

高风险脱机患者高流量氧疗与低频持续气道正压通气效果比较

张明明^{1,2}, 徐娟³, 钱晓璐², 毛燕君⁴

摘要:目的 探讨高风险脱机患者使用高流量氧疗(HFNC)和低频持续气道正压通气(CPAP)临床效果的优劣性,避免或缩短无效氧疗支持时间。**方法** 将符合常规脱机程序但至少具有一种高风险脱机因素的患者随机分为 CPAP 组(69 例)和 HFNC 组(71 例),CPAP 组行 CPAP 治疗,HFNC 组行 HFNC 治疗,在相同医疗和护理条件下观察 48 h。**结果** HFNC 组患者呼吸频率,24 h、48 h 时患者疼痛得分低于 CPAP 组(均 $P < 0.05$)。**结论** 在高风险脱机患者中采用 HFNC 更能改善患者的呼吸、降低其疼痛感。

关键词:ICU; 气管插管; 高风险脱机; 高流量氧疗; 持续气道正压通气; 呼吸; 疼痛

中图分类号:R472.2 **DOI:**10.3870/j.issn.1001-4152.2023.10.057

Comparison of the clinical effects of high-flow oxygen therapy and low-frequency continuous positive airway pressure ventilation in patients with high risk of weaning Zhang Mingming, Xu Juan, Qian Xiaolu, Mao Yanjun. School of Nursing, Tongji University School of Medicine, Shanghai 200092, China

Abstract: **Objective** To compare the clinical effects of high-flow Nasal Cannula oxygen therapy and low-frequency continuous positive airway pressure ventilation in patients at high risk of weaning and to avoid or shorten the supporting time of in effective oxygen therapy. **Methods** Patients who met routine weaning procedures and had at least one high risk factor for weaning were randomly assigned to CPAP group ($n=69$) or HFNC group ($n=71$), CPAP group received CPAP therapy, HFNC group received HFNC therapy, observed for 48 h under the same medical and nursing conditions. **Results** The respiratory frequency and pain scores of patients in HFNC group were lower than those in CPAP group at 24 h and 48 h ($P < 0.05$). **Conclusion** HFNC can improve breathing and reduce pain in patients at high risk of weaning.

Key words: ICU; tracheal intubation; high risk of weaning; high flow oxygen therapy; CPAP; breathe; pain

机械通气是 ICU 治疗呼吸衰竭疾病的常用支持措施。研究显示,20%~25%机械通气患者存在脱机困难^[1-2];与成功脱机患者相比,二次插管患者死亡率更高^[3]。脱机失败后二次插管与疾病相关并发症发生率、膈肌功能障碍、黏膜出血感染、呼吸机相关性肺炎增加有关,会导致住院时间延长和患者死亡率增加^[4]。经鼻高流量湿化氧疗(High-flow Nasal Cannula Oxygen Therapy, HFNC)通气是对传统吸氧装置的革新,它可以在恒定的吸入氧浓度(FiO_2)下提供高达 60 L/min 的流量。HFNC 产生的湿润气体能改善支气管黏液纤毛功能,促进患者痰液排出^[5]。低频持续气道正压通气(Continuous Positive Airway Pressure, CPAP)是使用佩戴口鼻面罩输送设定压力下的气体,以改善患者呼吸和气体交换的持续正压装置,其机制是减少呼吸做功、改善

氧合、降低心脏前后负荷,优点是操作简单、价格便宜^[6]。研究证明,脱机后立即行 CPAP 可以降低呼吸衰竭发生率^[7]。使用 HFNC 在减少呼吸衰竭的发生和降低二次插管率的临床效果不亚于 CPAP^[8-9]。以往研究多聚焦于高流量氧疗与/或低频持续气道正压通气对呼吸衰竭患者结局的影响,尚未证明何时何种情况下选择何种设备更有利于脱机高风险患者的转归。鉴此,本研究对比 HFNC 与 CPAP 在脱机高风险患者中的效果,旨在探讨避免或缩短无效氧疗支持时间的方法。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究经上海市第一人民医院伦理委员会审核批准(批号:2019YK1096)。选取 2019 年 10 月至 2021 年 10 月上海市第一人民医院北部院区、同济大学附属东方医院、上海市第一人民医院江桥院区 3 所医院综合 ICU 收治的患者作为研究对象。所有患者或其近亲(配偶或子女)均已签署书面知情同意书。纳入标准:①年龄 > 18 岁;②机械通气(经口插管或鼻插管)持续通气时间 ≥ 48 h;③成功通过自主呼吸试验;④患者具备至少一个高风险脱机因素(脱机前接受大于 2 次自主呼吸试验^[6];无效咳嗽和大量气管分泌物痰液呈三级^[10];慢性心力衰竭^[2];脱

作者单位:1. 同济大学医学院护理学院(上海,200092);2. 上海市第一人民医院 ICU;3. 苏州市第五人民医院;4. 上海市同济大学附属肺科医院

张明明:男,硕士在读,护师,护士长

通信作者:毛燕君,maoyanjunk@163.com

科研项目:上海交通大学医学院护理学院课题(jyhz2010)

收稿:2022-09-17;修回:2023-01-28

机当天 APACHE II 评分 >12 分^[4];具有上呼吸道阻塞指征但无需继续行机械通气^[11]。排除标准:①昏迷;②无法实施保护的气道(气道护理评分 ≥ 12 ^[10]或有记录的吞咽功能障碍问题);③颈椎损伤、神经肌肉疾病;④不可逆的干扰面罩佩戴的生理结构解剖异常;⑤不受控制的心脏缺血或心律失常;⑥高碳酸血症和/或换气不足;⑦脱机后计划使用无创支持辅助通气。本研究样本估计基于 I 类误差,根据已有研究发现脱机失败率 HFNC 较 CPAP 组低 14.7%^[8],双侧 0.05,功效 80%。估算样本 128 例,考虑样本流失率,共纳入样本 140 例。根据患者入院就诊时间先后顺序编号,偶数分配至 CPAP 组(69 例),奇数分配至 HFNC 组(71 例),两组基线资料比较见表 1。

表 1 两组基线资料比较

项 目	HFNC 组 (<i>n</i> = 71)	CPAP 组 (<i>n</i> = 69)	<i>t</i> / χ^2	<i>P</i>
性别[例(%)]			1.074	0.300
男	36(50.7)	41(59.4)		
女	35(49.3)	28(40.6)		
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	68.2 $\pm$ 18.7	71.2 $\pm$ 16.0	0.106	0.874
BMI(kg/m ²)				
男	24.7 $\pm$ 4.1	25.1 $\pm$ 4.3	0.416	0.678
女	19.6 $\pm$ 3.6	19.4 $\pm$ 3.8	0.214	0.831
拔管时 APACHE II 评分($\bar{x} \pm s$)	13.0 $\pm$ 3.5	13.6 $\pm$ 3.3	1.043	0.299
呼吸衰竭原因[例(%)]				
肺炎	42(59.2)	41(59.4)	2.216	0.137
感染性休克	8(11.3)	6(8.7)	0.041	0.840
充血性心力衰竭	13(18.0)	7(10.1)	0.021	0.885
心脏停搏	0(0)	1(1.4)	3.575	0.063
ARDS	1(1.4)	5(7.2)	1.405	0.163
其他	7(9.9)	9(13.0)	0.009	0.926
机械通气时长(d, $\bar{x} \pm s$)	6.9 $\pm$ 4.9	6.2 $\pm$ 4.0	0.590	0.556
PaO ₂ (mmHg, $\bar{x} \pm s$)	106.1 $\pm$ 32.4	105.9 $\pm$ 41.4	1.779	0.075
PaCO ₂ (mmHg, $\bar{x} \pm s$)	35.1 $\pm$ 7.1	35.8 $\pm$ 6.9	1.783	0.078
SpO ₂ ($\bar{x} \pm s$)	0.97 $\pm$ 0.03	0.97 $\pm$ 0.02	0.620	0.538
FiO ₂ ($\bar{x} \pm s$)	0.4 $\pm$ 0.1	0.4 $\pm$ 0.1	0.430	0.666
PaO ₂ /FiO ₂ ($\bar{x} \pm s$)	298.0 $\pm$ 96.3	289.2 $\pm$ 113.9	0.720	0.404
pH($\bar{x} \pm s$)	7.4 $\pm$ 0.1	7.4 $\pm$ 0.1	0.590	0.559
呼吸(次/min, $\bar{x} \pm s$)	24.0 $\pm$ 4.4	25.3 $\pm$ 3.7	0.410	0.680
心率(次/min, $\bar{x} \pm s$)	91.7 $\pm$ 15.7	94.7 $\pm$ 14.5	0.320	0.750
平均动脉压(mmHg, $\bar{x} \pm s$)	94.5 $\pm$ 12.8	98.2 $\pm$ 13.8	0.570	0.573
并存疾病[例(%)]				
糖尿病	16(43.2)	21(56.8)	1.123	0.289
高血压	26(50.0)	26(50.0)	0.000	1.000
心脏病	21(29.6)	26(37.7)	0.104	0.747
慢性肾病	17(23.9)	18(26.1)	0.002	0.962
慢性肺部疾病	10(14.1)	8(11.6)	0.253	0.615
免疫功能低下	22(31.1)	11(15.9)	1.577	0.209
肝硬化	4(5.6)	1(1.4)	0.862	0.353
神经系统疾病	16(50.0)	16(50.0)	0.000	1.000

1.2 方法

1.2.1 实施方法

1.2.1.1 数据采集培训 患者均给予 ICU 内最佳医疗及护理措施。由责任医生和责任护士负责患者的治疗护理。研究开始前,由呼吸治疗师对所有组员进行呼吸机护理管理及呼吸治疗相关培训;由统计学专家对组员实施数据采集方法培训,不属于研

究组的住院医师和辅助护士共同从电子病历系统中收集患者信息资料,提取数据经 2 人核对后输入在线数据采集系统。责任护士每班至少 1 次检查或重新佩戴面罩,根据需要为患者更换面罩或保持气密性等。患者在治疗观察期间除经口进食和饮水以及口腔护理等操作外,其余时间均使用通气设备辅助通气。

1.2.1.2 HFNC 与 CPAP 方法:①HFNC 组:气管插管拔除后给予 HFNC(新西兰费雪派克 Ainro III 呼吸湿化治疗仪),初始参数设置为流速 50 L/min,初始 FiO₂ 为 40%,不断调整滴定 FiO₂ 将患者指端 SpO₂ 维持在 >0.92 状态^[12-13]。②CPAP 组:患者脱机后给予 CPAP(瑞思迈 S9VPAPUTO 呼吸机),采用 S/T 模式,参数设置为 PEEP >5 cmH₂O,FiO₂ 为 40%,不断调整滴定 FiO₂ 以将其指端 SpO₂ 保持在 >0.92 ^[13]。2 种设备气流传入肢长 160 cm,呼气传出肢长 40 cm。

1.2.1.3 脱机试验 当患者未使用血管加压药品血流动力学保持稳定(平均动脉压 >65 mmHg)时,开始脱机过程。当患者 PaO₂/FiO₂ >150 mmHg 时调整呼吸机模式为压力性支持通气,逐渐降低压力支持水平,直至 5 cmH₂O 或 6 cmH₂O 的呼气末正压(Positive End Expiratory Pressure, PEEP)时,开始自主呼吸试验,试验持续时间 ≥ 2 h 且主要指标良好,表示脱机试验完成。

1.2.1.4 二次插管指征确定 经积极治疗后病情出现恶化,责任医生判断病情需要再次进行有创机械通气,具体包括下列情况之一:①低氧血症,氧合指数 ≤ 100 mmHg 或严重呼吸困难;② pH 值 ≤ 7.20 且动脉血二氧化碳分压(PaCO₂)进行性升高;③呼吸心脏骤停或血流动力学不稳定;④嗜睡、昏迷或意识丧失。

1.2.2 评价方法 采集两组患者脱机拔管后不同时间点(30 min、2 h、6 h、12 h、24 h、48 h)的主要生理指标(呼吸频率、平均动脉压、心率、指端氧饱和度)及主要检验指标。评估两组患者脱机后 24 h、48 h 疼痛评分:通过数字化模拟标尺来评估,从 0(无痛苦)到 10(最大痛苦)表示不同的疼痛程度^[14]。比较两组患者脱机后二次插管率^[1,13] 及插管原因。次要结局指标:脱机后发生呼吸衰竭、医院内死亡率。

1.2.3 统计学方法 采用 SPSS20.0 软件进行统计分析。计数资料以例(%)表示,两组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。计量资料服从正态分布采用 *t* 检验,不服从正态分布采用秩和检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 两组患者结局指标比较 见表 2。

2.2 两组患者主要生理指标比较 见表 3。

表 2 两组患者结局指标比较

组别	例数	疼痛评分[分, $M(P_{25},P_{75})$]		二次插管 [例(%)]	二次插管原因[例(%)]				二次插管时间 [h, $M(P_{25},P_{75})$]	脱机后呼吸 衰竭[例(%)]	住院死亡 [例(%)]
		24 h	48 h		分泌物阻塞	容量负荷过重	呼吸肌无力	其他			
HFNC 组	71	4(2,8)	2(1,6)	5(7.0)	4(57.1)	1(14.3)	1(14.3)	1(14.3)	16(8,21)	10(14.1)	7(9.9)
CPAP 组	69	5(3,8)	3(2,8)	6(8.7)	4(40.0)	2(20.0)	2(20.0)	2(20.0)	16(7,19)	7(10.1)	7(10.1)
Z/χ^2		3.872	7.420	0.132		—			1.304	0.509	0.003
P		0.031	0.002	0.716		—			1.672	0.476	0.955

表 3 两组患者主要生理指标比较

组别	例数	指端氧饱和度(%, $\bar{x}\pm s$)				心率(次/min, $\bar{x}\pm s$)			
		2h	12h	24h	48h	2h	12h	24h	48h
HFNC 组	71	94.1±2.5	97.5±2.2	98.1±1.9	98.6±1.3	93.2±13.3	88.3±11.1	84.1±10.3	83.2±9.2
CPAP 组	69	94.9±2.5	97.7±2.1	98.3±1.7	98.3±1.5	93.1±12.9	87.1±11.8	83.9±10.5	82.6±9.7
Z/χ^2		0.620	0.987	0.089	0.038	1.020	0.884	0.580	1.374
P		0.538	0.251	0.901	0.972	0.224	0.313	0.571	0.193

组别	例数	呼吸频率(次/min, $\bar{x}\pm s$)				平均动脉压(mmHg, $\bar{x}\pm s$)			
		2h	12h	24h	48h	2h	12h	24h	48h
HFNC 组	71	27.0±4.4	23.3±4.0	18.3±3.0	18.1±2.4	97.3±10.9	92.9±10.1	90.1±9.70	89.3±9.2
CPAP 组	69	28.3±3.7	24.7±3.4	20.1±2.9	19.2±2.6	96.7±11.2	93.2±10.8	91.8±10.0	89.9±9.7
Z/χ^2		1.922	2.371	2.478	1.875	1.579	1.718	1.136	0.573
P		0.045	0.039	0.030	0.040	0.080	0.073	0.172	0.568

3 讨论

3.1 HFNC 可改善脱机患者的呼吸水平 Parke 等^[15] 研究显示,高风险脱机患者选择适宜的氧疗设备更有利于患者的转归。本研究结果显示,HFNC 效果与 CPAP 相似,HFNC 可以短时间内改善患者呼吸频率($P<0.05$),但在其他生理指标如指端氧饱和度、心率、平均动脉压上无明显差异(均 $P>0.05$)。研究表明,HFNC 和 CPAP 在患有肺部肿瘤、特发性肺纤维化、肺炎或 COPD 患者中改善氧合和呼吸力学的效果较为明显^[16]。HFNC 可产生的呼吸末正压为 0.5~3.0 cmH₂O,CPAP 系统为至少 5.0 cmH₂O^[8,17]。呼吸末正压的产生可以减少呼吸做功,减少肺不张发生的可能并改善气体交换^[3,15],特别是两种系统均提供可灵活调节的 FiO₂ 以保证患者指端氧饱和度保持在最佳水平。不同的是,HFNC 以鼻导管的开放性输入方式替代 CPAP 鼻塞及面罩封闭口腔的密闭式输入方式,HFNC 保证呼吸末正压的同时兼顾了舒适度,减轻患者头面部的压力,减少鼻部损伤和头部变形的发生。其次,HFNC 对混合气体具有较高的加湿效率,在一定程度上提高了氧气利用率,减少了并发症的发生。

3.2 HFNC 与 CPAP 的安全性相似 研究表明,APACHEⅡ评分系统对呼吸衰竭患者的转归及治疗效果都有着预见作用,患者入组时的基线急性生理学和慢性健康评估(Acute physiology and chronic health evaluation scoring systemⅡ,APACHEⅡ)评分条件越好,患者转归条件就越好;当其 APACHEⅡ评分>20.5 分时,患者表现出预后差,对患者转归风险有着较强的提示意义^[18]。本研究中,患者在入组时已经确定存在至少一种潜在的脱机失败的高

风险因素,脱机当天 APACHEⅡ评分均>12 分,两组比较无差异。本研究中两组的二次插管率和呼吸衰竭发生率相似($P>0.05$),但不可否认的是,两组患者累计二次插管率与其他研究相比依然较低^[15]。Dysart 等^[19] 在一项纳入 604 例患者的随机对照试验中发现,CPAP 组(19%)和 HFNC 组(23%)的二次插管率无差异。值得注意的是,该研究二次插管率总体高于本研究,其原因可能是本研究排除了部分病情较重或特定疾病的患者(如患有神经肌肉疾病、高碳酸血症和/或通气不足的患者);其次长达 48 h 的观察时间可能影响有关设备峰值效应的结果。Hernández 等^[16] 研究采用 CPAP 或 HFNC 的持续时间为 24 h,明显短于本研究结果。CPAP 和 HFNC 均可快速建立上呼吸道与肺泡间、肺泡与毛细血管间氧气压差梯度,使氧气向毛细血管弥散,在没有任何呼吸运动的情况下也能使窒息时间延长,此效应即为窒息氧合。有研究显示,窒息氧合的改善可以明显降低患者的有创通气概率^[20]。本研究中二次插管最常见的原因是分泌物阻塞,临床实践指南中推荐以起始流速>4 L/min 的吸入气体进行加湿加温,HFNC 和 CPAP 在提高患者清除分泌物的能力方面是有利的,两种设备都采用湿润的气体,减轻呼吸道干燥状态,降低痰液黏稠度,增加分泌物排出,进一步改善患者氧合,保证患者的安全性。

3.3 HFNC 可降低脱机患者的疼痛程度 本研究在 24 h 和 48 h 时 HFNC 组患者的疼痛评分量表得分更优,舒适度更高,耐受性更好($P<0.05$)。这可能与患者使用呼吸辅助设备呼吸费力和舒适度降低有关。HFNC 本质仍然是生理的负压模式,提供并保证高通气量,通气不足所致的呼吸窘迫得到缓解,呼吸频率

下降,患者主观体验改善^[10]。本研究显示,HFNC组24 h和48 h时疼痛评分更低,舒适度更高,耐受性更好($P<0.05$)。临床上直接使用面罩式通气固定于患者的鼻部,会对患者心理带来一系列压力,出现焦虑、紧张等情绪,同时也会对患者的进食造成影响,其适用范围仅限于能自主呼吸和排痰、精神状态良好,且对连接面罩具有较高耐受性的患者。CPAP保持气道内的正压及相对稳定的PEEP避免气道萎陷,呼吸面罩常引起鼻面部压伤、胃肠胀气、误吸、口干等并发症,患者依从性低、舒适度降低^[21]。同时佩戴面罩无法进食和交流患者易产生焦虑、恐惧心理。HFNC良好的加温加湿效果较面罩给氧更有利于患者的自主排痰,同时高流量氧疗可有效预防对呼吸道和鼻腔产生不良刺激,在避免鼻压伤、腹胀及返流误吸上体现出其明显优势,患者舒适度更高。

4 小结

本研究结果表明,在脱机高风险患者中应用HFNC和CPAP均能降低二次插管率和呼吸衰竭发生率,但在改善患者的呼吸状况和降低患者疼痛感觉方面HFNC表现更优。本研究的不足是未纳入接受常规鼻导管氧疗或不使用氧气疗法的患者作为研究对象,无法确切证明研究中患者的低再插管率是否受到两种氧疗装置特性的影响,尚需大样本的临床多中心对照研究进一步验证,并建立相应的脱机后患者氧疗管理流程和指南。

参考文献:

- [1] Jaber S, Quintard H, Cinotti R, et al. Risk factors and outcomes for airway failure versus non-airway failure in the intensive care unit: a multicenter observational study of 1514 extubation procedures[J]. *Crit Care*, 2018, 22(1):236-237.
- [2] Thille AW, Harrois A, Schortgen F, et al. Outcomes of extubation failure in medical intensive care unit patients[J]. *Crit Care Med*, 2011, 39(12):2612-2618.
- [3] Thille A W, Richard J C, Brochard L. The decision to extubate in the intensive care unit[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 187(12):1294-1302.
- [4] Hernandez G, Vaquero C, Gonzalez 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.
- [5] Nava S, Gregoretti C, Fanfulla F, et al. Noninvasive ventilation to prevent respiratory failure after extubation in high-risk patients[J]. *Crit Care Med*, 2015, 33(11):2465-2470.
- [6] Xu Z, Li Y, Zhou J, et al. High-flow nasal cannula in adults with acute respiratory failure and after extubation: a systematic review and metaanalysis[J]. *Respir Res*, 2018, 19(1):202-217.
- [7] Parke R L, Bloch A, McGuinness S P. Effect of very-high-flow nasal therapy on airway pressure and end-expiratory lung impedance in healthy volunteers[J]. *Respir Care*, 2015, 60(10):1397-1403.
- [8] Maggiore S M, Idone F A, 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.
- [9] Huang H W, Sun X M, Shi Z H, et al. Effect of high-flow nasal cannula oxygen therapy versus conventional oxygen therapy and noninvasive ventilation on reintubation rate in adult patients after extubation: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *J Intensive Care Med*, 2018, 33(11):609-623.
- [10] 全瀚文,王芳,刘芸,等.经鼻高流量氧疗和无创机械通气对急性脑创伤术后患者成功拔管后并发低氧血症的疗效评价[J]. *中国急救医学*, 2021, 41(1):32-36.
- [11] Coplin W M, Pierson D J, Cooley K D, et al. Implications of extubation delay in brain-injured patients meeting standard weaning criteria[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2000, 161(5):1530-1536.
- [12] 熊国锋,曾一民,李光俊,等.解剖相关指标评估重度阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征患者困难气道的价值[J]. *浙江医学*, 2020, 42(7):732-734.
- [13] Betters K A, Gillespie S E, Miller J, et al. High flow nasal cannula use outside of the ICU: factors associated with failure[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2017, 52(6):806-812.
- [14] 段春雪,余滨兵.用线性视觉模拟标尺评分法对混合术后疼痛的评估及护理[J]. *医学食疗与健康*, 2021, 19(12):123-124.
- [15] Parke R, McGuinness S, Dixon R, et al. Open-label, phase II study of routine high-flow nasal oxygen therapy in cardiac surgical patients[J]. *Br J Anaesth*, 2013, 111(6):925-931.
- [16] 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.
- [17] 邹宏鹏,徐建军,毛宇昂,等.经鼻高流量氧疗与持续正压通气治疗小儿肺炎疗效的 Meta 分析[J]. *重庆医学*, 2020, 49(8):1345-1349.
- [18] 于斐,冯波,姚媛媛.急性低氧性I型呼吸衰竭患者经鼻高流量氧疗的气道管理[J]. *护理学杂志*, 2018, 33(8):11-13.
- [19] Dysart K, Miller T L, Wolfson M R, et al. Research in high flow therapy: mechanisms of action[J]. *Respir Med*, 2009, 103(10):1400-1405.
- [20] Hill N S, Spoletini G, Schumaker G, et al. Noninvasive ventilatory support for acute hypercapnic respiratory failure[J]. *Respir Care*, 2019, 64(6):647-657.
- [21] Kallstrom T J. AARC clinical practice guideline: oxygen therapy for adults in the acute care facility—2002 revision & update[J]. *Respir Care*, 2002, 47(6):717-720.