

呼出气氧浓度监测评价吸入氧浓度基线水平对急诊患者插管前面罩通气时间的影响

戴依利 朱华栋 徐军 于学忠

中国医学科学院北京协和医学院,北京协和医院急诊科,疑难重症及罕见病国家重点实验室,北京 100730

通信作者:徐军,Email:Xujunfree@126.com

【摘要】目的 以呼出气氧浓度(EtO_2)作为监测指标,探讨急诊患者气管插管前不同吸入氧浓度(FiO_2)基线水平下进行纯氧面罩通气对 EtO_2 达标时间的影响。**方法** 采用回顾性观察性研究方法,收集2021年1月1日至11月1日在北京协和医学院急诊科接受气管插管患者的临床资料。为了避免因操作不规范或漏气等造成通气不充分而干扰最终结果,故选择已行气管插管患者 FiO_2 调至纯氧后持续机械通气的过程来模拟插管前纯氧下面罩通气的过程。结合电子病历和呼吸机记录,分析患者在不同 FiO_2 基线水平下,调整 FiO_2 至纯氧后 EtO_2 达到0.90所需时间(即 EtO_2 达标时间)和达标所需呼吸周期的变化。**结果** 最终收集到42例患者共113次 EtO_2 监测记录;其中,2例患者由于 FiO_2 基线水平即为0.80,故仅有1次 EtO_2 记录,其他患者均有2次及以上不同 FiO_2 基线水平对应的 EtO_2 达标时间和呼吸周期记录。42例患者中,以男性为主(占59.5%),老年人居多[中位年龄62(40,70)岁],大多为呼吸系统疾病(占40.5%);不同患者肺功能差异较大,但以功能正常患者居多[氧合指数($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) >300 mmHg(1 mmHg ≈ 0.133 kPa),占38.0%];在呼吸机参数设置上,结合患者稍低的动脉血二氧化碳分压[33(28,37)mmHg],考虑普遍存在轻度的过度通气现象。随着 FiO_2 基线水平升高, EtO_2 达标时间和呼吸周期数均呈逐渐下降趋势。当 FiO_2 基线水平为0.35时, EtO_2 达标时间最长[79(52,87)s],所需呼吸周期数最多[22(16,26)个];当 FiO_2 基线水平从0.35提升至0.80时, EtO_2 达标时间可从79(52,87)s缩短至30(21,44)s,呼吸周期数也从22(16,26)个减少到10(8,13)个,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。**结论** 急诊患者气管插管前面罩通气的 FiO_2 基线水平越高, EtO_2 达标时间就越短,面罩通气时间也就越短。

【关键词】 呼出气氧浓度; 吸入氧浓度; 气管插管; 面罩通气

基金项目:国家自然科学基金(82172179);中国医学科学院医学与健康科技创新工程项目(2021-I2M-1-062)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220311-00236

Effect of fraction of inspired oxygen baseline level on the mask ventilation time before intubation in emergency patients by monitoring of expiratory oxygen concentration

Dai Yili, Zhu Huadong, Xu Jun, Yu Xuezhong

Department of Emergency, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Science and Peking Union Medical College, State Key Laboratory of Complex Severe and Rare Diseases, Beijing 100730, China

Corresponding author: Xu Jun, Email: Xujunfree@126.com

【Abstract】 Objective To investigate the effect of different fraction of inspired oxygen (FiO_2) baseline levels before endotracheal intubation on the time of expiratory oxygen concentration (EtO_2) reaching the standard in emergency patients with the EtO_2 as the monitoring index. **Methods** A retrospective observational study was conducted. The clinical data of patients receiving endotracheal intubation in the emergency department of Peking Union Medical College Hospital from January 1 to November 1 in 2021 were enrolled. In order to avoid interference with the final result due to inadequate ventilation caused by non-standard operation or air leakage, the process of the continuous mechanical ventilation after FiO_2 was adjusted to pure oxygen in patients who had been intubated was selected to simulate the process of mask ventilation under pure oxygen before intubation. Combined with the electronic medical record and the ventilator record, the changes of the time required to reach 0.90 of EtO_2 (that was, the time required to reach the standard of EtO_2) and the respiratory cycle required to reach the standard after adjusting FiO_2 to pure oxygen under different baseline levels of FiO_2 were analyzed. **Results** 113 EtO_2 assay records were collected from 42 patients. Among them, 2 patients had only one EtO_2 record due to the FiO_2 baseline level of 0.80, while the rest had two or more records of EtO_2 reaching time and respiratory cycle corresponding to different FiO_2 baseline level. Among the 42 patients, most of them were male (59.5%), elderly [median age was 62 (40, 70) years old] patients with respiratory diseases (40.5%). There were significant differences in lung function among different patients, but the majority of patients with normal function [oxygenation index ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) >300 mmHg (1 mmHg ≈ 0.133 kPa), 38.0%]. In the setting of ventilator parameters, combined with the slightly lower arterial partial pressure of carbon dioxide of patients [33 (28, 37) mmHg], mild hyperventilation phenomenon was considered to be widespread. With the increased in FiO_2 baseline level, the time of EtO_2 reaching standard and the number of respiratory cycles showed a gradually decreasing trend. When the FiO_2

baseline level was 0.35, the time of EtO₂ reaching the standard was the longest [79 (52, 87) s], and the corresponding median respiratory cycle was 22 (16, 26) cycles. When the FiO₂ baseline level was increased from 0.35 to 0.80, the median time of EtO₂ reaching the standard was shortened from 79 (52, 78) s to 30 (21, 44) s, and the median respiratory cycle was also reduced from 22 (16, 26) cycles to 10 (8, 13) cycles, with statistically significant differences (both $P < 0.05$).

Conclusion The higher the FiO₂ baseline level of the mask ventilation in front of the endotracheal intubation in emergency patients, the shorter the time for EtO₂ reaching the standard, and the shorter the mask ventilation time.

【Key words】 Expiratory oxygen concentration; Fraction of inspired oxygen; Tracheal intubation; Mask ventilation

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82172179); Medical and Health Science and Technology Innovation Project of the Chinese Academy of Medical Sciences (2021-I2M-1-062)

DOI: 10.3760/ema.j.cn121430-20220311-00236

低氧血症是气管插管常见并发症之一,发生率为 9.3% ~ 33.0%^[1-4]。2011 年英国一项插管相关并发症统计数据表明,急诊科插管相关低氧血症发生率高于手术室内气管插管^[5-6],可能与急诊患者常合并呼吸系统病理生理紊乱,基础氧饱和度偏低有关。McKown 等^[7]指出,插管前较低水平的氧饱和度是插管期间发生低氧血症的独立危险因素。因此,在插管前提高患者氧储备能力是整个气管插管过程中至关重要的一环。

气管插管前提高氧储备的方式包括主动的预氧合和被动的通气。预氧合即给予患者不同吸氧设备,使其主动吸入高浓度氧气;被动通气即在患者自主呼吸减弱或消失时,通过球囊面罩等设备进行被动通气,在急救早期起到重要作用^[8]。以上两种方式均被推荐应用于急诊、重症患者的气管插管中^[9-10]。此外,对于无自主呼吸的急诊患者,面罩通气的优势更明显。球囊面罩通气可有效提高患者氧储备,减少低氧血症的发生,是我国急诊科广泛应用的预氧合方式,但是患者的基础吸入氧浓度(fraction of inspired oxygen, FiO₂)是否会影响面罩通气的达标时间尚不清楚。呼出气氧浓度(end-tidal oxygen concentration, EtO₂) > 0.90 可提示预氧合达标^[11]。虽然 EtO₂ 监测作为优化预氧合的辅助监测作用已得到了研究的证实^[12],但其在急诊中应用并不多,而且目前鲜有研究探讨如何有效进行面罩通气。本研究以 EtO₂ 作为主要监测指标,旨在探讨急诊科无自主呼吸患者插管前在不同 FiO₂ 基线水平下进行纯氧通气对 EtO₂ 达标时间和呼吸周期的影响。

1 资料与方法

1.1 研究设计: 本研究是一项单中心回顾性观察性临床研究。选择已行气管插管的患者,以通过 FiO₂ 调至纯氧后患者持续机械通气的过程模拟插管前纯氧下面罩通气过程,从而减少因操作不规范或漏气等造成通气不充分而干扰最终结果。本研究通过查

阅患者的电子病历及呼吸机、监护仪参数等相关记录筛选符合标准的研究对象入组,对患者的临床信息、呼吸参数和 EtO₂ 变化进行统计分析,符合医学伦理学标准,并已通过北京协和医院伦理审查委员会的审批(审批号: S-K1989)。

1.2 研究对象: 收集 2021 年 1 月 1 日至 11 月 1 日北京协和医院急诊科气管插管患者的临床资料。

1.2.1 纳入标准: ① 年龄 ≥ 18 周岁; ② 于协和医院急诊科进行气管插管或带气管导管在急诊科进行治疗; ③ 具有完整的病历资料及 EtO₂ 参数记录。

1.2.2 排除标准: ① 孕产妇; ② 起始 FiO₂ ≥ 0.90; ③ 重要数据记录不全。

1.3 资料收集: 收集患者的一般临床信息,包括性别、年龄、主要疾病诊断、呼吸频率(respiratory rate, RR)、脉搏血氧饱和度(pulse oxygen saturation, SpO₂)、动脉血气分析[动脉血氧分压(arterial partial pressure of oxygen, PaO₂)、动脉血二氧化碳分压(arterial partial pressure of carbon dioxide, PaCO₂)]及呼吸机参数[潮气量(tidal volume, VT)、FiO₂等]。记录患者进行吸痰操作前调整 FiO₂ 至纯氧时 EtO₂ 的变化值和呼吸周期,提取每次调整 FiO₂ 至纯氧后 EtO₂ 达到 0.90 所需时间(即 EtO₂ 达标时间,也就是面罩通气时间)及达标所需呼吸周期数。

1.4 统计学方法: 采用 SPSS 26.0 软件对筛选出的数据进行统计分析。计数资料以频数和百分比表示;计量资料均呈非正态分布,以中位数(四分位数)[$M(Q_L, Q_U)$]表示。由于同一患者有多次测量数据,故采用相关样本秩和检验中的 Friedman 检验及其多重比较(成对)分析多次测量间的差异及任意两者间的差异。 $P < 0.05$ 提示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料: 最终收集 42 例患者共 113 次 EtO₂ 记录数据。2 例患者由于 FiO₂ 基线水平即为 0.80, 故仅有 1 次 EtO₂ 记录;其他患者均有 2 次及以上

不同 FiO₂ 基线水平对应的 EtO₂ 达标时间和呼吸周期记录。绝大多数患者 SpO₂ 在插管前为 1.00,因而采用 EtO₂ 监测评估吸痰前纯氧通气的达标情况。

表 1 显示,超过半数的急诊气管插管患者为男性,中位年龄为 62(40,70)岁。在插管指征方面,以呼吸系统疾病为主,其次是中枢神经系统疾病和手术。不同患者肺功能差异较大,但以功能正常[氧合指数(PaO₂/FiO₂)>300 mmHg(1 mmHg≈0.133 kPa)]患者居多。在呼吸机参数设置方面,结合患者稍低的 PaCO₂ [中位数为 33(28,37)mmHg],考虑普遍存在轻度的过度通气现象。

指标	数值	指标	数值
性别[例(%)]		PaO ₂ /FiO ₂ [例(%)]	
男性	25(59.5)	<200 mmHg	13(31.0)
女性	17(40.5)	200~300 mmHg	13(31.0)
年龄[岁, M(Q _L , Q _U)]	62(40, 70)	>300 mmHg	16(38.0)
插管指征[例(%)]		SpO ₂ [M(Q _L , Q _U)]	1.00(1.00, 1.00)
呼吸系统疾病	17(40.5)	PaCO ₂ [mmHg, M(Q _L , Q _U)]	33(28, 37)
中枢神经系统疾病	12(28.6)	RR [次/min, M(Q _L , Q _U)]	17(16, 20)
心搏骤停	5(11.9)	VT [mL, M(Q _L , Q _U)]	450(410, 500)
手术	8(19.0)		

注:PaO₂/FiO₂为氧合指数,SpO₂为脉搏血氧饱和度,PaCO₂为动脉血二氧化碳分压,RR为呼吸频率,VT为潮气量;1 mmHg≈0.133 kPa

2.2 FiO₂ 与 EtO₂ 的变化:在 2 个呼吸周期后,42 例患者 FiO₂ 与 EtO₂ 均升高,但 EtO₂ 与 FiO₂ 间的差值明显增大;随呼吸周期增加,EtO₂ 与 FiO₂ 继续升高的同时,二者的差值逐渐减小,直到 EtO₂ 达到 0.90。患者 FiO₂ 与 EtO₂ 随时间变化的波形见图 1。

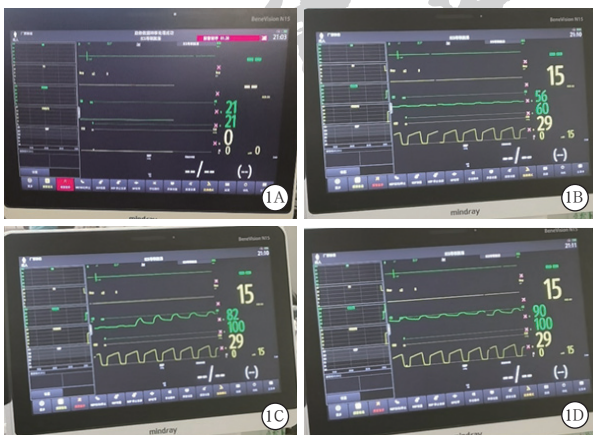


图 1 1 例 62 岁女性重症肺炎患者急诊气管插管前调整吸入氧浓度(FiO₂)至纯氧过程中呼出气氧浓度(EtO₂)的变化波形监护仪未连接患者时 FiO₂ 与 EtO₂ 均为 0.21(A);监护仪连接患者后 FiO₂ 为 0.60(基线水平),EtO₂ 为 0.56(B);吸入纯氧 2 个呼吸周期后,EtO₂ 与 FiO₂ 的差值呈先增加后逐渐减小的趋势(C);EtO₂ 达到 0.90 时停止计时(D)

2.3 不同 FiO₂ 基线水平对 EtO₂ 达标时间及呼吸周期的影响(表 2):随着 FiO₂ 基线水平不断上调,EtO₂ 达标时间和呼吸周期数呈逐渐下降趋势。当 FiO₂ 基线水平为 0.35 时,EtO₂ 达标时间最长,所需呼吸周期最多;当 FiO₂ 基线水平变化幅度在 0.15~0.20 时,EtO₂ 达标时间及呼吸周期数差异存在统计学意义(均 P<0.05)。

FiO ₂ 基线水平	例数 (例)	EtO ₂ 达标时间(s)	EtO ₂ 达标所需呼吸周期(个)
0.35	17	79(52, 87)	22(16, 26)
0.40	24	73(51, 90)	20(15, 24)
0.50	28	67(53, 83) ^a	18(13, 24) ^a
0.60	21	62(52, 73) ^b	16(13, 22) ^b
0.70	14	43(35, 59) ^c	13(10, 19) ^c
0.80	9	30(21, 44) ^d	10(8, 13) ^d

注:FiO₂为吸入氧浓度,EtO₂为呼出气氧浓度;EtO₂达标时间为调整 FiO₂ 至纯氧后 EtO₂ 达到 0.90 所需时间;与 FiO₂ 基线水平为 0.35 比较,^aP<0.05;与 FiO₂ 基线水平为 0.40 比较,^bP<0.05;与 FiO₂ 基线水平为 0.50 比较,^cP<0.05;与 FiO₂ 基线水平为 0.60 比较,^dP<0.05

3 讨论

本研究旨在探讨急诊患者气管插管前不同 FiO₂ 基线水平下进行纯氧通气时 EtO₂ 的达标情况。结果显示,EtO₂ 达标时间最长为 79(52, 87)s,对应 FiO₂ 基线水平为 0.35,且 FiO₂ 基线水平越高,EtO₂ 达标时间就越短,面罩通气时间也就越短。

通气对于改善患者插管前的氧储备与预氧合同样至关重要。Mosier 等^[13]研究表明,预氧合的作用在全部供氧设备撤除 20 s 后基本消失。与未行通气的患者相比,行球囊面罩通气患者严重低氧血症的发生率明显降低^[14]。因此,对于有自主呼吸的患者来说,即使进行了充分的预氧合,给药后的面罩被动通气依然对减少低氧血症的发生有一定作用。相比之下,对于呼吸抑制(如中枢神经系统疾病)的患者来说,面罩被动通气是其在插管前改善氧合的唯一方式。前期调查表明,面罩通气在我国急诊插管患者中应用广泛^[15]。为减少不同操作者面罩通气量的差异,本研究以通过 FiO₂ 调至纯氧后持续机械通气的过程模拟插管前纯氧面罩通气过程,观察不同 FiO₂ 基线水平对 EtO₂ 达标时间及呼吸周期的影响,以期临床实践提供一定的帮助和指导意义。

EtO₂ 是预氧合达标的“金标准”,也是指南推荐的气管插管监测指标之一^[16]。急诊科医师常通过监测 SpO₂ 来判断面罩通气的效率。然而,本次研究

中患者的 SpO_2 大多为1.00,且提高 FiO_2 并不能引起 SpO_2 的变化,相比之下, EtO_2 则明显提升。因此,对于 SpO_2 为1.00的患者, EtO_2 监测能更灵敏地反映氧储备变化。此外,当患者出现明显低氧血症(如生理性分流)时,即使吸入纯氧也不能显著改善 SpO_2 ,此时患者 EtO_2 也可能已经达标。因而, EtO_2 与 SpO_2 的变化并非是平行的。 EtO_2 反映的是患者肺泡内的氧浓度,而 SpO_2 更多反映的是患者血液中的氧浓度。面罩通气、去氮给氧的目的主要是提高肺泡内的氧浓度,使患者在插管过程中仍有一定的氧气从肺泡弥散到血液中,从而延缓低氧血症的发生。与 SpO_2 相比, EtO_2 监测更灵敏,且适用于更广泛的人群。

目前,我国急诊 EtO_2 监测并不普及,本研究结果对于气管插管过程中无法行 EtO_2 监测的患者也有一定指导作用。本研究显示,患者进行纯氧通气后, EtO_2 的变化呈先快后慢的趋势,这一现象与既往研究结果一致^[17]。所以,对于紧急插管的患者,即使是短期的纯氧通气也能明显提高氧储备,尽管这种改善不一定能提升 EtO_2 至0.90的标准。

本研究显示,对于无自主呼吸的患者来说,在基线 FiO_2 为0.35时, EtO_2 达标时间最长[79(52,87)s]。临床上普遍接受的预氧合时间是3 min,而一部分供氧设备并不能在3 min内使患者 EtO_2 达标^[18-20]。另外,患者的肺部疾病,如弥漫性肺气肿,会延迟预氧合达标时间^[21]。在呼吸参数的设定上,不同的通气模式也对 EtO_2 达标时间造成一定影响^[22]。研究表明,不同的 FiO_2 基线水平对患者的 EtO_2 达标时间有影响。考虑本研究患者普遍存在轻度的过度通气;而且由于是气管插管患者,不存在漏气引起的通气不足情况,可能高估了真实的 EtO_2 达标时间。

本研究也存在一定的局限性:首先,本研究收集的样本量较小,可能存在一定的随机误差;其次,由于是回顾性观察性研究,难以控制混杂因素,如不同呼吸参数设置造成的偏倚;再次,本研究选择的是已插管的患者来模拟插管前的面罩通气,虽然避免了漏气、不同操作者通气量存在差异等问题,但在插管时监测 EtO_2 变化可能更具说服力。

4 结论

急诊患者气管插管前 EtO_2 达标时间(也就是面罩通气时间)随着 FiO_2 基线水平升高而缩短,不同通气设备提供的 FiO_2 不同,临床上需结合 FiO_2 基线水平适当调整纯氧通气的时间。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Bodily JB, Webb HR, Weiss SJ, et al. Incidence and duration of continuously measured oxygen desaturation during emergency department intubation [J]. *Ann Emerg Med*, 2016, 67 (3): 389-395. DOI: 10.1016/j.annemergmed.2015.06.006.
- [2] Russotto V, Myatra SN, Laffey JG, et al. Intubation practices and adverse peri-intubation events in critically ill patients from 29 countries [J]. *JAMA*, 2021, 325 (12): 1164-1172. DOI: 10.1001/jama.2021.1727.
- [3] Fogg T, Annesley N, Hitos K, et al. Prospective observational study of the practice of endotracheal intubation in the emergency department of a tertiary hospital in Sydney, Australia [J]. *Emerg Med Australas*, 2012, 24 (6): 617-624. DOI: 10.1111/1742-6723.12005.
- [4] Chan GWH, Chai CY, Teo JSY, et al. Emergency airway management in a Singapore centre: a registry study [J]. *Ann Acad Med Singap*, 2021, 50 (1): 42-51. DOI: 10.47102/annals-acadmedsg.2020331.
- [5] Fourth National Audit Project. Major complications of airway management in the UK: results of the Fourth National Audit Project of the Royal College of Anaesthetists and the Difficult Airway Society. Part 1: anaesthesia [J]. *Br J Anaesth*, 2011, 106 (5): 617-631. DOI: 10.1093/bja/aer058.
- [6] Fourth National Audit Project. Major complications of airway management in the UK: results of the Fourth National Audit Project of the Royal College of Anaesthetists and the Difficult Airway Society. Part 2: intensive care and emergency departments [J]. *Br J Anaesth*, 2011, 106 (5): 632-642. DOI: 10.1093/bja/aer059.
- [7] McKown AC, Casey JD, Russell DW, et al. Risk factors for and prediction of hypoxemia during tracheal intubation of critically ill adults [J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2018, 15 (11): 1320-1327. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201802-1180C.
- [8] 朱运奎,徐越斌,李继东,等.不同呼吸支持方式在危重症患者抢救中的价值比较[J]. *中国危重病急救医学*, 2009, 21 (10): 590-592. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2009.10.006.
- [9] Casey JD, Semler MW. Ventilation before intubation: how to prevent hypoxaemia? [J]. *Lancet Respir Med*, 2019, 7 (4): 284-285. DOI: 10.1016/S2213-2600(19)30054-2.
- [10] 中国急诊气道管理协作组. 急诊气道管理共识 [J]. *中国急救医学*, 2016, 36 (6): 481-485. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2016.06.001.
- [11] Bhatia PK, Bhandari SC, Tulsiani KL, et al. End-tidal oxygraphy and safe duration of apnoea in young adults and elderly patients [J]. *Anaesthesia*, 1997, 52 (2): 175-178. DOI: 10.1111/j.1365-2044.1997.14-az016.x.
- [12] Caputo ND, Oliver M, West JR, et al. Use of end tidal oxygen monitoring to assess preoxygenation during rapid sequence intubation in the emergency department [J]. *Ann Emerg Med*, 2019, 74 (3): 410-415. DOI: 10.1016/j.annemergmed.2019.01.038.
- [13] Mosier J, Reardon RF, DeVries PA, et al. Time to loss of preoxygenation in emergency department patients [J]. *J Emerg Med*, 2020, 59 (5): 637-642. DOI: 10.1016/j.jemermed.2020.06.064.
- [14] Casey JD, Janz DR, Russell DW, et al. Bag-mask ventilation during tracheal intubation of critically ill adults [J]. *N Engl J Med*, 2019, 380 (9): 811-821. DOI: 10.1056/NEJMoa1812405.
- [15] Dai YL, Walline JH, Yu H, et al. Tracheal intubation in emergency departments in China: a national cross-sectional survey [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2022, 9: 813833. DOI: 10.3389/fmed.2022.813833.
- [16] Higgs A, McGrath BA, Goddard C, et al. Guidelines for the management of tracheal intubation in critically ill adults [J]. *Br J Anaesth*, 2018, 120 (2): 323-352. DOI: 10.1016/j.bja.2017.10.021.
- [17] Berry CB, Myles PS. Preoxygenation in healthy volunteers: a graph of oxygen "washin" using end-tidal oxygraphy [J]. *Br J Anaesth*, 1994, 72 (1): 116-118. DOI: 10.1093/bja/72.1.116.
- [18] Groombridge CJ, Ley E, Miller M, et al. A prospective, randomised trial of pre-oxygenation strategies available in the pre-hospital environment [J]. *Anaesthesia*, 2017, 72 (5): 580-584. DOI: 10.1111/anae.13852.
- [19] Groombridge C, Chin CW, Hanrahan B, et al. Assessment of common preoxygenation strategies outside of the operating room environment [J]. *Acad Emerg Med*, 2016, 23 (3): 342-346. DOI: 10.1111/acem.12889.
- [20] Shippam W, Preston R, Douglas J, et al. High-flow nasal oxygen vs. standard flow-rate facemask pre-oxygenation in pregnant patients: a randomised physiological study [J]. *Anaesthesia*, 2019, 74 (4): 450-456. DOI: 10.1111/anae.14567.
- [21] Samain E, Farah E, Delefosse D, et al. End-tidal oxygraphy during pre-oxygenation in patients with severe diffuse emphysema [J]. *Anaesthesia*, 2000, 55 (9): 841-846. DOI: 10.1046/j.1365-2044.2000.01549.x.
- [22] Nimmagadda U, Chiravuri SD, Salem MR, et al. Preoxygenation with tidal volume and deep breathing techniques: the impact of duration of breathing and fresh gas flow [J]. *Anesth Analg*, 2001, 92 (5): 1337-1341. DOI: 10.1097/0000539-200105000-00049.

(收稿日期: 2022-03-11)