

# 无创正压通气应用中呼气阀安装位置及类型对 CO<sub>2</sub> 重复呼吸影响的实验研究

黄桃 王华 谭继翔

**【摘要】** 目的 研究无创正压通气 (NPPV) 应用中呼气阀安装位置及类型对 CO<sub>2</sub> 重复呼吸的影响。方法 通过建立 NPPV 模型系统,将呼气阀分别安装于呼吸机管道和面罩之间 (位置 I) 以及面罩上 (位置 II)。根据呼气阀安装位置及类型分为 4 组: A 组为单孔型呼气阀安装于位置 I; B 组为平台型呼气阀安装于位置 I; C 组为单孔型呼气阀安装于位置 II,单孔型呼气阀远端封闭; D 组为平台型呼气阀安装于位置 II,平台型呼气阀远端封闭。在标准化实验条件下,通过调节呼气气道正压 (EPAP, 分别设定为 5 cmH<sub>2</sub>O 和 10 cmH<sub>2</sub>O, 1 cmH<sub>2</sub>O=0.098 kPa)、测试肺潮气量 (V<sub>T</sub>, 分别设定为 300、400 和 500 mL),监测各组气管内或面罩内的呼气末二氧化碳分压 (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>);单孔型呼气阀和平台型呼气阀分别安装于位置 I 时,通过调节吸气气道正压 (IPAP, 分别设定为 5、10、15、20 cmH<sub>2</sub>O),监测呼气阀的漏气量。结果 ① 在标准化实验条件下, EPAP 为 5 cmH<sub>2</sub>O 时, A、B、C、D 组气管内 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> (mmHg, 1 mmHg=0.133 kPa) 分别为 69.6±3.4、61.4±2.7、54.8±1.5、49.8±1.3, 面罩内 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 分别为 24.8±1.9、21.8±1.6、2.8±0.8、1.8±0.8; EPAP 为 10 cmH<sub>2</sub>O 时, A、B、C、D 组气管内 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 分别为 64.2±3.6、57.2±3.7、48.8±2.6、41.8±2.6, 面罩内 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 分别为 23.0±1.6、20.2±1.6、2.2±0.8、1.2±0.8。说明同种呼气阀安装在位置 II 时气管内、面罩内的 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 明显低于安装在位置 I 时 (均 P<0.05); 而呼气阀安装在同一位置时,平台型呼气阀的 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 显著低于单孔型呼气阀 (均 P<0.05)。② 随着测试肺的 V<sub>T</sub> 升高,各组气管内 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 逐渐降低, V<sub>T</sub> 500 mL 时的 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> (mmHg) 显著低于 V<sub>T</sub> 300 mL 和 400 mL 时 (A 组: 51.4±2.7 比 72.8±2.9、69.6±3.4, B 组: 44.8±2.4 比 65.4±2.1、61.4±2.7, C 组: 36.8±1.9 比 59.0±1.6、54.8±1.5, D 组: 28.8±1.9 比 52.6±2.0、49.8±1.3, 均 P<0.05)。③ 呼气阀安装在位置 I 时,单孔型呼气阀的漏气量随测试呼吸机 IPAP 水平升高而增加, IPAP 在 5、10、15、20 cmH<sub>2</sub>O 时,漏气量分别为 (15.8±1.9)、(20.2±1.9)、(23.8±2.8)、(28.0±1.6) L/min; 平台型呼气阀的漏气量则基本维持不变,分别为 (24.2±1.6)、(23.8±1.6)、(25.2±1.6)、(25.2±1.6) L/min。结论 呼气阀安装在面罩上比安装在呼吸机管道与面罩之间更有利于 CO<sub>2</sub> 的排出;同时,采用平台型呼气阀及适当增大肺 V<sub>T</sub> 也有利于排出 CO<sub>2</sub>,从而减少 CO<sub>2</sub> 重复呼吸。

**【关键词】** 无创正压通气; 呼气阀; 单孔型呼气阀; 平台型呼气阀; CO<sub>2</sub> 重复呼吸

**Effect of location and type of exhalation valve on carbon dioxide rebreathing during noninvasive positive pressure ventilation: a experimental study** Huang Tao\*, Wang Hua, Tan Jixiang. \*Department of Critical Care Medicine, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China  
Corresponding author: Wang Hua, Biomedical Engineering College, Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China, Email: wangh@cqmu.edu.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the influence of exhalation valve location as well as its type on carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) rebreathing during noninvasive positive pressure ventilation (NPPV). **Methods** With a standardized NPPV experimental model system, the exhalation valve was respectively installed between the ventilator tube and mask (position I), or on the mask (position II). This study included four groups according to the position and type of exhalation valve, namely: single-arch exhalation valve was installed on the position I (A group), and position II (C group, the distal end of single-arch exhalation valve was blocked); plateau exhalation valve was installed on the position I (B group) and position II (D group, the distal end of plateau exhalation valve was blocked). Under standard experimental condition, the pressure of end-tidal carbon dioxide (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>) was monitored in the trachea or the mask through adjusting the expiratory positive airway pressure (EPAP, EPAP was set at 5 cmH<sub>2</sub>O and 10 cmH<sub>2</sub>O, 1 cmH<sub>2</sub>O = 0.098 kPa) and tidal volume (V<sub>T</sub>, V<sub>T</sub> was set at 300, 400, 500 mL). Leakage of exhalation

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.10.002

基金项目:国家自然科学基金 (81372102)

作者单位: 400016 重庆医科大学附属第一医院重症医学科 (黄桃、谭继翔); 400016 重庆医科大学生物医学工程学院 (王华)

通讯作者: 王华, Email: wangh@cqmu.edu.cn

valve was monitored when single-arch exhalation and plateau exhalation valves were respectively placed in the position I through adjusting the inspiratory positive airway pressure (IPAP at 5, 10, 15, 20 cmH<sub>2</sub>O respectively).

**Results** ① Under standard experimental condition, when EPAP was 5 cmH<sub>2</sub>O, P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> (mmHg, 1 mmHg = 0.133 kPa) in the trachea was 69.6±3.4, 61.4±2.7, 54.8±1.5, 49.8±1.3 in A, B, C, D groups respectively; and it was 24.8±1.9, 21.8±1.6, 2.8±0.8, 1.8±0.8 in the mask, respectively. When EPAP was 10 cmH<sub>2</sub>O, the P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> in the trachea was 64.2±3.6, 57.2±3.7, 48.8±2.6, 41.8±2.6 in A, B, C, and D groups respectively; and it was 23.0±1.6, 20.2±1.6, 2.2±0.8, 1.2±0.8 in the mask, respectively. For the same exhalation valve type, exhalation valve being installed on position II could induce significantly lower P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> in the trachea and mask than that being installed on position I (all *P* < 0.05). For the same expiratory valve position, plateau exhalation valve produced significantly lower P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> than single-arch valve (all *P* < 0.05). ② As the V<sub>T</sub> increased, the P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> in the trachea of each group was reduced obviously. When V<sub>T</sub> was 500 mL, P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> (mmHg) was significantly lower than V<sub>T</sub>, which were 300 mL and 400 mL (A group: 51.4±2.7 vs. 72.8±2.9, 69.6±3.4; B group: 44.8±2.4 vs. 65.4±2.1, 61.4±2.7; C group: 36.8±1.9 vs. 59.0±1.6, 54.8±1.5; D group: 28.8±1.9 vs. 52.6±2.0, 49.8±1.3; all *P* < 0.05). ③ When exhalation valve type was placed in position I, the air leakage of single-arch exhalation valve was increased to (15.8±1.9), (20.2±1.9), (23.8±2.8), (28.0±1.6) L/min, and the plateau exhalation valve was essentially unchanged to (24.2±1.6), (23.8±1.6), (25.2±1.6), (25.2±1.6) L/min as the IPAP was increased from 5, 10, 15, to 20 cmH<sub>2</sub>O.

**Conclusions** Exhalation valve fixing on mask is more appropriate for CO<sub>2</sub> discharge than that fixed on tube-mask valve. Plateau exhalation valve as well as moderately increasing V<sub>T</sub> is beneficial for CO<sub>2</sub> discharge and CO<sub>2</sub> rebreathing prevention.

**【Key words】** Noninvasive positive pressure ventilation; Exhalation valve; Single-arch exhalation valve; Plateau exhalation valve; Carbon dioxide rebreathing

无创正压通气 (NPPV) 是指患者通过鼻罩、口鼻面罩或全面罩等面罩类型,以无创性方式与呼吸机连接进行的正压辅助通气。近年来 NPPV 技术已在临床得到广泛应用,研究证实其对慢性阻塞性肺疾病 (COPD)<sup>[1-2]</sup>、肺源性心脏病或免疫抑制合并呼吸衰竭(呼衰)<sup>[3-5]</sup>、低氧血症<sup>[6]</sup>、急性呼吸窘迫综合征 (ARDS)<sup>[7]</sup>等慢性呼衰急性发作或早期呼衰患者的疗效显著。然而,无创呼吸机仅通过一根呼吸管道实现患者吸气和呼气两项动作,容易引起 CO<sub>2</sub> 重复呼吸,导致 CO<sub>2</sub> 潴留甚至治疗失败<sup>[8]</sup>。在 NPPV 应用过程中,呼气阀是无创呼吸机的呼气通路,对有效提高通气效率及减少 CO<sub>2</sub> 重复呼吸具有重要作用。目前国内外关于 NPPV 应用过程中 CO<sub>2</sub> 重复呼吸的研究多局限于呼气阀类型<sup>[9-11]</sup>以及死腔气体置换技术<sup>[12-15]</sup>等临床研究,而对于呼气阀安装位置的研究报道较少。因此,本研究旨在通过定量评价的方法,对常用呼气阀安装于不同位置时的呼气末二氧化碳分压 (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>) 进行监测,以便为临床合理选择、安装呼气阀提供决策依据。

## 1 对象和方法

**1.1 NPPV 模型系统的建立:** NPPV 模型系统包括人型模特头和机械通气系统 (图 1)。人型模特头为上海弘联医学科技有限公司生产的 GD/CPR180S 高级心肺复苏训练模拟人的模型头,将德国 Dräger 公司生产的 ClassicStar SE 口鼻面罩 (M 号,死腔容量

为 237 mL) 紧密固定在人型模特头上。测试呼吸机为美国 Philips 公司生产的 V60 无创呼吸机,通过一次性呼吸机管道 (美国 Respiroics 公司) 与口鼻面罩相连接。自主呼吸动作通过双肺 (驱动肺一测试肺,均为德国 Dräger 公司生产的 MP02400 模拟肺) 联动模型实现。驱动呼吸机 (德国 Dräger 公司生产的 XL 呼吸机) 扩张驱动,驱动肺通过上举架扩张测试肺,以实现模型自主呼吸动作。自主呼吸联动模型通过波纹管与人型模特头的气管相连接,其中间插入一个气道阻抗接头 (阻力为 20 cmH<sub>2</sub>O·L<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>)。将 100% CO<sub>2</sub> 通过流量计输入测试肺。

**1.2 呼气阀安装方式及分组:** 将美国 Respiroics 公司生产的单孔型呼气阀和平台型呼气阀分别安装于呼吸机管道和面罩之间 (位置 I) 以及面罩上 (位置 II)。根据单孔型呼气阀和平台型呼气阀安装位置的不同分为 4 组。A 组:单孔型呼气阀安装于位置 I; B 组:平台型呼气阀安装于位置 I; C 组:单孔型呼气阀安装于位置 II,单孔型呼气阀远端封闭; D 组:平台型呼气阀安装于位置 II,平台型呼气阀远端封闭。

**1.3 数据监测:** 采用美国 Novamatrix 公司生产的 NiCO 监测仪监测模型气管内 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>、潮气量 (V<sub>T</sub>) 和压力。采用 2 台深圳迈瑞公司生产的 CO<sub>2</sub> 监测仪 (mindray MPM 模块) 分别监测测试肺内的 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 和面罩内的 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>。

1.4 实验方法及步骤

1.4.1 标准化实验条件:① Philips V60 测试呼吸机的参数设置:自主/时间控制(ST)模式,呼吸频率( $f$ )为15次/min,吸气气道正压(IPAP)为15 cmH<sub>2</sub>O (1 cmH<sub>2</sub>O=0.098 kPa),呼气气道正压(EPAP)为5 cmH<sub>2</sub>O,吸气时间为1.5 s。② Dräger XL 驱动呼吸机的参数设置:间歇正压通气(IPPV)模式, $f$ 为15次/min,吸气时间为1.5 s,呼气末正压(PEEP)为5 cmH<sub>2</sub>O;通过调节驱动呼吸机  $V_T$ ,使测试肺  $V_T$  恒定在400 mL。③ 通过调节输入测试肺的 CO<sub>2</sub> 流量,使所有实验进行前测试肺内  $P_{ET}CO_2$  恒定为85 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)。

以标准化实验条件作为下列实验程序的基本设置参数。每项内容均测试5次;每次测试均在 Philips V60 测试呼吸机正常运行5 min、监测参数稳定后记录数据。

1.4.2 在标准化实验条件及 EPAP 为 10 cmH<sub>2</sub>O 的情况下,监测4组气管内、面罩内的  $P_{ET}CO_2$ 。

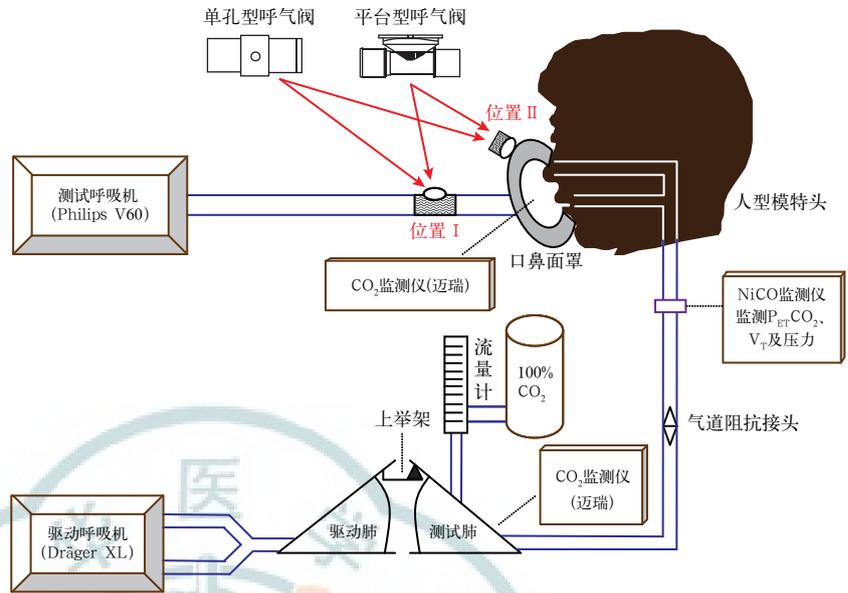
1.4.3 调节驱动呼吸机  $V_T$ ,使测试肺  $V_T$  分别为300、400和500 mL时,监测4组气管内的  $P_{ET}CO_2$ 。

1.4.4 单孔型呼气阀和平台型呼气阀分别安装于位置 I 时,将测试呼吸机 IPAP 从 5 cmH<sub>2</sub>O 逐渐递增至 10、15、20 cmH<sub>2</sub>O,利用 Philips V60 呼吸机漏气量监测功能监测呼气阀的漏气量。

1.5 统计学分析:应用 SPSS 18.0 统计软件进行数据分析。实验数据以均数 ± 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示,相同实验条件下组间比较采用单因素方差分析,不同实验条件下组内两两比较采用独立样本  $t$  检验; $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 标准化实验条件及 EPAP 为 10 cmH<sub>2</sub>O 的情况下,各组气管内、面罩内  $P_{ET}CO_2$  水平比较(表1):在标准化实验条件及 EPAP 为 10 cmH<sub>2</sub>O 的情况下,B组气管内、面罩内  $P_{ET}CO_2$  均显著低于A组(均  $P < 0.05$ );D组气管内  $P_{ET}CO_2$  显著低于C组( $P < 0.05$ ),即呼气阀在同一位置时,平台型呼气阀的  $P_{ET}CO_2$  明显低于单孔型呼气阀。C组气管内、面罩内  $P_{ET}CO_2$  均显著低于A组(均  $P < 0.05$ );D组气管内、面罩



注:  $P_{ET}CO_2$  为呼气末二氧化碳分压,  $V_T$  为潮气量

图1 无创正压通气(NPPV)模型系统

内  $P_{ET}CO_2$  显著低于B组(均  $P < 0.05$ ),即同种呼气阀安装于面罩上时,气管内、面罩内  $P_{ET}CO_2$  均显著低于呼气阀安装于呼吸机管道和面罩之间时。

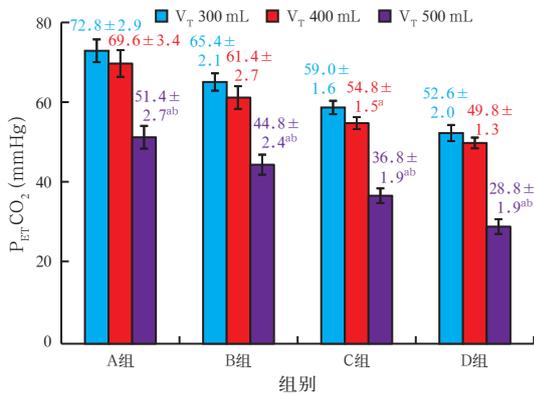
表1 标准化实验条件下及不同 EPAP 水平时各组气管内、面罩内  $P_{ET}CO_2$  水平的比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	样本数	EPAP 5 的 $P_{ET}CO_2$ (mmHg)		EPAP 10 的 $P_{ET}CO_2$ (mmHg)	
		气管内	面罩内	气管内	面罩内
A 组	5	69.6 ± 3.4	24.8 ± 1.9	64.2 ± 3.6	23.0 ± 1.6
B 组	5	61.4 ± 2.7 <sup>a</sup>	21.8 ± 1.6 <sup>a</sup>	57.2 ± 3.7 <sup>a</sup>	20.2 ± 1.6 <sup>a</sup>
C 组	5	54.8 ± 1.5 <sup>ab</sup>	2.8 ± 0.8 <sup>ab</sup>	48.8 ± 2.6 <sup>ab</sup>	2.2 ± 0.8 <sup>ab</sup>
D 组	5	49.8 ± 1.3 <sup>abc</sup>	1.8 ± 0.8 <sup>ab</sup>	41.8 ± 2.6 <sup>abcd</sup>	1.2 ± 0.8 <sup>ab</sup>

注: A 组、B 组分别为单孔型呼气阀、平台型呼气阀安装于呼吸机管道和面罩之间; C 组、D 组分别为单孔型呼气阀、平台型呼气阀安装于面罩上,呼气阀远端均封闭; EPAP 为呼气气道正压, EPAP 5 为 EPAP 5 cmH<sub>2</sub>O, EPAP 10 为 EPAP 10 cmH<sub>2</sub>O,  $P_{ET}CO_2$  为呼气末二氧化碳分压; 1 mmHg = 0.133 kPa, 1 cmH<sub>2</sub>O = 0.098 kPa; 与 A 组比较, <sup>a</sup> $P < 0.05$ ; 与 B 组比较, <sup>b</sup> $P < 0.05$ ; 与 C 组比较, <sup>c</sup> $P < 0.05$ ; 与本组 EPAP 5 条件下比较, <sup>d</sup> $P < 0.05$

另外,测试呼吸机 EPAP 为 10 cmH<sub>2</sub>O 时,各组气管内、面罩内的  $P_{ET}CO_2$  均较 EPAP 为 5 cmH<sub>2</sub>O 时更低,但仅 D 组气管内的  $P_{ET}CO_2$  差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。

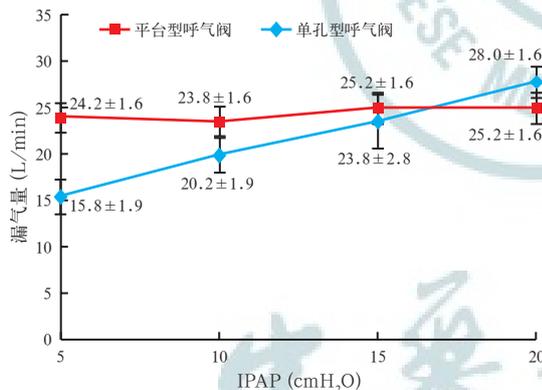
2.2 标准化实验条件下测试肺在不同  $V_T$  时各组气管内  $P_{ET}CO_2$  比较(图2):在测试肺  $V_T$  为 400 mL 时,各组气管内  $P_{ET}CO_2$  均低于测试肺  $V_T$  为 300 mL 时,其中仅 C 组差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。各组在测试肺  $V_T$  为 500 mL 时,气管内  $P_{ET}CO_2$  均显著低于测试肺  $V_T$  为 300 mL、400 mL 时(均  $P < 0.05$ )。



注: A 组、B 组分别为单孔型呼气阀、平台型呼气阀安装于呼吸机管道和面罩之间; C 组、D 组分别为单孔型呼气阀、平台型呼气阀安装于面罩上, 呼气阀远端均封闭; VT 为潮气量, PETCO<sub>2</sub> 为呼气末二氧化碳分压; 1 mmHg=0.133 kPa; 与 VT 300 mL 比较, <sup>a</sup>P<0.05; 与 VT 400 mL 比较, <sup>b</sup>P<0.05

图 2 标准化实验条件下测试肺在不同 VT 时各组气管内 PETCO<sub>2</sub> 的比较

2.3 呼气阀安装于位置 I 时不同 IPAP 情况下呼气阀漏气量的变化 (图 3): 将测试呼吸机 IPAP 从 5 cmH<sub>2</sub>O 递增到 20 cmH<sub>2</sub>O, 单孔型呼气阀漏气量随 IPAP 压力增高而增加, 平台型呼气阀漏气量基本维持不变。



注: IPAP 为吸气管道正压; 1 cmH<sub>2</sub>O=0.098 kPa

图 3 呼气阀安装于呼吸机管道和面罩之间时不同 IPAP 情况下呼气阀漏气量的变化

### 3 讨论

NPPV 应用中, 呼气相呼气末期时面罩内的 CO<sub>2</sub> 浓度维持在较高水平, 当在下一个呼吸周期的吸气初期, CO<sub>2</sub> 浓度迅速下降, 之前吸入的气体容量即为重复呼吸量, 此时吸入气体的 CO<sub>2</sub> 浓度与呼出气体的 CO<sub>2</sub> 浓度基本相同。因此, PETCO<sub>2</sub> 越低, 下一个呼吸周期吸气开始时的 CO<sub>2</sub> 浓度越低, 重复呼吸量就越少。现已证实, NPPV 治疗过程中, 重复吸入的 CO<sub>2</sub> 来自面罩、呼吸回路及上呼吸道, 并且上呼吸道

是其主要来源<sup>[16]</sup>。CO<sub>2</sub> 清除的主要措施是通过增加肺泡通气量及漏气量, 减少死腔容量及 CO<sub>2</sub> 重复呼吸。随着肺泡通气量及漏气量的增加, 有助于 CO<sub>2</sub> 排出。已有研究表明, NPPV 应用中, 呼气阀类型、肺 V<sub>T</sub> 及呼气时间可以引起通气量及漏气量的改变, 进而影响 CO<sub>2</sub> 重复呼吸<sup>[17-19]</sup>。但另一方面, 漏气量增加会影响患者触发、呼吸回路预置压力水平的实现, 从而导致人机不同步、通气效果降低及患者感觉不适等<sup>[20]</sup>, 这是导致 NPPV 应用中患者不耐受甚至治疗失败的最常见原因。同时, 漏气量的增加也会影响患者氧合的改善。呼气阀是有效平衡通气量、漏气量且防止人机不同步的重要装置。

本研究表明, 同种呼气阀安装在面罩上时气管内、面罩内的 PETCO<sub>2</sub> 均显著低于呼气阀安装在呼吸机管道和面罩之间时。说明呼气阀安装在面罩上比安装在呼吸机管道与面罩之间更有利于 CO<sub>2</sub> 的排出。主要理论依据是呼气阀安装在面罩上时, 呼吸机的基础气流对面罩内的残留气体起到冲洗作用, 减少或消除了 CO<sub>2</sub> 的重复呼吸 (即死腔效应), 而且不影响人机的同步性能。然而, 呼气阀安装在呼吸机管道与面罩之间会存在明显的死腔气体, 面罩越大, CO<sub>2</sub> 的重复呼吸量就越大<sup>[16]</sup>。各组测试呼吸机 EPAP 为 10 cmH<sub>2</sub>O 时, 气管内、面罩内的 PETCO<sub>2</sub> 较 EPAP 为 5 cmH<sub>2</sub>O 时更低, 但仅 D 组差异有统计学意义。说明呼吸回路内压力波动对 PETCO<sub>2</sub> 的影响并不显著。有临床研究也证实, 不同的 EPAP 水平不会引起动脉血氧分压 (PaO<sub>2</sub>) 明显变化<sup>[21]</sup>。

本研究中, 呼气阀安装在同一位置时, 平台型呼气阀气管内和面罩内的 PETCO<sub>2</sub> 显著低于单孔型呼气阀。说明采用平台型呼气阀较单孔型呼气阀更能有效降低 PETCO<sub>2</sub>, 与临床治疗效果一致<sup>[22]</sup>。此外, 当测试呼吸机 IPAP 从 5 cmH<sub>2</sub>O 递增到 20 cmH<sub>2</sub>O 时, 单孔型呼气阀漏气量逐渐增加, 而平台型呼气阀漏气量基本维持不变。当平台型呼气阀在呼吸回路处于高压状态时 (通常在吸气相), 平台型呼气阀的内膜片上抬, 使平台型呼气阀漏气孔变小, 致使排气量相对较小, 以利于提高氧合; 而当呼吸回路处于低压状态时 (通常在呼气相), 平台型呼气阀的内膜片回缩, 使平台型呼气阀漏气孔变大, 致使排气量相对较大, 以利于促进 CO<sub>2</sub> 排出。这就是平台型呼气阀较单孔型呼气阀更能有效降低 PETCO<sub>2</sub>、减少 CO<sub>2</sub> 重复呼吸的理论基础。

本研究结果还显示, 呼气阀安装在呼吸机管道

和面罩之间或面罩上时,各组测试肺  $V_T$  为 500 mL 时,气管内  $P_{ET}CO_2$  显著低于  $V_T$  为 300 mL 和 400 mL 时;并且各组测试肺  $V_T$  为 400 mL 时,气管内  $P_{ET}CO_2$  均低于  $V_T$  为 300 mL 时(仅 C 组差异显著)。说明增加肺  $V_T$  能有效降低  $P_{ET}CO_2$ 。有文献报道,可通过监测  $P_{ET}CO_2$  来调整通气量,达到预防腹腔镜手术中  $CO_2$  的蓄积问题<sup>[23]</sup>。

本研究的局限性:首先,本研究仅利用 NPPV 模型系统进行了实验分析,还需要临床研究进一步论证其治疗效果。其次,在 NPPV 应用中,NPPV 呼吸机参数、测试肺的顺应性、气道阻力等变量也对  $CO_2$  重复呼吸有影响,还需要更多的实验研究加以完善。

综上所述,呼气阀安装在面罩上比安装在呼吸机管道和面罩之间更有利于  $CO_2$  的排出。同时,采用平台型呼气阀及适当增加肺  $V_T$  也有利于排出  $CO_2$ ,减少  $CO_2$  重复呼吸。本研究仅是利用 NPPV 模型系统并标准化了部分参数而进行的实验分析,还需要临床研究及增加参数变量进一步论证其治疗效果。

## 参考文献

- [1] Tetley TD. Inflammatory cells and chronic obstructive pulmonary disease [J]. *Curr Drug Targets Inflamm Allergy*, 2005, 4 (6): 607-618.
- [2] 刘玲,邱海波,郑瑞强,等. 早期无创正压通气治疗慢性阻塞性肺疾病急性加重期的前瞻性随机对照研究[J]. *中华危重病急救医学*, 2005, 17 (8): 477-480.
- [3] 邢爱民. 无创机械通气对肺源性心脏病伴呼吸衰竭患者脑钠肽水平的影响[J]. *中华危重病急救医学*, 2011, 23 (4): 251-252.
- [4] 张鑫,王慧娟,磨国鑫,等. 无创正压通气治疗免疫抑制合并急性呼吸衰竭患者的临床分析[J]. *中华危重病急救医学*, 2011, 23 (9): 530-533.
- [5] 何丽蓉,祝九龙. 无创通气与急性心源性肺水肿研究进展[J]. *中华危重病急救医学*, 2011, 23 (9): 574-576.
- [6] 王书鹏,李敏,易丽,等. 早期低氧血症对重症监护病房全麻术后患者预后的影响[J]. *中华危重病急救医学*, 2013, 25 (10): 600-603.
- [7] 石钟山,马四清,陈强,等. 早期机械通气治疗对急性高原肺水肿继发性呼吸窘迫综合征患者氧合及血流动力学的影响[J]. *中华危重病急救医学*, 2013, 25 (10): 618-621.
- [8] 宋宁燕,徐劲松,夏国际,等. AECOPD 合并 II 型呼吸衰竭无创正压通气治疗早期失败的预警因素分析[J]. *临床肺科杂志*, 2011, 16 (10): 1529-1531.
- [9] 彭渤,王东,张波,等. 无创正压通气治疗时不同呼气阀对二氧化碳重复呼吸的影响[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2005, 28 (12): 875-876.
- [10] 卢永军,韩炳智,施斌. BiPAP 呼吸机加用平台呼吸阀后无创通气治疗慢性阻塞性肺疾病合并 II 型呼吸衰竭疗效评价[J]. *黑龙江医学*, 2006, 30 (12): 898-899, 908.
- [11] 吴怀球,刘志光,李建民,等. BiPAP 呼吸机加平台型呼气阀在 AECOPD 呼吸衰竭中的应用[J]. *医学临床研究*, 2009, 26 (3): 509-511.
- [12] De Robertis E, Servillo G, Tufano R, et al. Aspiration of dead space allows isocapnic low tidal volume ventilation in acute lung injury. Relationships to gas exchange and mechanics [J]. *Intensive Care Med*, 2001, 27 (9): 1496-1503.
- [13] 赵卫国,刘又宁. 气管内吹气与死腔内气体吸出技术的区别及临床意义[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2002, 25 (3): 174-176.
- [14] 解立新,刘又宁. 非常规呼吸支持技术治疗呼吸衰竭[J]. *中华医学杂志*, 2004, 84 (10): 871-873.
- [15] Pinsky MR, Delgado E, Hete B. The effect of tracheal gas insufflation on gas exchange efficiency [J]. *Anesth Analg*, 2006, 103 (5): 1213-1218.
- [16] Schettino GP, Chatmongkolchart S, Hess DR, et al. Position of exhalation port and mask design affect  $CO_2$  rebreathing during noninvasive positive pressure ventilation [J]. *Crit Care Med*, 2003, 31 (8): 2178-2182.
- [17] Lofaso F, Brochard L, Touchard D, et al. Evaluation of carbon dioxide rebreathing during pressure support ventilation with airway management system (BiPAP) devices [J]. *Chest*, 1995, 108 (3): 772-778.
- [18] Ferguson GT, Gilmartin M.  $CO_2$  rebreathing during BiPAP ventilatory assistance [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 1995, 151 (4): 1126-1135.
- [19] Lofaso F, Brochard L, Hang T, et al. Home versus intensive care pressure support devices. Experimental and clinical comparison [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 1996, 153 (5): 1591-1599.
- [20] 李春燕,曹志新,王辰. 管路漏气对无创机械通气影响的研究[J]. *中华护理杂志*, 2007, 42 (9): 805-806.
- [21] 杨春丽,陈志,卢院华,等. 不同呼气末正压水平对急性呼吸窘迫综合征患者脑血流和脑血管自动调节功能影响的研究[J]. *中华危重病急救医学*, 2014, 26 (5): 335-338.
- [22] 黄桃,周发春,万东,等. 使用 BiPAP Vision 呼吸机单孔型和平台型呼气阀治疗慢性阻塞性肺疾病合并高碳酸血症[J]. *中华危重病急救医学*, 2011, 23 (4): 216-219.
- [23] 庞宏宣,唐娟,林高翔. 终末潮二氧化碳监测下调整通气量预防腹腔镜手术中  $CO_2$  蓄积的作用[J]. *腹腔镜外科杂志*, 2008, 13 (5): 447-448.

(收稿日期: 2015-06-01)

(本文编辑:李银平)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

## 本刊对作者署名的一般要求

同时具备以下 3 项条件者方可署名为作者: ① 参与选题和设计,或参与资料的分析和解释者; ② 起草或修改论文中关键性理论或其他主要内容者; ③ 能对编辑部的修改意见进行核修,在学术上进行答辩,并最终同意该文发表者; ④ 除负责本人的研究贡献外,同意对研究工作的诚信问题负责。对文章中的各主要结论,均必须至少有 1 位作者负责。作者中如有外籍作者,应征得本人同意,并在投稿时向编辑部提供相应证明材料,并应用其本国文字和中文同时注明通讯地址,地名以国家公布的地图上的英文名为准。集体署名的论文必须明确对该文负责的关键人物,以通讯作者的形式将其姓名、工作单位、邮政编码及 Email 地址脚注于论文题名页。通讯作者一般只列 1 位,由投稿者确定。整理者姓名列于文末,如需注明协作组成员,则于文末参考文献前列出协作组成员的单位及姓名。作者排序应在投稿前确定,在编排过程中不应再改动,确需改动时须出示单位证明,并附全部作者签名的作者贡献说明。