

加速肺萎陷技术在胸腔镜手术中的应用进展

杭黎华 费叶晟 李玉琳

【摘要】 视频辅助胸腔镜手术(VATS)具有视野清晰、对呼吸生理影响小、术后疼痛轻和加速康复等优点,在临床上日渐普及。非通气侧肺萎陷是胸科手术重要环节,萎陷不良将影响手术视野并延缓手术进程,因此高质量肺萎陷是手术成功的基础。如何短时间内获得良好的肺萎陷质量已成为麻醉科医师关注的焦点。近年来,已有多项加速肺萎陷技术应用于临床,本文就非通气侧加速肺萎陷技术的应用进展进行综述,并介绍适用临床技术及其注意事项,旨在为临床实践提供参考。

【关键词】 视频辅助胸腔镜手术;肺萎陷;术后加速康复

Application progress on accelerated lung collapse technique in thoracoscopic surgery HANG Lihua, FEI Yesheng, LI Yulin. Department of Anesthesiology, Kunshan Hospital Affiliated to Jiangsu University, Suzhou 215300, China

Corresponding author: HANG Lihua, Email: zjhanglihua@foxmail.com

【Abstract】 Video-assisted thoracoscopic surgery(VATS) has the advantages of clear visual field, minimal impact on physiology of respiratory, less postoperative pain, and a rapid recovery. Therefore, VATS is widely used in clinic. The non-ventilated lung collapse is the key point of thoracoscopic surgery, and the poor lung collapse on the operative side may damage the surgical exposure and prolongs the process of surgery. Therefore, high quality of lung collapse is the basis for the successful of surgery. How to achieve excellent quality of lung collapse in a short time has become the focus of anesthesiologists. In recent years, a variety of speed lung collapse techniques have been applied in clinical practice. This article reviews the application progress of non-ventilated speeding lung collapse techniques, make introduction for clinical application, and discuss their consideration, to provide the reference for clinical practice.

【Key words】 Video-assisted thoracoscopic surgery; Lung collapse; Enhanced recovery after surgery

随着外科微创技术的发展和外科操作水平的不断提高,视频辅助胸腔镜手术(video-assisted thoracoscopic surgery, VATS)在胸科手术中的应用越来越广,如肺部手术、食管手术以及微创心脏手术等^[1-2]。肺萎陷是指原已充满空气的肺组织因空气丧失导致肺泡塌陷关闭的状态。肺萎陷的质量,即肺塌陷的程度,对 VATS 的术野暴露至关重要^[3]。在传统开胸手术中,外科医师可通过直接压缩肺组织补偿肺塌陷不足,但在 VATS 难以实施^[4]。且人为对肺组织的牵拉、挤压等导致肺组织的缺血-再灌注损伤,增加围术期肺部并发症风险^[5]。因此,在切开胸膜后,尽早实现高质量的肺萎陷具有重要的临床意义。开胸后非通气侧肺萎陷分为两个阶

段^[6]。首先,在胸膜切开后,环境空气自由进入胸腔,如无肺气肿、气道阻塞或胸膜粘连等情况,非通气侧肺由于其固有的弹性回缩力迅速发生部分塌陷,且多在 60 s 内结束。随后进入肺萎陷的第二阶段,非通气侧肺内残留气体被肺毛细血管中血液吸收而进一步塌陷。第二阶段的肺萎陷完全依赖于残留气体的溶解度,此阶段持续时间较长。本文总结加速肺萎陷技术的临床应用进展,旨在为提高肺萎陷质量提供新的思路。

加速肺萎陷技术的临床应用

在胸科手术中,常用于加速肺萎陷的技术有提前单肺通气(one lung ventilation, OLV)与封堵技术、外接氧源、断开技术、负压吸引、吸入氧化亚氮和氧气的混合气体或纯氧等。下文对目前加速肺萎陷技术在胸科手术中的应用进行阐述。

提前 OLV 与封堵技术 传统观念中,启动 OLV 后由于肺内分流增加,术中可能出现低氧血症及低氧导致的靶器官功能损害^[7]。因此,麻醉科医师多

DOI: 10.12089/jca.2024.01.019

基金项目:江苏省卫健委医学科研项目(M2021072);昆山市高层次人才项目(Ksgccrc2004);昆山市第一人民医院科技兴卫工程(CXTD21-C05)

作者单位:215300 苏州市,江苏大学附属昆山医院麻醉科

通信作者:杭黎华,Email: zjhanglihua@foxmail.com

选择在胸膜切开即刻实施 OLV。在纯氧通气后,通气/血流比等于 0.001 时,肺组织在 6 min 之内发生萎陷^[8]。Zhang 等^[8]在此理论上基础上展开研究,与对照组(开胸即刻实施 OLV)比较,提前 OLV 组(实施 OLV 至开胸不少于 6 min)明显缩短肺萎陷时间。由于新型吸入麻醉药对缺氧性肺血管收缩的抑制减少^[9], OLV 期间低氧血症的发生率大大减少。提前 OLV 法已被广泛用于临床,但较多麻醉科医师忽略了该技术的关键环节,即 OLV 的同时应封堵非通气侧肺的支气管导管腔或支气管封堵器(bronchial blocker, BB)的排气管。

开胸前在双腔支气管导管(double lumen tube, DLT)或 BB 下行 OLV 均观察到非通气侧肺与周围空气之间存在“气体交换”(被动通气)^[6]。由此,在开始 OLV 后,若非通气侧肺不封堵,空气将持续进入非通气侧肺直到胸膜切开,空气(氮气)在血液中的溶解度较低,明显延长第二阶段肺萎陷时间。因此,在 OLV 开始后,封堵 BB 的排气管和 DLT 非通气侧肺的支气管镜端口至开胸前至关重要^[10-11]。Somma 等^[12]研究表明,与不封堵比较,采用封堵技术明显缩短肺萎陷时间[24(20~37) min vs 54(48~68) min]。因此提前 OLV 时应封堵非通气侧肺的支气管导管腔或 BB 的排气管。

外接氧源 外接氧源是将周围氧源(3 L 储气袋)与非通气侧肺密闭连接^[10,13]。在开胸前,由于“气体交换”机制,储气袋中的氧气进入非通气侧肺,氧气在血液中溶解度较高,可缩短第二阶段肺萎陷时间。该方法另一优势是减少术中低氧血症的发生率^[13]。然而,目前缺少相关临床数据证明其有助于加速胸腔镜手术中非通气侧肺萎陷^[14]。但外接氧源是一种防止肺“被动通气”的有效方法。

断开技术 断开技术也称呼吸暂停技术,指 OLV 装置与呼吸机断开后,非通气侧肺内残余气体借助肺弹性回缩力从导管管腔排出。Li 等^[15]研究表明,DLT 下实施断开技术可以加速非通气侧肺萎陷。BB 下实施断开技术可以实现与 DLT 类似^[16-17]甚至更佳^[18-19]的肺萎陷效果。

断开技术最佳实施时机尚存争议。实施断开技术后,肺弹性回缩可分为两个阶段。在胸膜切开前,肺回缩至“功能残气量”状态;胸膜切开后,肺再次回缩,直至完成肺萎陷的第一阶段,断开期间应完成肺的两阶段弹性回缩。然而,不同的学者实施断开技术的时间点不一致。有学者选择在开胸前(切皮前)进行单次呼吸暂停 60 s^[19]。据报道,切皮

即刻至切开胸膜所需的时间一般为 90 s^[15-16],而切皮后短时间(<90 s)的断开,断开结束胸膜尚未打开,以至于断开的过程中快速回弹的肺萎陷第一阶段尚未开始。有学者选择切皮即刻断开 2 min,但由于断开时间较长,断开结束后测 PaCO₂ 偏高^[15]。也有学者选择在胸膜切开即刻实施单次呼吸暂停^[19],直至完成肺萎陷的第一阶段。而 Bussières 等^[18]选择双次呼吸暂停:分别在胸膜切开前后各呼吸暂停 30 s。但双次断开 BB 需要反复抽、充套囊,套囊充气刺激气道黏膜,且 BB 套囊术中较高的移位率已被广泛报道^[20-21],此做法使 BB 移位风险进一步增加。因此,胸膜切开后可能是实行断开的最好时机。

断开技术的持续时间也存在争议(30 s 至 2 min)^[19]。Yoo 等^[17]研究表明,呼吸暂停的时间应与监护仪 P_{ET}CO₂ 痕迹丢失的时间一致。断开期间,肺内残余气体借助肺弹性回缩力从 OLV 管腔排出,出现呼末波形。当呼气末二氧化碳测定仪中呼末波形消失,表明一相肺萎陷结束,非通气侧肺内无法再通过肺弹性回缩排出残余气体,因此失去继续断开的意义。

负压吸引 负压吸引目的是借助负压将非通气侧肺内残余气体快速排出。El-Tahan^[22]研究表明,与断开组(OLV 前呼吸暂停 1 min)比较,使用 -30 cmH₂O 吸引,肺完全塌陷的时间明显缩短。Quan 等^[23]研究表明,在胸膜切开即刻 -30 cmH₂O 吸引 1 min 即停,吸引组开胸后 1 min、5 min 肺萎陷评分明显高于未吸引组。上述研究表明,在 VATS 中负压吸引技术可提高非通气侧肺萎陷速度。

目前,关于负压吸引的压力和持续时间尚存争议。Narayanaswamy 等^[24]研究表明,Cohen BB 组和 DLT 组在 OLV 开始时使用 -20 cmH₂O 吸引,10 min 肺萎陷评分明显增加;而 Arndt BB 组和 Fuji BB 组无统计学差异。Quan 等^[23]研究表明此结果由于吸引压力(-20 cmH₂O)过低导致,但较强的吸引压力损害气道黏膜,甚至导致严重的低氧血症和肺水肿。Quan 等^[23]建议,在开胸后负压吸引 60 s,此阶段与肺萎陷的第一阶段吻合,多数学者认为吸引压力保持在 -30 cmH₂O 以下。

此前有关负压吸引的研究大多基于三孔 VATS。随着胸外科技术的提高,三孔 VATS 已逐渐被单孔 VATS 替代^[25]。三孔 VATS 从切皮即刻到完成三孔打孔约需 10 min^[23],而单孔 VATS 只需 90 s 左右,外科医师腔镜下操作时间节点提前,更关注能否在切开胸膜后早期完成肺萎陷。因此,既往三

孔胸腔镜下研究的结果是否可沿用于单孔胸腔镜手术,仍需要进一步研究。

吸入氧化亚氮、氧气混合气体或纯氧 Liang 等^[26]研究表明,吸入氧化亚氮、氧气混合气体加速肺萎陷。与吸入空气、氧气混合气体或纯氧比较,吸入氧化亚氮、氧气混合气体(FiO_2 40%或 50%)更能促进肺萎陷,且术中无低氧血症的发生^[27-28]。

进入肺萎陷的第二阶段后,肺进一步萎陷依赖于肺内残余气体吸收^[27]。氮气在血液中的溶解度低(0.15 ml/L),氧气和氧化亚氮在血液中溶解度高,分别为 2 ml/L(按人均血红蛋白 150 g/L, SpO_2 96%计算,物理溶解的氧忽略不计)和 4.7 ml/L^[28]。同时,根据“第二气体”效应,氧化亚氮的溶解度较高,快速吸收后产生的浓度梯度将促进氧气的吸收^[26]。OLV 下氧化亚氮和氧气最佳比例研究结果有所不同。Liang 等^[26]采用 Dixon 序贯法,通过概率回归分析计算出:50%的患者实现快速成功肺萎陷的吸入氧化亚氮半数有效浓度(median effective concentration, EC_{50})为 27.7%,95%的患者实现快速成功肺萎陷的吸入氧化亚氮浓度(EC_{95})为 48.7%。但吸入过高浓度氧化亚氮,增加围术期低氧血症的发生率^[27]。Pfitzner^[29]研究表明,当氧化亚氮用于加速肺萎陷时, SpO_2 降至 94%~95%时,应增加 FiO_2 (甚至增加至 100%)。为给麻醉提供充裕的插管时间,Liang 等^[26]选择 OLV 装置置入后,吸入氧化亚氮、氧气混合气体至 OLV 开始。同时,氧化亚氮具有一定的局限性。首先,氧化亚氮存在特殊禁忌证,肺大疱患者需谨慎使用。其次,氧化亚氮在临床工作中已经逐渐被新型卤类吸入麻醉药取代,部分医院并不常规配备。

Ko 等^[28]研究表明,从麻醉诱导至 OLV 开始,吸入总新鲜气流量为 8 L/min 的目标气体,空气组(FiO_2 40%)的肺萎陷评分明显低于氧气组。然而吸入氧浓度与术中肺不张的程度直接相关^[30],但术中联合呼气末正压(positive expiratory-end pressure, PEEP)、肺复张等手段可有效防止肺不张及复张塌陷的肺组织^[31-31]。因此,许多研究选择气管插管前高流量纯氧通气给氧去氮,OLV 装置放置完成至 OLV 开始期间低流量纯氧通气加速肺萎陷。

加速肺萎陷最优化步骤

Somma 等^[12]提出了 DLT 的加速肺萎陷最优化步骤。首先,夹闭非通气侧肺 Y 型连接管启动 OLV,并打开非通气侧肺支气管镜检查口,1 min 后

关闭。在胸膜切开后,再次打开支气管镜检查口。该步骤联合提前 OLV、断开技术及封堵技术加速肺萎陷。但对于患有慢性阻塞性肺疾病、间质性肺病等特殊患者,其肺组织弹性回缩力减弱,残余气体在肺萎陷第一阶段不易排出。可在上述最优化步骤的基础上联合加速肺萎陷第二阶段的技术,如在 OLV 装置置入后,吸入氧化亚氮、氧气混合气体($\text{FiO}_2 = 50\%$)至 OLV 开始,更有利于患者。此外,与 DLT 比较,BB 的排气管较为狭长,一相肺萎陷过程中,残余气体借助肺弹性回缩力不易排出。断开技术需要反复抽、充套囊,可能增加 BB 套囊移位的风险。与断开技术比较,Arndt BB 联合持续负压吸引明显减少完全肺萎陷时间^[22]。因此,负压吸引可能更适用于 BB 的加速肺萎陷最优化步骤。

小 结

在临床工作中,加速肺萎陷技术在胸科手术麻醉中具有重要意义。麻醉科医师应通过合理使用一种或多种加速肺萎陷技术,为外科医师提供更佳手术视野,加快手术进程。而理解非通气侧肺萎陷的“两阶段”机制及“被动通气”机制是合理使用肺萎陷技术的基础。此外,断开的时间和时机、负压吸引的压力等问题仍存在争议,还需要大样本前瞻性研究提供更多的临床证据。

参 考 文 献

- [1] Liu Z, Zhao L, Zhu Y, et al. The efficacy and adverse effects of the Uniblocker and left-side double-lumen tube for one-lung ventilation under the guidance of chest CT. *Exp Ther Med*, 2020, 19(4): 2751-2756.
- [2] Zhang C, Yue J, Li M, et al. Bronchial blocker versus double-lumen endobronchial tube in minimally invasive cardiac surgery. *BMC Pulm Med*, 2019, 19(1): 207.
- [3] Morris BN, Fernando RJ, Garner CR, et al. A randomized comparison of positional stability: the EZ-Blocker versus left-sided double-lumen endobronchial tubes in adult patients undergoing thoracic surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2021, 35(8): 2319-2325.
- [4] Lu Y, Dai W, Zong Z, et al. Bronchial blocker versus left double-lumen endotracheal tube for one-lung ventilation in right video-assisted thoracoscopic surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2018, 32(1): 297-301.
- [5] Gothard J. Lung injury after thoracic surgery and one-lung ventilation. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2006, 19(1): 5-10.
- [6] Moreault O, Couture EJ, Provencher S, et al. Double-lumen endotracheal tubes and bronchial blockers exhibit similar lung collapse physiology during lung isolation. *Can J Anaesth*, 2021, 68

- (6): 791-800.
- [7] Campos JH, Feider A. Hypoxia during one-lung ventilation—a review and update. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2018, 32(5): 2330-2338.
- [8] Zhang Y, Yan W, Fan Z, et al. Preemptive one lung ventilation enhances lung collapse during thoracoscopic surgery: a randomized controlled trial. *Thorac Cancer*, 2019, 10(6): 1448-1452.
- [9] Kawanishi R, Kakuta N, Sakai Y, et al. Desflurane improves lung collapse more than propofol during one-lung ventilation and reduces operation time in lobectomy by video-assisted thoracic surgery: a randomized controlled trial. *BMC Anesthesiol*, 2022, 22(1): 125.
- [10] Pfitzner J. The need to better understand the physiology of lung collapse during one-lung ventilation. *Can J Anaesth*, 2021, 68(9): 1452-1453.
- [11] Bussièrès JS, Moreault O, Couture EJ, et al. Optimizing lung collapse with a bronchial blocker: it's not what you use, but how you use it, Part II. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2019, 33(1): 255.
- [12] Somma J, Couture ÉJ, Pelletier S, et al. Non-ventilated lung deflation during one-lung ventilation with a double-lumen endotracheal tube; a randomized-controlled trial of occluding the non-ventilated endobronchial lumen before pleural opening. *Can J Anaesth*, 2021, 68(6): 801-811.
- [13] Pfitzner J. The role of an ambient pressure oxygen source during one-lung ventilation for thoracoscopic surgery. *Anaesth Intensive Care*, 2016, 44(1): 20-27.
- [14] Bussièrès J, Somma J. In reply: the need to better understand the physiology of lung collapse during one-lung ventilation. *Can J Anaesth*, 2021, 68(9): 1454-1455.
- [15] Li Q, Zhang X, Wu J, et al. Two-minute disconnection technique with a double-lumen tube to speed the collapse of the non-ventilated lung for one-lung ventilation in thoracoscopic surgery. *BMC Anesthesiol*, 2017, 17(1): 80.
- [16] Cheng Q, He Z, Xue P, et al. The disconnection technique with the use of a bronchial blocker for improving nonventilated lung collapse in video-assisted thoracoscopic surgery. *J Thorac Dis*, 2020, 12(3): 876-882.
- [17] Yoo JY, Kim DH, Choi H, et al. Disconnection technique with a bronchial blocker for improving lung deflation: a comparison with a double-lumen tube and bronchial blocker without disconnection. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2014, 28(4): 904-907.
- [18] Bussièrès JS, Somma J, Del Castillo JL, et al. Bronchial blocker versus left double-lumen endotracheal tube in video-assisted thoracoscopic surgery: a randomized-controlled trial examining time and quality of lung deflation. *Can J Anaesth*, 2016, 63(7): 818-827.
- [19] Zhang TH, Liu XQ, Cao LH, et al. A randomised comparison of the efficacy of a Coopdech bronchial blocker and a double-lumen endotracheal tube for minimally invasive esophagectomy. *Transl Cancer Res*, 2020, 9(8): 4686-4692.
- [20] Palaczynski P, Misiolek H, Szarpak L, et al. Systematic review and meta-analysis of efficiency and safety of double-lumen tube and bronchial blocker for one-lung ventilation. *J Clin Med*, 2023, 12(5).
- [21] Risse J, Szeder K, Schubert AK, et al. Comparison of left double lumen tube and y-shaped and double-ended bronchial blocker for one lung ventilation in thoracic surgery—a randomised controlled clinical trial. *BMC Anesthesiol*, 2022, 22(1): 92.
- [22] El-Tahan MR. A comparison of the disconnection technique with continuous bronchial suction for lung deflation when using the Arndt endobronchial blocker during video-assisted thoracoscopy: a randomised trial. *Eur J Anaesthesiol*, 2015, 32(6): 411-417.
- [23] Quan X, Yi J, Huang Y, et al. Bronchial suction does not facilitate lung collapse when using a double-lumen tube during video-assisted thoracoscopic surgery: a randomized controlled trial. *J Thorac Dis*, 2017, 9(12): 5244-5248.
- [24] Narayanaswamy M, McRae K, Slinger P, et al. Choosing a lung isolation device for thoracic surgery: a randomized trial of three bronchial blockers versus double-lumen tubes. *Anesth Analg*, 2009, 108(4): 1097-1101.
- [25] Xiang YY, Chen Q, Tang XX, et al. Comparison of the effect of double-lumen endotracheal tubes and bronchial blockers on lung collapse in video-assisted thoracoscopic surgery: a systematic review and meta-analysis. *BMC Anesthesiol*, 2022, 22(1): 330.
- [26] Liang C, Lv Y, Shi Y, et al. The fraction of nitrous oxide in oxygen for facilitating lung collapse during one-lung ventilation with double lumen tube. *BMC Anesthesiol*, 2020, 20(1): 180.
- [27] Yang W, Liu Z, Yang C, et al. Combination of nitrous oxide and the modified inflation-deflation method for identifying the inter-segmental plane in segmentectomy: a randomized controlled trial. *Thorac Cancer*, 2021, 12(9): 1398-1406.
- [28] Ko R, McRae K, Darling G, et al. The use of air in the inspired gas mixture during two-lung ventilation delays lung collapse during one-lung ventilation. *Anesth Analg*, 2009, 108(4): 1092-1096.
- [29] Pfitzner J. Reasons for using nitrous oxide in one-lung ventilation, especially for thoracoscopic surgery. *Anaesth Intensive Care*, 2019, 47(5): 478-479.
- [30] Lim CH, Han JY, Cha SH, et al. Effects of high versus low inspiratory oxygen fraction on postoperative clinical outcomes in patients undergoing surgery under general anesthesia: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Clin Anesth*, 2021, 75: 110461.
- [31] Hu MC, Yang YL, Chen TT, et al. Recruitment maneuvers to reduce pulmonary atelectasis after cardiac surgery: a meta-analysis of randomized trials. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2022, 164(1): 171-181.
- [32] Pereira SM, Tucci MR, Morais C, et al. Individual positive end-expiratory pressure settings optimize intraoperative mechanical ventilation and reduce postoperative atelectasis. *Anesthesiology*, 2018, 129(6): 1070-1081.