

# 窒息氧合技术的临床应用研究

柴旋<sup>1</sup>, 王忠慧<sup>2</sup>

(1.昆明医科大学研究生院, 云南 昆明 650100;

2.云南省肿瘤医院麻醉手术科, 云南 昆明 650100)

**摘要:**窒息氧合是在无自主呼吸或机械通气的情况下进行的被动氧合方式。自发现半个多世纪以来, 鉴于其在气道管理中延长无通气安全时限的潜力, 尤其随着高流量鼻导管(HFNO)等设备的出现, 该技术引起了广大研究者的兴趣。目前关于窒息氧合技术的研究主要包括在麻醉诱导、危重症护理及呼吸内科中的应用, 还涵盖在困难气道、肥胖、产科和儿科等亚人群中的应用。然而, 随着医学亚专科水平的进步, 对麻醉管理技术也提出了更高的要求。本文对目前国内外学者对窒息氧合过程中气体交换机制的研究及其在临床各领域的应用, 包括该技术在临床应用中的优劣势及改进措施进行综述, 旨在为窒息氧合技术更加合理、安全地应用于临床加强证据基础, 同时为临床麻醉医师提供新的研究思路。

**关键词:**窒息氧合; 无通气安全时限; 气道管理

中图分类号: R614

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-1959.2024.02.038

文章编号: 1006-1959(2024)02-0177-05

## Study on Clinical Application of Asphyxia Oxygenation Technology

CHAI Xuan<sup>1</sup>, WANG Zhong-hui<sup>2</sup>

(1. Graduate School of Kunming Medical University, Kunming 650100, Yunnan, China;

2. Department of Anesthesia Surgery, Yunnan Cancer Hospital, Kunming 650100, Yunnan, China)

**Abstract:** Apneic oxygenation is passive oxygenation in the absence of spontaneous breathing or mechanical ventilation. Since its discovery more than half a century ago, the technique has attracted widespread interest due to its potential to extend the safe duration of non-ventilation in airway management, especially with the advent of devices such as high-flow nasal catheters. Current research on apneic oxygenation technology includes applications in anesthesia induction, critical care, and respiratory medicine, as well as in subpopulations with difficult airways, obesity, obstetrics, and pediatrics. However, with the development of medical subspecialty level such as surgery, higher requirements are put forward for anesthesia management techniques. This article reviews the current domestic and foreign scholars' research on the gas exchange mechanism in the process of asphyxial oxygenation and its application in various clinical fields, including the advantages and disadvantages of this technology in clinical application and improvement measures, aiming to strengthen the evidence base for the more reasonable and safe application of asphyxial oxygenation technology in clinical practice, and provide new research ideas for clinical anesthesiologists.

**Key words:** Apneic oxygenation; Safe periods of apnea; Airway management

1667 年, Hook M<sup>[1]</sup>将导管置入无自主呼吸的犬肺内并持续输氧, 发现可有效延长其生命, 这是人类对窒息氧合现象的首次描述。1951 年, Enghoff H 等<sup>[2]</sup>在狗的实验中将此现象命名为“扩散呼吸”, 并强调成功的必要条件是“肺内和死腔中高浓度的氧气、通畅的气道和充分的循环”, 这些依然是目前研究理论的基石。但该现象提出后引起了争议, 部分学者认为此命名会对其产生机制形成误解。1956 年, Nahas GG 等<sup>[3]</sup>在研究缺氧对肺循环影响的动物实验

中首次提出了“窒息氧合(apneic oxygenation)”的概念, 这一理念的提出得到了广泛认可。遗憾的是, 由于条件限制及伦理原则, 该理念尚未得以在人类研究中证实。1959 年, Frumin MJ 等<sup>[4]</sup>首次在 8 例择期手术患者中应用了窒息氧合技术, 研究发现给予 8 L/min 氧流量充分给氧 30 min, 患者无通气安全时限最长可达 53 min。自此之后, 关于窒息氧合技术的安全性和有效性的探索成为研究热点。本文就窒息氧合技术的生理机制及其临床应用展开综述, 以期为窒息氧合技术的规范化使用提供更多证据及启发。

### 1 窒息氧合技术的作用机制

呼吸暂停时二氧化碳(CO<sub>2</sub>)从肺泡内排出量仅为 10 ml/min, 而氧气(O<sub>2</sub>)的消耗量为 250 ml/min, 肺泡内因此产生一个负压差(-240 ml/min), 负压使口咽部的气体移向肺泡。它补充了肺泡内消耗的

基金项目: 2022 年昆明医科大学研究生创新基金(编号: 2022S090)

作者简介: 柴旋(1996.7-), 女, 云南宣威人, 硕士研究生, 主要从事窒息氧合技术在胸腔镜肺段切除术中的进展研究

通讯作者: 王忠慧(1968.9-), 女, 云南宣威人, 硕士, 主任医师, 主要从事胸科手术的临床麻醉管理研究

O<sub>2</sub>, 因此肺泡氧浓度可在很长一段时间内保持较高水平, 该现象被命名为“无通气质量流”<sup>[5]</sup>。在该理论中, 随着时间的推移, 肺泡中 CO<sub>2</sub> 的积累降低了 O<sub>2</sub> 向肺泡转移的压力梯度, 并限制了“无通气质量流”的持续时间<sup>[6]</sup>。然而, 窒息氧合过程中肺泡内依旧存在 CO<sub>2</sub> 的清除, 降低了肺泡内压力, 这可以促进 O<sub>2</sub> 大量进入肺泡或血液中 CO<sub>2</sub> 的进一步清除。此时, “无通气质量流”无法解释该现象。因此, 有学者提出了“心源性振荡”理论。心源性振荡是由心脏收缩引起心脏体积的变化, 使心脏周期中胸腔内压发生改变, 从而促进了气体运动, 有助于呼吸暂停期间的气体交换<sup>[7]</sup>。但在无意识状态下, 其对整体气体交换的贡献程度仍然未知。

## 2 窒息氧合技术的方法

任何能将氧气输入入呼吸道的设备都可以实现窒息氧合, 包括面罩、鼻导管、鼻咽管、口咽管、声门上通气设备、硬支气管镜、气管导管等。氧气输入也可以直接通过视频喉镜中的通道完成<sup>[8]</sup>。最新报道的窒息氧合方法包括改良鼻咽管、口咽氧化装置 (oropharyngeal tube oxygenation device, ODD) 及经鼻加湿快速通气交换技术 (transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange, THRIVE)。不同窒息氧合方式均依赖于正常生理鼻腔及上呼吸道结构提供输氧通道, 因此, 应用于颅面部创伤出血、颅底骨折、鼻咽腔发育畸形堵塞患者具有一定的安全隐患。目前对于各种窒息氧合方式的临床研究不胜枚举, 对其疗效的报道也众说纷纭, 尚缺乏大样本多中心的随机对照研究证实。临床应用中需根据患者病情、科室硬件设施及医师临床经验综合评估合理选择最佳氧疗方式。

## 3 窒息氧合技术的临床应用

3.1 窒息氧合技术在全身麻醉诱导期的应用 麻醉诱导是全麻过程中极为重要的一环, 临床中诱导后“不能插管、不能通气”极大增加了患者低氧血症及其并发症的风险, 对麻醉医生而言, 无疑是一项巨大的考验。2022 年美国麻醉医师协会 (American Society of Anesthesiologists, ASA) 困难气道管理实践指南建议<sup>[9]</sup>, “不能插管、不能通气”的情况下经声门上通气装置行窒息氧合可改善血氧饱和度 (B4-B 类证据)。视频喉镜因其可视化及操作简便性, 常作为困难气道的处理工具。然而视频喉镜气管插管中分泌物过多视野受限导致插管时间延长, 增加了诱

导后低氧风险。此外, 反复多次插管口腔分泌物及血液增多进一步增加插管难度。为了解决这一临床问题, Wang HY 等<sup>[10]</sup>设计了氧气输送装置与视频喉镜联合用于气管插管, 并在人体模型中评价了不同氧流量下的气管内实际氧浓度及唾液清除效果, 研究发现该氧气输送装置可很好的与视频喉镜气管插管结合, 氧流量 6~8 L/min 时是唾液清除的最佳选择, 在清醒纤支镜气管插管研究中得出了相似结论<sup>[11]</sup>。窒息氧合技术在提高吸入氧浓度的同时可实现高质量的可视化, 提高了安全性。

3.2 窒息氧合技术在上呼吸道手术中的应用 显微喉镜手术需要共用气道, 这就需要外科医生与麻醉师之间的密切合作, 以优化手术条件。窒息氧合利用无通气质量流的原理, 在呼吸暂停条件下维持肺泡毛细血管的氧合, 同时最大限度地减少喉头运动。传统观念认为<sup>[12]</sup>, 在无管化喉外科手术中, 不建议通过开放供氧系统如鼻导管输送 O<sub>2</sub>, 因为在激光或电灼使用时增加了气道着火的可能性。近年研究发现<sup>[13]</sup>, 高流量鼻导管 (high flow nasal oxygen therapy, HFNO) 可获得足够的无通气安全时限, 且 30% 氧浓度可保证激光安全, 降低火灾风险, 在满足手术需求的同时保证患者氧合。低流量气管内窒息氧合 (0.5~1 L/min) 组与 HFNO 组具有相同维持氧合的能力<sup>[14]</sup>。窒息氧合技术可为外科医生提供完全暴露、通畅和高度稳定的手术野, 在改善术中氧合的同时, 可缩短悬吊时间, 减少悬吊调整次数, 降低术后疼痛评分<sup>[15]</sup>。与气管插管和喷射通气相比, 更有利于患者的早期康复, 在门诊喉部手术中具有潜在的经济效益。气道通畅性是窒息氧合技术在上呼吸道手术中应用的前提, 无论选择何种方法管理气道, 都应时刻关注手术操作进程及患者情况, 及时处理突发情况。氧浓度及流量的设定应结合患者情况及手术要求个体化选择, 在维持氧合的基础上最大程度满足手术需求。

3.3 窒息氧合技术在日间手术气道管理中的应用 日间麻醉是麻醉学的分支学科, 要求麻醉医生在创造可接受的手术条件的同时, 保证患者苏醒迅速及迅速康复出院。气道管理是其中的重要环节, 近年来, 窒息氧合技术广泛应用于日间麻醉的气道管理中。涵盖了宫腔镜检查、胃肠镜检查、硬性支气管镜检查、内镜超声、无抽搐电休克治疗、心内电生理检查与微波消融术、经皮肺穿刺活检等领域<sup>[16-18]</sup>。其优

点有:可满足手术期间充分的气体交换,无需额外气道干预措施;降低恶心呕吐、呃逆及苏醒期呛咳的发生率,患者舒适性更高;在气道操作最小化的同时保证了安全性,提高患者及外科医生满意度<sup>[19,20]</sup>。值得注意的是,日间麻醉选择该技术作为术中通气方式时,建议使用全凭静脉麻醉维持。选择静吸复合麻醉或全凭吸入麻醉时,其断断续续的通气管理无法保证足够的麻醉深度,长时间可能会增加术中窒息的发生率。此外,其气道密闭性欠佳,吸入麻醉药的使用存在手术室污染风险并增加了医务人员自身安全隐患。

**3.4 窒息氧合技术在 ICU 及呼吸内科中的应用** 危重监护病房(intensive care unit,ICU)患者病情复杂,通常合并多种基础疾病(如心肺功能不全、凝血功能异常、高应激状态、高龄、肥胖),极大地增加了气道管理难度。此外,ICU 及呼吸内科患者往往需要长时间呼吸支持,通气方式的选择对肺部并发症及患者预后转归显得尤为重要。近年来,有研究者发现窒息氧合技术显著降低了 ICU 紧急气管插管过程中低氧血症的发生率<sup>[21]</sup>。而在急性低氧性呼吸衰竭的患者中,无创通气(noninvasive ventilation,NIV)或 HFNO 预氧并没有改变严重低氧或其他并发症的风险。二次分析表明在中-重度低氧血症患者中,与 HFNO 相比,无创通气预氧后严重氧饱和度降低的发生率较低、最低脉搏血氧饱和度明显升高,可能是因为高流量下产生 1~3 cm H<sub>2</sub>O 的呼气末正压进行窒息氧合的效果不如无创通气提供的高正压<sup>[22]</sup>。然而,上述结论似乎并不适用于稳定期慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease,COPD)患者。初步证据表明<sup>[23]</sup>,短期(2 h 内)应用 HFNO 可改善 COPD 患者的高碳酸血症,减少生理死腔,减轻呼吸肌工作,改善气道清除能力并具有良好的耐受性。长期(6 周~1 年)HFNO 治疗可进一步提高稳定期 COPD 患者的生活质量,降低因急性加重而再次入院的风险<sup>[24]</sup>。但不能减少插管需求,且较高的 HFNO 气体流量会导致大量的 O<sub>2</sub> 消耗和医疗费用的增加<sup>[25]</sup>。

**3.5 窒息氧合技术在 COVID-19 中的应用** 2019 年 COVID-19 感染者面临着与病毒性肺炎和随后的呼吸衰竭的风险。与 COVID-19 感染相关的急性呼吸衰竭患者的管理策略仍在发展。在病毒流行早期,人们担心使用 HFNO 会增加气溶胶的扩散,增加卫

生保健工作者传播疾病风险<sup>[26]</sup>。许多医疗机构因此放弃了将 HFNO 作为治疗重症 COVID-19 肺炎患者的工具,使许多原本受益于 HFNO 的患者进行早期插管和机械通气。McGrath JA 等<sup>[27]</sup>在体外模型中观察了不同气体流量下生物气溶胶的释放情况,并对不同距离的气溶胶扩散进行了评估,发现 HFNO 并没有产生比正常呼吸更高的颗粒浓度,患者使用吸氧面罩可以减少释放到周围环境的患者源性生物气溶胶的数量,从而降低医务人员传播的风险。

更多证据表明,HFNO 可减少有创机械通气的需要<sup>[28,29]</sup>,缩短了临床恢复时间<sup>[30]</sup>,降低呼气末二氧化碳分压,且患者接受度和舒适性更高,但总体死亡率无明显差别<sup>[31]</sup>。在缺乏强有力的国际建议及专家共识的情况下,不同国家或地域、不同 ICU 医护对 HFNO 失败的判定标准及气管插管时机存在差异。因此,不同的研究中对 HFNO 对危重型 COVID-19 感染患者应用疗效评估存在差异,后续需更大规模的多中心临床研究证实。在危重型 COVID-19 感染患者呼吸支持中,应以患者病情为基础,结合医院科室设备实际情况及人员操作熟练度,个体化选择氧疗及通气方式,使患者临床预后转归获益最大化。

**3.6 窒息氧合技术在临床麻醉中的应用** 麻醉学科的进步与外科的发展相辅相成,外科新术式的开展、加速康复外科(enhanced recovery after surgery,ERAS)理念的贯彻、微创外科技术的实施均离不开麻醉的发展,同时也对临床麻醉工作提出了新的要求。“无管化麻醉”作为 ERAS 的重要环节,有证据表明 THRIVE 的应用可延长无管化麻醉的安全通气时间<sup>[32]</sup>。利用这个优势,许多医疗机构成功开展了无管化麻醉,尤其是在声门下狭窄等共用气道的短小手术中。HFNO 可在呼吸暂停的情况下,提供满意的气体交换,实现气管重建术的“无管化麻醉”,且无出血、血胸、气胸、气压伤等并发症<sup>[33]</sup>。此外,窒息氧合还可在单肺通气(one lung ventilation,OLV)过程中应用于非通气肺,改善 OLV 术后肺氧合功能,减轻术后全身和非通气肺的炎症和氧化应激反应,对肺组织起到有效的保护作用。

## 4 总结

窒息氧合技术可用于不同的临床环境,可作为一个完善的气道管理计划的组成部分,降低缺氧的可能性。窒息氧合是氧合的补充手段,而不是气道管理的主要技术,可延长患者的无通气安全时限,

直到获得更可靠的气体交换途径,但它不能彻底代替气道管理方法,目前没有证据表明在气道危机中可以依赖它。对窒息氧合技术的热情需要伴随着谨慎的态度和更大程度的科学严谨,尤其一些在新兴的使用领域,如“无管化麻醉”。此外,还需进一步评估最有可能从该技术中获益的人群。最后,窒息氧合技术不同方法的选择、氧流量和吸氧浓度对疗效的影响、CO<sub>2</sub>的清除方法及其在降低肺损伤风险方面的潜力等问题尚无明确定论,需在未来研究中找到答案,为窒息氧合技术的规范化使用提供有力证据。

#### 参考文献:

- [1]Hook M.An account of an experiment made by Mr. Hook, of preserving animals alive by blowing through their lungs with bellows [J].Philosophical Transactions of the Royal Society of London,1666,2:539–540.
- [2]Enghoff H,Holmdahl MH,Risholm L.Diffusion respiration in man[J].Nature,1951,168(4280):830.
- [3]Nahas GG.Effects of acute exposure to low oxygen tension on the circulation of vagotomized nonnarcotized dogs [J].J Appl Physiol,1956,9(1):65–68.
- [4]Frumin MJ,Epstein RM,Cohen G.Apneic oxygenation in man[J].Anesthesiology,1959,20:789–798.
- [5]Bartlett RG Jr,Brubach HF,Specht H.Demonstration of ventilatory mass flow during ventilation and apnea in man[J].J Appl Physiol,1959,14(1):97–101.
- [6]Höstman S,Engström J,Sellgren F,et al.Non-toxic alveolar oxygen concentration without hypoxemia during apnoeic oxygenation: an experimental study [J].Acta Anaesthesiol Scand, 2011,55(9):1078–1084.
- [7]West JB,Hugh-Jones P.Pulsatile gas flow in bronchi caused by the heart beat[J].J Appl Physiol,1961,16:697–702.
- [8]Windpassinger M,Plattner O,Gemeiner J,et al.Pharyngeal Oxygen Insufflation During AirTraQ Laryngoscopy Slows Arterial Desaturation in Infants and Small Children [J].Anesth Analg, 2016,122(4):1153–1157.
- [9]Apfelbaum JL,Hagberg CA,Connis RT,et al.2022 American Society of Anesthesiologists Practice Guidelines for Management of the Difficult Airway[J].Anesthesiology,2022,136(1):31–81.
- [10]Wang HY,Lin C,Chen CC,et al.Improvement in vocal-cord visualization with Trachway video intubating stylet using direct oxygen flow and effective analysis of the fraction of inspired oxygen: a bench study [J].J Clin Monit Comput,2022,36(6):1723–1730.
- [11]Schroeder DC,Wetsch WA,Finke SR,et al.Apneic laryngeal oxygenation during elective fiberoptic intubation – a technical simulation[J].BMC Anesthesiol,2020,20(1):300.
- [12]Apfelbaum JL,Caplan RA,Barker SJ,et al.Practice advisory for the prevention and management of operating room fires: an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Operating Room Fires [J].Anesthesiology, 2013,118(2):271–290.
- [13]Novakovic D,Sheth M,Fellner A,et al.Microlaryngeal Laser Surgery Using High-flow Nasal Ventilation at Two Oxygen Concentration Deliveries[J].Laryngoscope,2023,133(3):634–639.
- [14]O’Loughlin CJ,Phyland DJ,Vallance NA,et al.Low-flow apnoeic oxygenation for laryngeal surgery: a prospective observational study[J].Anaesthesia,2020,75(8):1070–1075.
- [15]Nekhendzy V,Saxena A,Mittal B,et al.The Safety and Efficacy of Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange for Laryngologic Surgery [J].Laryngoscope,2020,130(12):E874–E881.
- [16]Crewdson K,Heywoth A,Rehn M,et al.Apnoeic oxygenation for emergency anaesthesia of pre-hospital trauma patients[J].Scand J Trauma Resusc Emerg Med,2021,29(1):10.
- [17]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.
- [18]Shukla K,Parikh B,Kumar A,et al.Comparative evaluation of efficacy of oxygenation using high flow nasal cannula vs. conventional nasal cannula during procedural sedation for endoscopic ultrasound: A pilot study [J].J Anaesthesiol Clin Pharmacol,2021,37(4):648–654.
- [19]Kornafeld A,Fernandez-Bussy S,Abia-Trujillo D,et al.Humidified rapid-insufflation ventilatory exchange is a means of oxygenation during rigid bronchoscopy: A case series[J].Respirol Case Rep,2022,10(2):e0903.
- [20]王韶双,杜海亮,杜瑞妮,等.窒息氧合联合预充氧技术在无抽搐电休克治疗中的应用 [J].重庆医学,2022,51(20):3521–3524,3529.
- [21]Homberg MC,Bouman EA,Linz D,et al.High-flow nasal cannula versus standard low-flow nasal cannula during deep sedation in patients undergoing radiofrequency atrial fibrillation catheter ablation: a single-centre randomised controlled trial[J].Trials,2022,23(1):378.
- [22]Frat JP,Ricard JD,Quenot JP,et al.Non-invasive ventilation versus high-flow nasal cannula oxygen therapy with apnoeic oxygenation for preoxygenation before intubation of patients with acute hypoxaemic respiratory failure: a randomised, multi-centre, open-label trial [J].Lancet Respir Med,2019,7(4):303–

312.

[23]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.

[24]McKinstry S,Singer J,Baarsma JP,et al.Nasal high-flow therapy compared with non-invasive ventilation in COPD patients with chronic respiratory failure: A randomized controlled cross-over trial[J].Respirology,2019,24(11):1081-1087.

[25]Xia J,Gu S,Lei W,et al.High-flow nasal cannula versus conventional oxygen therapy in acute COPD exacerbation with mild hypercapnia: a multicenter randomized controlled trial [J]. Crit Care,2022,26(1):109.

[26]Lyons C,Callaghan M.The use of high-flow nasal oxygen in COVID-19[J].Anaesthesia,2020,75(7):843-847.

[27]McGrath JA,O'Sullivan A,Joyce M,et al.In vitro model for investigating aerosol dispersion in a simulated COVID-19 patient during high-flow nasal cannula treatment [J].Front Med (Lausanne),2022,9:1002659.

[28]Chavarria AP,Lezama ES,Navarro MG,et al.High-flow nasal cannula therapy for hypoxemic respiratory failure in patients with COVID -19 [J].Ther Adv Infect Dis,2021,8: 204993612111042959.

[29]Ait Hamou Z,Levy N,Charpentier J,et al.Use of high-flow nasal cannula oxygen and risk factors for high-flow nasal cannula oxygen failure in critically-ill patients with COVID-19 [J]. Respir Res,2022,23(1):329.

[30]Ospina-Tascón GA,Calderón-Tapia LE,García AF,et al.Effect of High-Flow Oxygen Therapy vs Conventional Oxygen Therapy on Invasive Mechanical Ventilation and Clinical Recovery in Patients With Severe COVID-19: A Randomized Clinical Trial[J].JAMA,2021,326(21):2161-2171.

[31]Perkins GD, Ji C, Connolly BA, et al. Effect of Noninvasive Respiratory Strategies on Intubation or Mortality Among Patients With Acute Hypoxemic Respiratory Failure and COVID-19: The RECOVERY-RS Randomized Clinical Trial[J]. JAMA,2022,327(6):546-558.

[32]Thompson L,Ward P,Nixon JJ,et al.Optiflow™ Switch: A design modification that can extend safe apnoeic oxygenation (THRIVE) time for tubeless airway surgery. A case series[J].Clin Otolaryngol,2023,48(1):83-87.

[33]Ly NM, Van Dinh N, Trang DTT, et al. Apnoeic oxygenation with high-flow oxygen for tracheal resection and reconstruction surgery[J].BMC Anesthesiol,2022,22(1):73.

收稿日期:2023-01-31;修回日期:2023-02-21

编辑/王萌