

# 高频通气在胸科手术中应用研究

刘 乾<sup>1,2</sup>, 陶 蕾<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>西安医学院, 陕西 西安

<sup>2</sup>第四军医大学唐都医院麻醉科, 陕西 西安

收稿日期: 2023年12月25日; 录用日期: 2024年1月22日; 发布日期: 2024年1月29日

## 摘 要

增加单肺通气期间氧合, 降低术后肺部并发症的发生率是提高胸科手术麻醉管理质量的基础, 通气侧实施肺保护性通气策略可以在一定程度上改善预后, 然而非通气侧肺泡持续萎陷造成的肺萎陷伤导致术后肺部并发症增加仍是难以避免的问题。1967年提出的高频通气, 在ARDS的救治中广泛使用, 能够提高患者氧合, 维持肺泡膨胀。有报道, 在胸科手术中应用高频通气, 可减少术中非通气侧的肺泡萎陷, 本文旨在对高频通气在胸科手术中应用的可靠性及局限性进行综述。

## 关键词

单肺通气, 高频通气, 胸科手术

# Application of High Frequency Ventilation in Thoracic Surgery

Qian Liu<sup>1,2</sup>, Lei Tao<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Xi'an Medical University, Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Department of Anesthesiology, Tangdu Hospital, The Fourth Military Medical University, Xi'an Shaanxi

Received: Dec. 25<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jan. 22<sup>nd</sup>, 2024; published: Jan. 29<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Increasing oxygenation during one lung ventilation and reducing the incidence of postoperative lung complications are the basis for improving the quality of anesthesia management in thoracic surgery. The implementation of lung protective ventilation strategy on the ventilation side can improve the prognosis to a certain extent. However, the increase of postoperative lung complications caused by

\*通讯作者。

文章引用: 刘乾, 陶蕾. 高频通气在胸科手术中应用研究[J]. 临床医学进展, 2024, 14(1): 1547-1551.

DOI: 10.12677/acm.2024.141223

**lung collapse injury caused by continuous collapse of alveoli on the non-ventilation side is still an unavoidable problem. High-frequency ventilation, proposed in 1967, is widely used in the treatment of ARDS, which can improve patient oxygenation and maintain alveolar expansion. It has been reported that the application of high frequency ventilation in thoracic surgery can reduce the collapse of alveoli on the non-ventilated side of the operation. This article aims to review the reliability and limitations of the application of high frequency ventilation in thoracic surgery.**

## Keywords

One Lung Ventilation, High Frequency Ventilation, Thoracic Surgery

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

使用双腔支气管导管进行单肺通气(one-lung ventilation, OLV)是胸腔外科手术中应用最广泛的通气方式,目的是为了维持健侧肺的正常通气,保证氧合,而使非通气侧肺萎陷,为术者提供清晰开阔的手术视野,便于术者操作。然而单肺通气最主要的并发症是术中低氧血症及术后肺部并发症[1][2]。有学者[3]研究发现术后肺部并发症会延长住院时间、增加住院成本甚至术后病死率。

在 OLV 期间减少术中低氧血症发生率,降低术后肺部并发症,提高麻醉管理质量是麻醉医生主要关心的问题之一。Slinger [4]等通过回顾性研究发现哪侧手术、术前肺功能及双肺通气期间的动脉氧分压(PaO<sub>2</sub>)是 OLV 期间低氧血症发生的三大主要预测因素。如右肺较左肺大,以右肺为通气侧时术中氧合明显好于左肺通气时[5]。术前肺功能与术中低氧血症的发生率并未表现出正相关性,术前第一秒用力呼气容积(FEV1)越低,术中动脉氧合却越好[4]。同样麻醉药物对术中氧合也有影响作用,主要是吸入性麻醉药对缺氧性肺血管收缩作用的抑制增强,而静脉麻醉药却未发现这种抑制作用[6]。

OLV 期间发生低氧血症究其最主要的机制是肺内分流增加[7],导致通气/血流(V/Q)比例异常。有学者[8]提出在通气侧使用类似于治疗急性呼吸窘迫综合征的肺保护性通气策略(lung-protective ventilation, LPV)有利于减少术后肺部并发症。LPV 包括:小潮气量(4~6 ml/kg)、适当呼气末正压(Positive end-expiratory pressure, PEEP)、术毕适宜肺复张技术(recruiting maneuvers, RM)等方面。大量研究[8][9]表明,在 OLV 期间通气侧使用 LPV 对减轻术后肺部并发症,改善预后有着积极作用。但非通气侧长时间手术操作出现的肺萎陷伤仍是难以避免的问题。为了解决非通气侧长时间的肺泡萎陷问题, Kremer 等[10]提出在胸科手术中的应用差异性肺通气策略。研究发现, OLV + 非通气侧持续正压通气(CPAP)与 OLV + 间断性双肺通气(DLV)两种通气方式与 OLV 相比能显著提高术中氧合,减少术中非通气侧肺萎陷时间;同时术者对手术空间操作性评估显示相比于 OLV 确有显著差异性,影响术者操作,延长手术时间。为了探索更优的通气方式,既能维持一定的肺泡膨胀,又不影响术者操作,提出高频通气在胸科手术中的应用。

高频通气(High Frequency Ventilation, HFV)是不同于以往常频通气模式概念的一种较新的通气方式,以超高通气频率和极小潮气量,通气频率为 1~15 Hz,相当于 60~900 次/min;根据气体运动的方式,高频通气主要发展为: a) 高频正压通气(HFPPV); b) 高频喷射通气(HFJV); c) 高频振荡通气(HFOV)。其中 HFOV 是频率最快也是最为先进的一种通气方式,接下来我们对三种通气方式在胸科手术中应用的可靠性及局限性进行综述。

## 2. 高频正压通气(HFPPV)

传统概念认为, 浅而快的呼吸比深而慢的呼吸做功多而效率低。如果每次吸入的气体容量即潮气量等于或少于解剖死腔, 那么进入功能性肺单位的新鲜气体就会减少, 不利于肺通气, 病人会逐渐出现低氧血症和高碳酸血症。1967年由瑞典 Sjöstrand 采用了一种由 60~100 次/分的高频通气, 并且潮气量略低于解剖死腔量的通气方式, 也称为高频正压通气, 是最早的高频通气方式。研究发现该通气方式不仅氧合和通气良好, 而且气道峰值压和平均气道压低, 气道阻力降低, 对肺循环影响轻微。HFPPV 的缺陷也很明显, 其呼气属于被动过程, 且过高的呼吸频率及较低的潮气量会造成呼气时间缩短, 肺内气体残留增加, 产生内源性呼气末正压。岳莉等[11]对比了在高频正压通气 + 喉罩组与面罩通气组中, 进行纤支气管镜检查, 发现高频正压通气 + 喉罩麻醉能够有效维持术中循环、呼吸指标的稳定性, 术中低氧血症发生率明显低于面罩通气组。但学者张华[12]在胸腔镜手术中对比高频正压通气与无创持续正压通气(NCPAP), 发现 HFPPV 组在改善患者肺通气及血气分析上并不优于 NCPAP。

按照美国食品和药品管理局(FDA)的定义, HFPPV 其实不算是高频通气, 只是提高了频率的小潮气量而已, 由于两例研究都是因样本量过少, 未在较大样本量人群中进行分析, 有一定的局限性, 需要更深远的研究。

## 3. 高频喷射通气(HFJV)

HFJV 是一种在高频正压通气基础上改良的机械通气技术。最初的高频喷射通气是采用 20~50 PSI 的高压气流, 经由射流控制机, 从喷射口向经皮气切套囊内喷射气体, 喷射频率最高达到 600 次/min (10 Hz)。HFJV 以其高频率, 低潮气量满足正常肺泡内的气体交换, 其原因可能是, 高频喷射通气时肺各区域通气占比更趋于接近, 肺内气体分布更趋于生理状态, 以及随着喷射频率的增加所产生的 PEEP, 在通气占比明显降低的前提下仍然能维持正常的氧合。现在的 HFJV 一般采用 100~600 次/min 的喷射频率, 低于解剖死腔量的潮气量进行通气, 近年来, HFJV 在胸科麻醉中逐步得到普及, 可应用于开放气道手术、胸腔镜手术或气道狭窄行呼吸介入手术治疗的病人[13] [14]。王维等[14]在胸腺瘤切除手术中观察发现, 对比分析双肺高频喷射通气与左肺单肺通气的治疗效果, 麻醉过程中不同时间点动脉氧分压(PaO<sub>2</sub>)的变化存在一定的差异, 与麻醉前相比均有所降低, 而 HFJV 组(PaCO<sub>2</sub>)则有所升高, 且患者血气分析指标变化幅度较小, 相对稳定, 提示 HFJV 能够有效降低术中低氧血症的发生率。但是由于 HFJV 呼气仍属于被动过程, 二氧化碳排除降低, 内源性呼气末正压(IPEEP)逐渐增加, 高频喷射通气频率超过 300 次/分则更易引起低氧和高碳酸血症的发生[15]。

高频喷射通气是在胸科手术应用较广泛的一种高频通气模式, 对胸科手术中尤其是出现难治性低氧血症时有较为明确的积极作用[16] [17]。血流动力学并不差于常频通气[18]。经 FDA 认证, HFJV 在支气管胸膜瘘、间质性肺气肿及待排的肺泡破裂等疾病上明显优于常规通气模式。欧沃等[19]研究发现, 在电视胸腔镜手术中 HFJV 联合 PEEP 可防止肺大疱的漏诊, 减少自发性气胸术后复发。但 HFJV 中仍有急需解决的缺点存在, 如喷射口位置的选择[20]、二氧化碳滞留[14] [15]等问题。

## 4. 高频振荡通气(HFOV)

高频振荡通气与高频正压通气一样是偶然发现, HFOV 以 500~3000 次/min 的高频活塞泵或振荡隔膜运动对气管产生压力振动, 将极低的潮气量(20%~80%解剖死腔量)送入和抽出气道, 叠加于平均气道压(Paw)之上, 进而满足肺气体交换的需要, 潮气量为 5~50 ml, 已经颠覆了传统意义上的潮气量概念。由于它的吸气和呼气都是主动过程, 在病人与振荡器之间以偏振气流(Bias flow)来实现氧气的供给与二氧化碳的排出。理论上是优于传统通气模式的一种肺保护策略。郁雅琼等[21]在需要单肺通气的胸科手术中通

过前后对照试验,先用容量控制模式(CMV)模式单肺通气 20 min,然后转为 HFOV 20 min,最后转为 CMV 模式单肺通气 20 min。研究发现当由 HFOV 转为 CMV 模式后,其 SpO<sub>2</sub>、SBP 及 HR 均无统计学意义,而 PaO<sub>2</sub> 及 PaCO<sub>2</sub> 略有降低,有统计学意义,表明 HFOV 与 CMV 模式相比有更优的氧合表现。

目前 HFOV 已经成功用于成人及儿童呼吸窘迫综合症(ARDS)治疗,大量证据表明[22] [23] [24],HFOV 在儿童 ARDS 患者治疗上后可提高氧合,改善预后,可作为常频通气失败的补救措施。但 HFOV 在胸科手术中的应用较少,主要可能受手术室环境与手术条件的限制。而高频振荡通气作为最先进的高频通气方式,在维持肺泡膨胀、复张陷闭的肺泡及改善通气/血流(V/Q)比体现出更加有力的优势,值得在胸科手术中开展更多的研究。

## 5. 小结

目前临床麻醉、重症监护中高频通气逐渐成为大家所认可的一种通气方式,在提高氧合、减轻肺损伤、替代常频通气方面体现越来越高的价值。高频通气有许多优点,但又有其局限性。虽然在减少术后肺部并发症、提高氧合方面为加速患者术后康复提供了积极作用,但术中的肺泡不适当膨胀,使得胸腔操作空间减少,手术时间延长,麻醉药物使用量增加,似乎又是一个不良因素。

作为临床工作者,我们应当熟练掌握胸科手术中出现各种并发症的生理机制,根据机制寻求“完美”的处理措施。高频通气只是一种通气方式,既要避免肺泡过度膨胀带来的影响手术操作的不利影响,又要使肺泡出现一定的膨胀,降低术中萎陷伤的发生率。在临床工作中,我们希望加大对高频通气的探索,如何通过调节高频通气的参数,使得非通气侧辅助通气时,肺泡处于一个最佳的“理想”状态。

## 参考文献

- [1] Alday, E., Nieves, J.M. and Planas, A. (2020) Oxygen Reserve Index Predicts Hypoxemia during One-Lung Ventilation: An Observational Diagnostic Study. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, **34**, 417-422. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.06.035>
- [2] Uhlig, C., Neto, A.S., van der Woude, M., et al. (2020) Intraoperative Mechanical Ventilation Practice in Thoracic Surgery Patients and Its Association with Postoperative Pulmonary Complications: Results of a Multicenter Prospective Observational Study. *BMC Anesthesiology*, **20**, Article Number: 179. <https://doi.org/10.1186/s12871-020-01098-4>
- [3] Wei, W., Zheng, X., Zhou, C.W., et al. (2023) Protocol for the Derivation and External Validation of a 30-Day Postoperative Pulmonary Complications (PPCs) Risk Prediction Model for elderly Patients Undergoing Thoracic Surgery: A Cohort Study in Southern China. *BMJ Open*, **13**, e066815. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-066815>
- [4] Slinger, P., Suissa, S. and Triolet, W. (1992) Predicting Arterial Oxygenation during One-Lung Anaesthesia. *Canadian Journal of Anaesthesia*, **39**, 1030-1035. <https://doi.org/10.1007/BF03008370>
- [5] Karzai, W. and Schwarzkopf, K. (2009) Hypoxemia during One-Lung Ventilation: Prediction, Prevention, and Treatment. *Anesthesiology*, **110**, 1402-1411. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e31819fb15d>
- [6] Gao, C., Zhang, G., Sun, X., et al. (2010) The Effects of Intravenous Hyperoxygenated Solution Infusion on Systemic Oxygenation and Intrapulmonary Shunt during One-Lung Ventilation in Pigs. *Journal of Surgical Research*, **159**, 653-659. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2008.09.014>
- [7] Schorer, R., Dombret, A.L., Hagerman, A., Bédard, B. and Putzu, A. (2023) Impact of Pharmacological Interventions on Intrapulmonary Shunt during One-Lung Ventilation in Adult Thoracic Surgery: A Systematic Review and Component Network Meta-Analysis. *British Journal of Anaesthesia*, **130**, e92-e105. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2022.08.039>
- [8] Güldner, A., Kiss, T., Serpa Neto, A., et al. (2015) Intraoperative Protective Mechanical Ventilation for Prevention of Postoperative Pulmonary Complications: A Comprehensive Review of the Role of Tidal Volume, Positive End-Expiratory Pressure, and Lung Recruitment Maneuvers. *Anesthesiology*, **123**, 692-713. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000000754>
- [9] Kidane, B., Choi, S., Fortin, D., et al. (2018) Use of Lung-Protective Strategies during One-Lung Ventilation Surgery: A Multi-Institutional Survey. *Annals of Translational Medicine*, **6**, 269. <https://doi.org/10.21037/atm.2018.06.02>
- [10] Kremer, R., Aboud, W., Haberkamp, O., Armali, M. and Barak, M. (2019) Differential Lung Ventilation for Increased Oxygenation during One Lung Ventilation for Video Assisted Lung Surgery. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, **14**, Ar-

title Number: 89. <https://doi.org/10.1186/s13019-019-0910-2>

- [11] 岳莉, 李月光, 蔡红刚, 等. 高频正压通气下喉罩在无痛纤支镜检查中的有效性与安全性研究[J]. 中外医学研究, 2014, 12(32): 22-24.
- [12] 张华, 李蕾, 李伟, 等. 持续性无创正压通气和高频正压通气在老年患者胸腔镜手术中的应用[J]. 中国老年学杂志, 2016, 36(20): 5123-5125.
- [13] Biro, P. and Schmid, S. (1997) Anästhesie und Hochfrequenz-Jetventilation (HFJV) für operative Eingriffe an Larynx und Trachea [Anesthesia and High Frequency Jet Ventilation (HFJV) for Surgical Interventions on the Larynx and Trachea]. *HNO*, **45**, 43-52. <https://doi.org/10.1007/s001060050087>
- [14] 王维, 隋波, 李冠华, 等. 高频喷射通气辅助单肺通气在胸腺瘤微创手术中的应用[J]. 军医进修学院学报, 2012, 33(4): 348-349+356.
- [15] Wang, T., Pei, Y., Qiu, X., Wang, J., Wang, Y. and Zhang, J. (2022) A Multi-Centre Prospective Random Control Study of Superimposed High-Frequency Jet Ventilation and Conventional Jet Ventilation for Interventional Bronchoscopy. *Ear, Nose & Throat Journal*. <https://doi.org/10.1177/01455613221094441>
- [16] Abe, K., Oka, J., Takahashi, H., Funatsu, T., Fukuda, H. and Miyamoto, Y. (2006) Effect of High-Frequency Jet Ventilation on Oxygenation during One-Lung Ventilation in Patients Undergoing Thoracic Aneurysm Surgery. *Journal of Anesthesia*, **20**, 1-5. <https://doi.org/10.1007/s00540-005-0352-y>
- [17] El-Tahan, M.R., Doyle, D.J. and Hassieb, A.G. (2014) High-Frequency Jet Ventilation Using the Arndt Bronchial Blocker for Refractory Hypoxemia during One-Lung Ventilation in a Myasthenic Patient with Asthma. *Journal of Clinical Anesthesia*, **26**, 570-573. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2014.04.009>
- [18] Crimi, G., Conti, G., Bufi, M., et al. (1988) High Frequency Jet Ventilation (HFJV) Has No Better Haemodynamic Tolerance Than Controlled Mechanical Ventilation (CMV) in Cardiogenic Shock. *Intensive Care Medicine*, **14**, 359-363. <https://doi.org/10.1007/BF00262889>
- [19] Ogawa, E., Takenaka, K., Kawashita, F., Moriyama, S. and Hirata, T. (2005) Prevention of Overlooked Bullae during Video-Assisted Thoracic Surgery (VATS) with a Combination of High Frequency Jet Ventilation (HFJV) and Positive End-Expiratory Pressure (PEEP) for Spontaneous Pneumothorax. *The Thoracic and Cardiovascular Surgeon*, **53**, 56-60. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830386>
- [20] 周娅梅, 刘乐, 陈丽梅, 等. 高频-常频程序喷射通气时喷射导管前端位置对血二氧化碳清除效果的影响[J]. 温州医科大学学报, 2017, 47(1): 37-41.
- [21] 郁雅琼. 高频振荡通气应用于单肺通气对氧合的影响[D]: [硕士学位论文]. 苏州: 苏州大学, 2014.
- [22] Keith, P., Scott, L.K., Perkins, L., Burnside, R. and Day, M. (2022) High-Frequency Oscillatory Ventilation for Refractory Hypoxemia in Severe COVID-19 Pneumonia: A Small Case Series. *American Journal of Case Reports*, **23**, e936651. <https://doi.org/10.12659/AJCR.936651>
- [23] Sklar, M.C., Fan, E. and Goligher, E.C. (2017) High-Frequency Oscillatory Ventilation in Adults with ARDS: Past, Present, and Future. *Chest*, **152**, 1306-1317. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2017.06.025>
- [24] Ayoub, D., Elmashad, A., Rowisha, M., Eltomay, M. and El Amrousy, D. (2021) Hemodynamic Effects of High-Frequency Oscillatory Ventilation in Preterm Neonates with Respiratory Distress Syndrome. *Pediatric Pulmonology*, **56**, 424-432. <https://doi.org/10.1002/ppul.25195>