

应用经鼻湿化快速充气交换通气技术行全麻纤支镜诊疗 32 例并文献复习

董绪德¹, 王乔蓓², 王莹², 马兴旺², 李传刚³

1. 山东大学第二医院 麻醉科, 山东 济南 250033

2. 山东大学第二医院 呼吸科, 山东 济南 250033

3. 山东省立医院 麻醉科, 山东 济南 250021

摘要: **目的** 研究经鼻湿化快速充气交换通气技术(transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange, THRIVE)通气技术在全麻纤支镜诊疗中的应用安全性和可行性。**方法** 收集 2022 年 8 月至 2023 年 5 月于山东大学第二医院气管镜室采用纤维支气管镜诊疗的患者 32 例。患者雾化吸入表麻后,进行全身麻醉复合 THRIVE 技术进行纤支镜诊疗。分别在全麻前和手术结束各采集动脉血行血气分析,并记录总麻醉时长。术后次日随访术后恢复和并发症情况。**结果** 32 例患者均未术中及术后并发症,其中 5 例患者因脉氧下降改为喉罩通气,其中 4 例为鼾症,其余 27 例平均麻醉时长(20.75±6.70) min,期间无机械辅助通气,SpO₂ 持续维持 95% 以上。动脉血气分析 PO₂ 较术前无统计学差异,动脉血气 PO₂ 与总麻醉时长无线性关系;PCO₂ 和 TCO₂ 均在术后升高,PH 术后降低,PCO₂ 随麻醉时长延长而升高,PH 随麻醉时长延长而下降。BE 与术前差异无统计学意义。**结论** 在全麻纤支镜手术中,应用 THRIVE 通气技术具有特殊的优势,能够在提供充足氧供的基础上,使操作更便捷舒适,且不会引起明显并发症。其应用有一定的局限性,有鼾症等使气道狭窄因素的患者未获得满意的无呼吸氧合时间。该技术会导致术中 CO₂ 蓄积,限制手术时间。

关键词: 经鼻湿化快速充气交换通气技术;全身麻醉;纤维支气管镜;血气分析

中图分类号: R614.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-3770(2024)04-0115-06

引用格式: 董绪德,王乔蓓,王莹,等. 应用经鼻湿化快速充气交换通气技术行全麻纤支镜诊疗 32 例并文献复习[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报,2024, 38(4):115-120. DONG Xude, WANG Qiaobei, WANG Ying, et al. Practical use of THRIVE to administer general anesthesia for bronchofiberscopy in 32 cases[J]. Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University, 2024, 38(4):115-120.

Practical use of THRIVE to administer general anesthesia for bronchofiberscopy in 32 cases

DONG Xude¹, WANG Qiaobei², WANG Ying², MA Xingwang², LI Chuangang³

1. Department of Anesthesiology, The Second Hospital of Shandong University, Jinan 250033, Shandong, China

2. Department of Pneumology, The Second Hospital of Shandong University, Jinan 250033, Shandong, China

3. Department of Anesthesiology, Shandong Provincial Hospital, Jinan 250021, Shandong, China

Abstract: Objective To study the use of transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange (THRIVE) ventilation technology in bronchofiberscopy under general anesthesia. **Methods** A total of 32 patients requiring bronchoscopy under general anesthesia at The Second Hospital of Shandong University between August 2022 and May 2023 were selected for this study. Each received atomizing inhalation of local anesthesia, after which bronchofiberscopy was initiated under general anesthesia. Arterial blood samples were collected for blood gas analysis before the anesthesia was administered and during the recovery period following each procedure. The total anesthesia time was recorded. The patients were followed up with on the next day after the procedure.

Results No intraoperative or postoperative complications were observed in any of the 32 patients. Among them, five patients (four of whom snored) were switched to low-minute volume owing to oxygen desaturation. The average anesthesia time of the remaining 27 patients was 20.75±6.70 minutes. Oxygen partial pressure (SpO₂) was maintained above 95% throughout the procedure. The postoperative SpO₂ values were slightly higher than the preoperative ones, although the difference was not statistically significant. No significant correlation was identified between SpO₂ and total anesthesia time. Carbon dioxide partial pressure (SPCO₂) and total CO₂ were significantly increased following the administration of the anesthesia. However, PH was significantly reduced. Both the increase

in $SPCO_2$ and the decrease in PH were positively correlated with the duration of the anesthesia. No significant differences were observed in terms of BE values. **Conclusion** THRIVE carries certain advantages for bronchofiberscopy procedures performed under general anesthesia—particularly in terms of providing sufficient oxygen to the patient. Moreover, THRIVE can also make the procedure convenient and comfortable for the patient, without causing any obvious complications. However, certain limitations to the use of THRIVE exist. Patients with stenosis in their airways, such as those who snore, often cannot achieve a satisfactory apnea time. This technique may lead to CO_2 accumulation, which can limit the time available to complete the procedure. With much interest, we await the development of new techniques to adequately remove CO_2 from the lungs, which may lead to a wide adoption of THRIVE.

Key words: Transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange; General anesthesia; Bronchofiberscope; Arterial blood gas analysis

经鼻湿化快速充气交换通气技术 (transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange, THRIVE) 是指患者在无自主呼吸和机械通气的情况下,通过持续经鼻吸入高流量湿化高浓度氧为患者提供足够的氧合,并维持一定二氧化碳清除率^[1]。该技术源于即经鼻高流量湿化氧疗技术 (high flow nasal cannula, HFNC), 最早由 Patel 等^[2]于 2015 年提出。由于该技术操作简便,无需插管/喉罩,对于需共用气道的手术麻醉具有巨大的潜力。纤维支气管镜诊疗是临床诊断和治疗呼吸系统疾病的重要手段,临床应用普遍,但该操作需与全麻共用气道,且刺激性强、患者不适反应强烈,目前普遍采用单纯镇静或者插管/喉罩全麻下完成^[3]。但是单纯镇静有呼吸抑制的风险,插管/喉罩则因共用气道而给诊疗操作在一定程度上带来不便,且有可能导致咽喉黏膜损伤。THRIVE 通气技术的出现为全麻纤支镜诊疗的通气手段提供一个新的选择。目前对 THRIVE 应用于支气管镜诊疗的研究并不多。

1 资料与方法

1.1 研究对象与使用器械

收集 2022 年 8 月至 2023 年 5 月于山东大学第二医院气管镜室采用 THRIVE 通气手段行纤维支气管镜诊疗的患者共 32 例,研究评价其应用安全性和可行性。高流量吸氧装置 (TECHMENZ SHY-106AT, 淄博泰雷兹电子有限公司), 麻醉机 (mind-ray A7)。参数设置:高流量鼻塞选择小于鼻孔内径 50% 的最大型号,吸氧浓度 100%、温度 37 °C、流量 60 L/min。本研究经山东大学第二医院 (批准号: KYLL-2022-577) 伦理审查,所有患者本人或授权委托人签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 术前准备

术前手术室外候诊区开放外周静脉通路,经氧气雾化吸入局麻药 1%利多卡因 10 mL,采集动脉血

气分析(定义为 t_1 时间点)。麻醉前呼吸机开机备用,回路连接,备面罩通气,备喉罩,备气管插管包。患者入纤支镜诊疗室后连接监护(无创袖带血压、心电图、经皮指脉氧)。

1.2.2 麻醉诱导

入室即接入鼻导管开始 THRIVE 通气,患者口含开口器,嘱患者连续深呼吸,开始逐步诱导给药,记录诱导开始时间,待患者意识肌力均消失后由口腔置入支气管镜开始诊疗。诱导用药:丙泊酚(竞安) 2 mg/kg,地佐辛 5 mg,昂丹司琼 8 mg,瑞芬太尼 1 μ g/kg,氯化琥珀胆碱 1~1.5 mg/kg 分次给药。

1.2.3 麻醉维持与复苏

术中持续泵注丙泊酚 5~8 mg/(kg·h),瑞芬太尼 2~4 μ g/(kg·h),患者有明显气道反应时追加瑞芬太尼 40~80 μ g,琥珀胆碱 15~30 mg。当 T 组患者 SpO_2 低于 95% 时,提举下颌,以开放气道。当 SpO_2 低于 90%,暂停操作,使用面罩机械辅助通气至 100%,然后更改通气方式为喉罩通气。术毕停药,并采集动脉血气分析(定义时间点为 t_2)。待其苏醒结束麻醉,并记录患者麻醉总时长(t)。手术次日病房随访患者并发症。

1.3 统计学处理

使用 IBM SPSS Statistics 28.0 软件,计数资料以例数(%)表示,计量资料若符合正态分布采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,若为非正态分布则用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示。计数资料组间比较采用 χ^2 检验。计量资料变量采用配对 t 检验进行单因素分析,变量间相关性分析采用 Pearson 相关分析及线性回归分析。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 一般资料

共纳入病例 32 例(男女各 16 例),中位年龄 52 岁,平均身高 (165.34 \pm 8.53) cm,平均体质量 (67.83 \pm 12.85) kg, BMI (24.69 \pm 3.47)。所有患者麻醉及手

术顺利,全程生命体征平稳,未见明显并发症,未见苏醒延迟的情况,术后 24 h 随访无麻醉相关并发症,除咽痛咳血之外无其他新发不适。术前术后生命体征(收缩压、舒张压、心率)差异无统计学意义($P_{\text{收缩压}}=0.683, P_{\text{舒张压}}=0.314, P_{\text{心率}}=0.253$)。

2.2 通气效果

32 例患者中 5 例因氧合下降改为喉罩通气,占比 15.62%,其中 4 例为鼾症,其余 27 例平均麻醉时长(t)(20.75 ± 6.70) min(11~40 min),期间无机械辅助通气, SpO_2 持续维持 95% 以上。

5 例改为喉罩通气的患者中 4 例术前均有鼾症病史,在麻醉诱导后 5 min 左右开始脉氧下降,最低 90%,立即经面罩通气后改为喉罩通气。另有 1 例年轻女性否认长期睡眠打鼾,但在诱导约 5 min 后

经皮指脉氧开始缓慢下降,提举下颌后可回升,至第 10 min,因需要多次抬下颌,改为喉罩通气, SpO_2 最低 85%。可见,鼾症可能是影响 THRIVE 通气效果的独立因素。

2.3 血气结果

经 THRIVE 通气的全麻后,患者 PO_2 略升高,但无统计学差异(182.21 ± 97.66 vs $140.38\pm 87.56, P=0.115$),见表 1,且术后动脉血气 PO_2 与麻醉时长(t)不存在趋势线性关系($R^2=0.002, P=0.806$),见表 2。但麻醉后 PCO_2 和 TCO_2 均升高明显,PH 降低也明显,BE 值差异无统计学意义,见表 1。经回归分析, CO_2 升高情况和 PH 降低情况均与麻醉时长(t)呈正相关,且相关性显著。见表 2。

表 1 患者术前术后血气结果对比

Table 1 Arterial blood gas analysis of preoperation compared to postoperation

血气项目	t1(28 例)	t2(28 例)	t	P
PO_2	140.38 ± 87.56	182.21 ± 97.66	1.626	0.115
PCO_2	40.14 ± 10.32	70.28 ± 12.57	8.953	<0.001
TCO_2	27.54 ± 2.64	31.69 ± 2.54	7.735	<0.001
PH	7.43 ± 0.08	7.23 ± 0.06	9.830	<0.001
BEec	2.07 ± 2.21	1.90 ± 2.19	0.522	0.606

表 2 PCO_2 及 PH 变化值与麻醉时长 t 线性相关性分析

Table 2 Linear correlation analysis between changes in PCO_2 /PH and anesthesia duration t

项目	Pearson	P	R^2	P
$PO_2 t_2-t_1$	0.050	0.806	0.002	0.806
PCO_2 变化值-t	0.615	<0.001	0.325	0.001
PH 变化值-t	-0.514	0.004	0.264	0.004

3 讨论

THRIVE 源于 HFNC,能使患者在不呼吸动作的情况下提供充足的氧合,同时排出一定的 CO_2 ^[4-5]。最早由 Patel 等^[2]于 2015 年应用于困难气道患者的咽喉部手术,取得了良好的效果,最长无呼吸氧合时间达 65 min,开创了 THRIVE 麻醉的先河。其生理学机制^[6-7]主要为:通过高流量加温湿化的高浓度氧进入气道的正压湍流效应冲刷气道和肺泡,同时氧气溶于血液的速度远大于血中 CO_2 解离入肺泡的速度(约 25 倍^[8])而形成肺泡负压,使氧气被动进入肺泡。另外,心源性震荡^[9]可增加 CO_2 清除率。

本研究中,THRIVE 通气技术能够保证绝大多数气道通畅患者在整个麻醉过程中的氧合水平达到术前自主吸氧状态,整个过程可以满足手术的需要,且不会导致可见的并发症。样本中最大无呼吸氧合时间达 40 min。5 例改为喉罩通气的患者中,有 4 例

为鼾症患者,说明只要选择合适的筛选条件,便可以大大降低更改通气方式的可能(由 15.62% 降为 3.57%)。

国内外已有 THRIVE 成功应用于全麻的案例:该技术被大量应用于困难气道麻醉诱导期^[10-12]和苏醒拔管后的过渡阶段^[13],以及一些手术时间短的外科手术^[14]和其他需要涉及气道的手术^[15-17],均取得了良好的效果。2022 年 RAN 等^[16]纳入 120 例患儿的非劣性研究显示,在口腔和上气道严格隔离的情况下,患儿接受深度镇静下的非卧床口腔手术,患者维持氧合和通气方面,THRIVE 取得了不逊色于 LMA 的效果,这是目前样本量最大的单中心研究。

对于有鼾症的患者维持时间并不长,4 例鼾症患者无一例外在诱导后 5 min 左右便出现脉氧下降。因为 THRIVE 技术并没有创造新的气道,其实施依赖于气道本身的通畅^[12],当使用肌松药物全麻后,鼾症患者舌后坠导致上呼吸道闭合,而 THRIVE

工作所产生的正压湍流和肺泡生理性负压作用则依赖于气道本身的通畅^[12]。有报道^[11]虽然 THRIVE 可以延长肥胖患者无呼吸氧合时间,但其整体时间仍然是相对较短的,所以,有气道狭窄、过度肥胖、鼾症的患者,均不应完全依赖 THRIVE 通气。

纤维支气管镜诊疗操作侵入气管,刺激较强,目前主要有以下麻醉方案^[3]:①局部麻醉,多数患者难以达到完全表麻,患者难以接受,术中呛咳明显,影响纤支镜诊疗效果;②镇静/镇痛,虽然患者术中意识消失,但是由于对呼吸过度抑制的担心,镇痛镇静药物的使用受到一定程度限制,且患者术中仍存在呛咳反应;③插管/喉罩全麻:解决了呼吸和镇痛之间的矛盾,术者可在机械通气的保护下操作,但麻醉过程复杂,对患者咽喉部有一定的损伤,尤其麻醉与操作共用气道,互相影响。而 THRIVE 通气手段具有以上方案均无法达到的优势:①可以使患者在不插管的情况下实施全身麻醉,既兼具了镇静/镇痛的简洁操作,又达到了插管/喉罩全麻的麻醉效果;②提高了患者的术中及术后舒适性;③因解放了麻醉中的呼吸道占用,使纤支镜的操作更加方便;④由于操作简便,麻醉和纤支镜操作几乎可以同步进行,可以明显缩短麻醉诱导时间,并进一步缩短总麻醉时长,减少麻醉药物使用量。

THRIVE 技术虽然在一定时间内能够保障患者的氧合,但是其仍存在 CO₂ 蓄积的风险。Gustafsson 等^[5]研究了 31 例 THRIVE 无呼吸氧合全麻患者的 PCO₂、PH 和 PO₂,结果与本研究有相似的变化趋势。THRIVE 的基本原理为无呼吸氧合:由于血红蛋白对 O₂ 的高亲和力,O₂ 以约 250 mL/min 的速度从肺泡中被摄取;血液中的缓冲系统和 CO₂ 的高溶解性使非通气情况下的 CO₂ 仅约 10 mL/min 释放入肺泡。THRIVE 改变了常规的气体交换模式,由原来的呼气相+吸气相转变为无呼吸动作的单纯氧合,这也使得 CO₂ 无法通过呼气动作而排出体外,蓄积在肺泡内。而肺泡内 PCO₂ 的升高使血液中需要更高的 PCO₂ 才能释放入肺泡,从而升高动脉 PCO₂。患者的血气指标也印证了这一点:PCO₂ 升高情况与麻醉时长(t)呈正相关。随着血液中 PCO₂ 的升高,更多的 CO₂ 溶于血液形成 H₂CO₃,并进一步解离为 H⁺ 和 HCO₃⁻,使 PH 降低。血中 H₂CO₃·HCO₃⁻+H⁺ 离子对的升高理论上会导致 BE 的变化,但是由于呼吸性酸中毒的代谢性调节需要经肾脏代谢,而手术操作时间大多很短(多数在半小时内),肾脏的代谢性调节并未充分发挥作用。而术后随着自主呼吸的恢复,患者又没有呼吸道梗

阻的情况,体内 CO₂ 很快经肺泡排出,可以达到生理平衡状态。

CO₂ 蓄积可能引起毛细血管扩张、心率增快、血压下降、离子紊乱等变化,甚至会导致 CO₂ 麻醉、脑水肿、CO₂ 排出综合征等^[18-19]。但 THRIVE 中的 PCO₂ 升高是不能与缺氧所致的 PCO₂ 升高相提并论的,而更类似于 CO₂ 人工气腹所致的 PCO₂ 升高,尤其这只是短时间的升高。在麻醉过程中的肺保护性通气策略中引入了允许性高碳酸血症的概念^[20]。目前公认 PaCO₂ 急性升高低于 80 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa),pH>7.15 时,对机体危害不大,不会引起明显的并发症^[18,20]。而 PaCO₂ 通常可耐受水平为 90~100 mmHg,有时甚至高达 100~120 mmHg 而不出现严重不良反应^[21]。pH 值一般推荐≥7.20^[22]。这些数据可以作为控制 PCO₂ 升高水平的参照。本研究中行 THRIVE 的患者中,PCO₂>80 mmHg 者仅 4 例,且都是麻醉时长较长的病例。可见,只要合理控制手术时间,THRIVE 通气技术并不会使 PCO₂ 过高,且不会带来明显的不良反应。有研究显示一定程度的高碳酸血症可以减轻肠、脑的缺血再灌注损伤,提高脑氧饱和度,降低术后认知功能障碍的发生率^[23-26]。甚至高碳酸血症对脑血管自动调节功能(cerebrovascular autoregulation, CVA)并无不利影响,反倒是低碳酸血症与 CVA 受损有关^[27]。另有动物实验证实 CO₂ 能加速扩张冠状动脉侧支血管并促进缺血区冠状动脉侧支循环的建立^[28]。

根据心源性震荡^[9]原理,人为增加胸腔的震荡,或许能够降低 PCO₂ 升高的速率。或者在术中间隙通过按压胸廓而达到类似呼气的动作,也应该能增加 CO₂ 排出,从而延长其应用时限。

4 结 论

在全麻纤支镜手术中,应用 THRIVE 通气技术具有特殊的优势,能够在提供充足氧供的基础上,使操作更便捷,手术操作环境更舒适,缩短麻醉时长,且不会引起明显并发症。但其应用也有一定的限制条件,有鼾症等使气道狭窄因素的患者未获得满意的无呼吸氧合时间。该技术会导致术中 CO₂ 蓄积,限制了其手术时间。如何促进 THRIVE 期间肺内 CO₂ 的排除,是未来推广 THRIVE 临床应用需要解决的问题。

参考文献:

- [1] 孙晓璐,左明章. THRIVE 临床麻醉应用的研究进展:经鼻高流量湿化氧疗的新技术[J]. 中华麻醉学杂志,

- 2021 (4) : 506-512. doi: 10.3760/cma.j.cn131073.20210104.00428
- Sun XL, Zuo MZ. Progress in application of THRIVE in clinical anesthesia: a new technique of high-flow nasal cannula [J]. Chinese Journal of Anesthesiology, 2021 (4) : 506-512. doi: 10.3760/cma.j.cn131073.20210104.00428
- [2] Patel A, Nouraei SAR. Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange (THRIVE) : a physiological method of increasing apnoea time in patients with difficult airways [J]. Anaesthesia, 2015, 70 (3) : 323-329. doi:10.1111/anae.12923
- [3] 邓小明, 王月兰, 冯艺, 等. (支) 气管镜诊疗镇静/麻醉专家共识 (2020 版) [J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2021, 42 (8) : 785-794
- Deng XM, Wang YL, Feng Y, et al. Expert consensus on sedation and anesthesia for bronchoscopy (2020 version) [J]. International Journal of Anesthesiology and Resuscitation, 2021, 42 (8) : 785-794
- [4] Lyons C, Callaghan M. Apnoeic oxygenation with high-flow nasal oxygen for laryngeal surgery: a case series [J]. Anaesthesia, 2017, 72 (11) : 1379-1387. doi:10.1111/anae.14036
- [5] Gustafsson IM, Lodenius Å, Tunelli J, et al. Apnoeic oxygenation in adults under general anaesthesia using Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange (THRIVE) - a physiological study [J]. Br J Anaesth, 2017, 118 (4) : 610-617. doi:10.1093/bja/aex036
- [6] Lyons C, Callaghan M. Uses and mechanisms of apnoeic oxygenation: a narrative review [J]. Anaesthesia, 2019, 74 (4) : 497-507. doi:10.1111/anae.14565
- [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] Frumin MJ, Epstein RM, Cohen G. Apneic oxygenation in man [J]. Anesthesiology, 1959, 20: 789-798. doi:10.1097/0000542-195911000-00007
- [9] Hermez LA, Spence CJ, Payton MJ, et al. A physiological study to determine the mechanism of carbon dioxide clearance during apnoea when using transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange (THRIVE) [J]. Anaesthesia, 2019, 74 (4) : 441-449. doi:10.1111/anae.14541
- [10] Badiger S, John M, Fearnley RA, et al. Optimizing oxygenation and intubation conditions during awake fibre-optic intubation using a high-flow nasal oxygen-delivery system [J]. Br J Anaesth, 2015, 115 (4) : 629-632. doi:10.1093/bja/aev262
- [11] Guy L, Christensen R, Dodd B, et al. The effect of transnasal humidified rapid-insufflation ventilator exchange (THRIVE) versus nasal prongs on safe apnoea time in paralysed obese patients: a randomised controlled trial [J]. Br J Anaesth, 2022, 128 (2) : 375-381. doi:10.1016/j.bja.2021.10.048
- [12] 中国医师协会急诊医师分会, 中华医学会急诊医学分会, 中国急诊专科医联体, 等. 急诊成人经鼻高流量氧疗临床应用专家共识 [J]. 中华急诊医学杂志, 2021, 30 (9) : 1041-1050. doi:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2021.09.001
- [13] Vourc'h M, Huard D, Feuillet F, et al. Preoxygenation in difficult airway management: high-flow oxygenation by nasal cannula versus face mask (the PREOPTIDAM study). Protocol for a single-centre randomised study [J]. BMJ Open, 2019, 9 (4) : e025909. doi:10.1136/bmjopen-2018-025909
- [14] Frassanito L, Piersanti A, Vassalli F, et al. Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange (THRIVE) as unique technique for airway management during operative hysteroscopy under general anesthesia: a registered feasibility pilot cohort study [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2022, 26 (17) : 6208-6214. doi:10.26355/eurrev_202209_29638
- [15] Bharathi MB, Anil Kumar MRA, Prakash BG, et al. New visionary in upper airway surgeries-THRIVE, a tubeless ventilation [J]. Indian J Otolaryngol Head Neck Surg, 2021, 73 (2) : 246-251. doi:10.1007/s12070-021-02491-2
- [16] Ran LK, Huang GJ, Yao Y, et al. Efficacy of high-flow nasal oxygenation compared with laryngeal mask airway in children undergoing ambulatory oral surgery under deep sedation: a randomized controlled non-inferiority trial [J]. Front Med, 2022, 9: 1001213. doi:10.3389/fmed.2022.1001213
- [17] Saad M, Albi-Feldzer A, Taouachi R, et al. High-flow nasal oxygen for suspension laryngoscopy: a multicenter open-label study [J]. J Int Med Res, 2022, 50 (12) : 3000605221140685. doi:10.1177/03000605221140685
- [18] 汤龙信, 丁璐, 王金保. 允许性高碳酸血症临床研究进展 [J]. 临床误诊误治, 2019, 32 (5) : 101-108. doi:10.3969/j.issn.1002-3429.2019.05.022
- TANG Longxin, DING Lu, WANG Jinbao. Clinical research progress of permissive hypercapnia [J]. Clinical Misdiagnosis & Mistherapy, 2019, 32 (5) : 101-108. doi:10.3969/j.issn.1002-3429.2019.05.022
- [19] Kahl U, Yu YY, Nierhaus A, et al. Cerebrovascular autoregulation and arterial carbon dioxide in patients with acute respiratory distress syndrome: a prospective observational cohort study [J]. Ann Intensive Care, 2021, 11 (1) : 47. doi:10.1186/s13613-021-00831-7

- [20] Feihl F, Perret C. Permissive hypercapnia. how permissive should we be? [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 1994, 150 (6 Pt 1): 1722-1737. doi:10.1164/ajrccm.150.6.7952641
- [21] Fuchs H, Rossmann N, Schmid MB, et al. Permissive hypercapnia for severe acute respiratory distress syndrome in immunocompromised children: a single center experience[J]. *PLoS One*, 2017, 12 (6): e0179974. doi:10.1371/journal.pone.0179974
- [22] 何权瀛. 允许性高碳酸血症及其应用[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 1996, 19(2): 112-114
- [23] 杨宝锋, 王婕, 李长生, 等. 允许性高碳酸血症对肠缺血再灌注大鼠脑损伤的影响[J]. *中华麻醉学杂志*, 2020, 40 (12): 1516-1519. doi: 10.3760/cma.j.cn131073.20200822.01226
 YANG Baofeng, WANG Jie, LI Changsheng, et al. Effect of permissive hypercapnia on brain damage induced by intestinal ischemia-reperfusion in rats[J]. *Chinese Journal of Anesthesiology*, 2020, 40(12): 1516-1519. doi:10.3760/cma.j.cn131073.20200822.01226
- [24] 邵艳梅, 宋洁, 杨梦思, 等. 允许性高碳酸血症对老年胸腔镜食管癌根治术患者术后谵妄的影响[J]. *天津医药*, 2023, 51(3): 282-285. doi:10.11958/20220699
 SHAO Yanmei, SONG Jie, YANG Mengsi, et al. The effect of permissibility hypercapnia on postoperative delirium in elderly patients undergoing thoracoscopic radical surgery of esophageal cancer [J]. *Tianjin Medical Journal*, 2023, 51 (3): 282-285. doi: 10.11958/20220699
- [25] Cerebral Oxygenation and Neurological Outcomes Following Critical Illness (CONFOCAL) Research Group, Canadian Critical Care Trials Group, Wood MD, et al. Low brain tissue oxygenation contributes to the development of delirium in critically ill patients: a prospective observational study[J]. *J Crit Care*, 2017, 41: 289-295. doi:10.1016/j.jcrc.2017.06.009
- [26] Ni C, Xu T, Li N, et al. Cerebral oxygen saturation after multiple perioperative influential factors predicts the occurrence of postoperative cognitive dysfunction [J]. *BMC Anesthesiol*, 2015, 15: 156. doi: 10.1186/s12871-015-0117-6
- [27] Idelchik GM, Varon J. Hypocarbia, therapeutic hypothermia, and mortality: the Krebs cycle is key[J]. *Am J Emerg Med*, 2014, 32 (6): 643-644. doi:10.1016/j.ajem.2013.12.006
- [28] 张昌来, 宋惠民, 张祥玉, 等. CO₂ 对犬缺血心肌侧支循环形成的影响及对心功能的保护作用[J]. *山东大学学报(医学版)*, 2006, 44(2): 166-169. doi:10.3969/j.issn.1671-7554.2006.02.014
 ZHANG Changlai, SONG Huimin, ZHANG Xiangyu, et al. Effects of CO₂ on the development of coronary collateral circulation within ischemic myocardium and the protection of cardiac function [J]. *Journal of Shandong University (Health Science)*, 2006, 44 (2): 166-169. doi:10.3969/j.issn.1671-7554.2006.02.014

(编辑:王磊)