.jcrc.2016.10.027.
- [47] Ansari BM, Hogan MP, Collier TJ, et al. A Randomized Controlled Trial of High-Flow Nasal Oxygen (Optiflow) as Part of an Enhanced Recovery Program After Lung Resection Surgery[J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 101(2): 459-464. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2015.07.025.
- [48] Bräunlich J, Mauersberger F, Wirtz H. Effectiveness of nasal highflow in hypercapnic COPD patients is flow and leakage dependent[J]. *BMC Pulm Med*, 2018, 18(1):14. DOI: 10.1186/s12890-018-0576-x.
- [49] Doshi P, Whittle JS, Bublewicz M, et al. High-Velocity Nasal Insufflation in the Treatment of Respiratory Failure: A Randomized Clinical Trial[J]. *Ann Emerg Med*, 2018, 72(1): 73-83. e5. DOI: 10.1016/j.annemergmed.2017.12.006.
- [50] Bräunlich J, Seyfarth HJ, Wirtz H. Nasal High-flow versus non-invasive ventilation in stable hypercapnic COPD: a preliminary report[J]. *Multidiscip Respir Med*, 2015, 10(1):27. DOI: 10.1186/s40248-015-0019-y.
- [51] Austin MA, Wills KE, Blizzard L, et al. Effect of high flow oxygen on mortality in chronic obstructive pulmonary disease patients in prehospital setting: randomised controlled trial[J]. *BMJ*, 2010, 341: c5462. DOI: 10.1136/bmj.c5462.
- [52] Rea H, McAuley S, Jayaram L, et al. The clinical utility of long-term humidification therapy in chronic airway disease[J]. *Respir Med*, 2010, 104(4): 525-533. DOI: 10.1016/j.rmed.2009.12.016.
- [53] Nagata K, Kikuchi T, Horie T, et al. Domiciliary High-Flow Nasal Cannula Oxygen Therapy for Patients with Stable Hypercapnic Chronic Obstructive Pulmonary Disease. A Multicenter Randomized Crossover Trial[J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2018, 15(4): 432-439. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201706-4250OC.
- [54] Storgaard LH, Hockey HU, Laursen BS, et al. Long-term effects of oxygen-enriched high-flow nasal cannula treatment in COPD patients with chronic hypoxemic respiratory failure [J]. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2018, 13:1195-1205. DOI: 10.2147/COPD.S159666.
- [55] 魏文举, 张强, 那海顺. 经鼻高流量氧疗在成人患者中的应用进展[J]. *中华护理杂志*, 2016, 51(7): 853-857. DOI: 10.3761/j.issn.0254-1769.2016.07.018.
- [56] 刘嘉琳. 经鼻高流量氧疗的临床应用[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2016, 39(9): 660-662. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2016.09.002.

(收稿日期:2018-11-09)

(本文编辑:吕小东)