

# 肺保护性通气策略在腹部和胸部手术中应用的研究进展

朱 赫 综述 吴长毅\* 审校

(北京大学第三医院麻醉科, 北京 100191)

文献标识: A 文章编号: 1009-6604(2020)04-0362-04

doi: 10.3969/j.issn.1009-6604.2020.04.018

肺保护性通气策略(lung protective ventilation strategy, LPVS)的应用是近年来在急性肺损伤/急性呼吸窘迫综合征(acute lung injury/acute respiratory distress syndrome, ALI/ARDS)治疗中的重要进展。ALI/ARDS 患者采用保护性通气策略,能够改善气体交换和氧合,降低肺泡及循环内炎性因子的水平,缩短机械通气时间,降低患者病死率<sup>[1,2]</sup>。但对于非 ALI/ARDS 需要全身麻醉进行手术的病人,采用 LPVS 是否受益尚不明确<sup>[3]</sup>。胸部和腹部手术时间较长、创伤较大,本文对腹部和胸部手术中 LPVS 应用的研究进展文献总结如下。

## 1 传统的通气策略和 LPVS

传统机械通气模式(conventional mechanical ventilation, CMV)包括潮气量 10~12 ml/kg, 平台压 <50 cm H<sub>2</sub>O, 不使用呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)或膨肺<sup>[4]</sup>。LPVS 的核心内容是小潮气量(5~8 ml/kg), 限压气道平台压(平台压 <30 cm H<sub>2</sub>O), 合理的呼气末正压(PEEP 5~10 cm H<sub>2</sub>O)和肺复张手法(recruitment maneuvers, RMs)<sup>[5]</sup>。传统的通气策略容易导致肺泡过度膨胀, 引起通气性肺损伤, 如气压伤、容积伤和萎陷伤等<sup>[6]</sup>。LPVS 应用较小的潮气量和 PEEP, 避免肺过度膨胀和塌陷, 减少机械通气诱发的肺损害和肺不张, 降低气道压力和气道阻力, 减少炎症因子释放, 减轻肺部和全身炎症损伤。对于术前肺功能大致正常的腹部和胸部手术患者在全麻手术中采用 LPVS 是否比传统的通气策略更能获益是近年研究的热点

之一。

## 2 全身麻醉下机械通气对呼吸功能的影响

机械通气(mechanical ventilation, MV)是一个有创的过程,是救治呼吸衰竭患者的重要手段,包含 2 个主要的功能:当病人难以自主呼吸时提供吸气时的压力;二是帮助打开患部肺闭合的肺泡。20% 的 ICU 病人因为中枢性或神经肌肉疾病需要 MV 的支持<sup>[7]</sup>。与 ARDS 患者相比,全身麻醉下进行手术的患者接受机械通气的比例更大,全世界每年约有 3.1 亿患者接受全麻手术<sup>[8]</sup>。全身麻醉使肌肉和膈肌松弛,呼吸肌张力降低,腹部压力增加,进而导致通气血流比值变化。从直立位到仰卧位的改变和麻醉药物也会降低肺的功能残气量,甚至发生肺不张。机械通气是把双刃剑,对肺功能的影响取决于持续通气的强度、时间等多种因素;负面影响包括呼吸机相关性肺损伤(ventilator associated lung injury, VALI)。

择期手术中机械通气的使用可能使肺功能原本正常的病人诱发新的肺损伤。肺部疾病、老年患者、手术时间 >2 h 是影响功能残气量和肺不张的因素,这些均可能导致肺部并发症<sup>[9]</sup>。随着 2000 年后 ARDS 患者 LPVS 的迅猛发展,全麻手术中机械通气是否有必要采取类似的肺保护策略值得思考。

## 3 腹部手术中 LPVS 的应用

腹部手术目前主要为传统开腹腹部手术和腹腔

\* 通讯作者, E-mail: iamwuchangyi@aliyun.com

镜手术。全身麻醉下,开腹和腹腔镜手术对于机械通气的影响不同,下文将开腹手术和腹腔镜手术中应用 LPVS 的研究进展分别讨论。

### 3.1 在传统开腹手术中的应用

手术后肺部并发症 (postoperative pulmonary complications, PPCs) 发生率为 5% ~ 10%, 腹部手术患者发生 PPCs 高达 9% ~ 40%<sup>[10]</sup>。多中心、随机临床试验和 meta 分析显示,在腹部手术中,LPVS (包括低潮气量、呼气末正压、肺复张) 显著提高预后质量<sup>[11-13]</sup>。一项纳入 400 例腹部手术的多中心 RCT 研究,患者被随机分为肺保护性通气组 (LPV 组, 6 ~ 8 ml/kg, 6 ~ 8 cm H<sub>2</sub>O PEEP) 和传统通气策略组 (CMV 组, 10 ~ 12 ml/kg, < 5 cm H<sub>2</sub>O PEEP), LPV 组术后 7 d 肺部并发症 (肺炎或 ARDS) 发生率为 10.5%, 远低于 CMV 组 27.5%, 术后 7 d 需要无创辅助通气或再次插管率也低于 CMV 组 (5% vs. 17%)<sup>[10]</sup>。相似的研究亦表明,对于 > 2 h 的腹部手术患者, 7 ml/kg 潮气量联合 10 cm H<sub>2</sub>O PEEP 和膨肺操作, 比 9 ml/kg 潮气量不使用 PEEP 和膨肺组能明显改善患者术后肺功能和氧合, 降低肺感染评分, 但对降低患者病死率无明显改善<sup>[14,15]</sup>。此外, 一项 44 例老年患者的研究表明, 传统开腹手术中应用保护性肺通气模式能改善术中的氧合, 但并未减少术后肺部并发症的发生<sup>[16]</sup>。

总体而言, 传统开腹手术中采用小潮气量的策略是有益的, 但单独应用小潮气量通气会导致动脉氧分压的降低, 进而出现术后进行性肺不张。只有在小潮气量联合使用 PEEP 和肺复张手法时患者才能获益。

### 3.2 在腹腔镜手术中的应用

目前, 腹腔镜技术在外科广泛应用, 具有创伤小、术后疼痛轻、恢复快等特点。但人工气腹和特殊体位会造成膈肌上移, 肺顺应性减少, 气道压升高等, 对患者生理功能造成严重干扰<sup>[17]</sup>。临床上常采用传统机械通气增加潮气量来增加气体交换, 避免 CO<sub>2</sub> 蓄积, 但会使气道压进一步增高, 同时使肺泡内外压力差增大, 对病变肺组织产生较大剪切力, 导致气压性肺损伤或呼吸机所致肺损伤<sup>[17]</sup>。当气腹的压力大于气道压时, 形成压力差容易使肺泡毛细血管膜移位, 引发相邻肺组织塌陷, 造成肺膨胀不全。Park<sup>[13]</sup> 报道 62 例腹腔镜手术的随机对照研究, LPV 组 (6 ml/kg, 5 cm H<sub>2</sub>O PEEP) 术后肺部并发症发生率明显低于 CMV 组 (10 ml/kg) (LPV 组 9 例, CMV 组 3 例,  $P=0.023$ )。可见, 对术前肺功能正常的患

者, 术中进行有效的低潮气量、适度 PEEP 和间歇肺复张手法的 LPVS, 术后辅助正压通气, 可以明显降低肺部并发症。

气腹手术中可考虑采用容许性高碳酸血症, 容许性的高碳酸血症可使体循环血管阻力和左心室后负荷降低, LPVS 中小潮气量的应用可使吸气末肺容积降低, 从而使肺循环血管阻力降低, 部分抵消人工气腹对循环系统的干扰作用。同时, 小潮气量明显降低气道压, 一定程度上有效地预防和避免人工气腹对肺组织的物理性和组织性损伤。腹腔镜手术 LPV 组术后发生肺部并发症 (肺炎、肺不张) 和低氧血症 (< 90%) 发生率明显低于传统通气组, pH、PaO<sub>2</sub>、PaCO<sub>2</sub>、PAO<sub>2</sub> 2 组未见明显差异; CO<sub>2</sub> 气腹后 LPV 组和传统通气组在炎症因子 (IL-6、TNF- $\alpha$ 、IL-8、IL-1 $\beta$ ) 无明显差异, 二者的肺泡灌洗液 (BAL) 中的炎症因子也未见差异<sup>[13,18,19]</sup>。腹腔镜手术时间较短, 随着手术时间的延长, 肺保护性通气的优势和效果是否显现仍需更深入的研究和探讨。

## 4 胸部手术中 LPVS 的应用

胸部手术涉及到单肺通气、术中及术后的肺复张, 我们着重讨论胸部手术 LPVS 的潮气量、PEEP 的选择及肺复张策略。

### 4.1 潮气量的选择

单肺通气是胸外科常用的通气方式, 是采用支气管导管对患者非操作侧肺进行通气, 从而改善手术视野, 利于手术操作。传统观点认为通气侧肺潮气量为 8 ~ 10 ml/kg, 潮气量过小可能引发肺不张, 潮气量较大可增加通气量改善氧合<sup>[20]</sup>。大潮气量和单肺通气造成气道压力增加, 导致氧化应激, 炎症因子释放和组织损伤, 更易造成术中低氧血症和术后肺部损伤等并发症<sup>[21-23]</sup>, 传统的大潮气量通气容易导致危重患者发生 ALI/ARDS<sup>[24-26]</sup>。LPVS 的应用可有效减轻和预防此问题。

LPVS 更接近人类生理潮气量, 配合适度 PEEP 可以减少肺损伤的程度, 肺叶切除术患者使用 LPV 模式能降低术后肺功能异常的发生率<sup>[25,27]</sup>。Michelet 等<sup>[28]</sup> 研究 52 例食管癌根治术, 与传统通气组 (VT 9 ml/kg, 无 PEEP) 相比, VT 5 ml/kg 联合 5 cm H<sub>2</sub>O PEEP 的 LPV 组在食管癌根治术中可以减少全身炎症反应, 促进肺功能恢复, 并且拔管时间提前 [传统组 (171  $\pm$  57) min, LPV 组 (115  $\pm$  38) min,  $P<0.001$ ], 但术后病死率 (传统组 1/26, LPV 组 2/26,  $P=1.00$ ) 和住院时间 [传统组 (3.9  $\pm$  5.7) d,

LPV 组 ( $3.9 \pm 5.7$ ) d,  $P = 0.32$ ] 差异无显著性。一项 88 例开胸手术的 RCT 结果显示,在相同的低平台压下 ( $<32$  cm  $H_2O$ ),与大潮气量伴随低 PEEP 相比 (VT 8 ml/kg, PEEP 5 cm  $H_2O$ ),小潮气量伴随高 PEEP (VT 5 ml/kg, PEEP 视平台压调节) 的通气模式可以显著降低单肺通气中的肺损伤,但同时可能造成动脉氧合指数降低 (大潮气量组氧合指数 166, 小潮气量组氧合指数 156,  $P < 0.05$ )<sup>[29]</sup>,所以 5 ml/kg 小潮气量加高 PEEP 通气模式需进一步探讨并谨慎使用。

#### 4.2 PEEP 的选择

传统观点认为 PEEP 的使用可能会影响胸腔内压,从而影响静脉回流和器官灌注,导致非通气侧肺血流增加,加重肺内分流,降低氧合。Pinheiro de Oliveira 等<sup>[30]</sup>研究显示小潮气量联合 PEEP 的通气模式可改善机械应力,抑制肺部炎症介质的产生,有效减轻术后肺部的并发症。Schilling 等<sup>[31]</sup> 32 例开胸手术单肺通气的研究显示:与非保护性通气模式相比,保护性肺通气模式能明显减少肺泡中 TNF- $\alpha$  (非保护性通气 8.4  $\mu$ g/ml, 保护性通气 5.0  $\mu$ g/ml,  $P < 0.05$ ) 和可溶性细胞间黏附分子 1 (非保护性通气 52.7  $\mu$ g/ml, 保护性通气 27.5  $\mu$ g/ml,  $P < 0.05$ ) 等炎症因子的浓度。

#### 4.3 肺复张策略

作为保护性通气策略的补充,肺复张策略 (alveolar recruitment maneuvers, ARM) 可以改善预后和肺不张。肺复张手法可以使通气侧肺萎陷的肺泡扩张,改善通气血流比值,提高氧合,减少肺不张的发生。但肺复张的使用有很多不确定性和限制性,如本身的肺损伤、气胸、肺大泡、气管断裂等均不适用<sup>[32,33]</sup>。除此之外,对非通气侧肺可采用持续气道正压通气 (continuous positive airway pressure, CPAP),通过膨胀塌陷侧肺,改善非通气侧肺的通气血流比值,从而改善氧合。Kim 等<sup>[34]</sup>认为 6 cm  $H_2O$  CPAP 可有效改善动脉血氧分压而不会干扰手术野,9 cm  $H_2O$  CPAP 会对术野产生干扰,故 CPAP 的使用可从较低水平开始,并根据临床具体情况逐渐增加。

#### 5 小结

对于非 ALI/ARDS 需要全身麻醉 MV 的腹部和胸部手术患者,采用 LPVS 是否受益尽管尚有争论,但仍然是一项重要的趋势,有待于多学科多样本多中心的合作研究。对于大多数接受全麻手术的患

者,无明确肺部损伤是共同特点,但在其他方面仍有较大的异质性<sup>[35]</sup>,例如患者是否合并肺外其他器官的功能损伤,是否采用腔镜手术,单肺隔离技术,手术时间长短,是否接受输血、循环支持等特殊的治疗。特殊的疾病状态或治疗措施也有可能诱发或加重肺损伤。因此,术中保护性通气是否有利于所有患者仍未可知。对不同的手术类型、患者的基本情况进行分级、分组研究,扩大研究样本量,是今后 LPVS 在腹部和胸部全麻手术中研究的重点。

#### 参考文献

- 1 Ney L, Kuebler WM. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury. *N Engl J Med*, 2000,343(11):812-813.
- 2 Wilcox SR, Richards JB, Fisher DF, et al. Initial mechanical ventilator settings and lung protective ventilation in the ED. *Am J Emerg Med*, 2016,34(8):1446-1451.
- 3 郑康,郑亚安.肺保护性通气策略临床应用进展. *中国全科医学*, 2011,14(24):2816-2818.
- 4 Fioretto JR, Klefens SO, Pires RF, et al. Comparison between conventional protective mechanical ventilation and high-frequency oscillatory ventilation associated with the prone position. *Rev Bras Ter Intensiva*, 2017,29(4):427-435.
- 5 Guldner A, Kiss T, Serpa Neto A, et al. 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*, 2015,123(3):692-713.
- 6 Sutherasan Y, Vargas M, Pelosi P. Protective mechanical ventilation in the non-injured lung: review and meta-analysis. *Crit Care*, 2014,18(2):211-222.
- 7 Ghosh PS, Azim A, Saran S, et al. Comparison of hemodynamic monitoring between transesophageal Doppler and ultrasonography-guided inferior vena cava distensibility in supine versus prone position: A pilot study. *Indian J Crit Care Med*, 2018,22(12):836-841.
- 8 Weiser TG, Haynes AB, Molina G, et al. Size and distribution of the global volume of surgery in 2012. *Bull World Health Organ*, 2016,94(3):201-209.
- 9 Zhou ZF, Fang JB, Chen L, et al. Effects of intraoperative PEEP on postoperative pulmonary complications in patients undergoing robot-assisted laparoscopic radical resection for bladder cancer or prostate cancer: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 2019,20(1):304-312.
- 10 Futier E, Jaber S. Lung-protective ventilation in abdominal surgery. *Curr Opin Crit Care*, 2014,20(4):426-430.
- 11 Kubat Ö, Gökçek E, Kaydu A. An analysis of patients followed up in the intensive care unit with the diagnosis of acute respiratory distress syndrome. *Turk J Anaesthesiol Reanim*, 2019,47(1):62-68.

- 12 Meyers M, Rodrigues N, Ari A. High-frequency oscillatory ventilation: A narrative review. *Can J Respir Ther*, 2019, 55 (2) : 40 – 46.
- 13 Park SH. Perioperative lung-protective ventilation strategy reduces postoperative pulmonary complications in patients undergoing thoracic and major abdominal surgery. *Korean J Anesthesiol*, 2016, 69 (1) : 3 – 7.
- 14 Severgnini P, Selmo G, Lanza C, et al. Protective mechanical ventilation during general anesthesia for open abdominal surgery improves postoperative pulmonary function. *Anesthesiology*, 2013, 118 (6) : 1307 – 1321.
- 15 Serpa Neto A, Hemmes SN, Barbas CS, et al. Incidence of mortality and morbidity related to postoperative lung injury in patients who have undergone abdominal or thoracic surgery: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Respir Med*, 2014, 2 (12) : 1007 – 1015.
- 16 Weingarten TN, Whalen FX, Warner DO, et al. Comparison of two ventilatory strategies in elderly patients undergoing major abdominal surgery. *Br J Anaesth*, 2010, 104 (1) : 16 – 22.
- 17 Wolthuis EK, Choi G, Delsing MC, et al. Mechanical ventilation with lower tidal volumes and positive end-expiratory pressure prevents pulmonary inflammation in patients without preexisting lung injury. *Anesthesiology*, 2008, 108 (1) : 46 – 54.
- 18 Park SJ, Kim BG, Oh AH, et al. Effects of intraoperative protective lung ventilation on postoperative pulmonary complications in patients with laparoscopic surgery: prospective, randomized and controlled trial. *Surg Endosc*, 2016, 30 (10) : 4598 – 4606.
- 19 Kokulu S, Gunay E, Baki ED, et al. Impact of a lung-protective ventilatory strategy on systemic and pulmonary inflammatory responses during laparoscopic surgery: is it really helpful? *Inflammation*, 2015, 38 (1) : 361 – 377.
- 20 Nadeem RN, Elhoufi AM, Soliman MA, et al. Clinical predictors of adherence to low tidal volume ventilation practice: Is it different on weekend and night shifts? *Cureus*, 2019, 11 (6) : e4844.
- 21 Barnes L, Reed RM, Parekh KR, et al. Mechanical ventilation for the lung transplant recipient. *Curr Pulmonol Rep*, 2015, 4 (2) : 88 – 96.
- 22 Mao Z, Wang H. Effects of Xuanbai Chengqi decoction on lung compliance for patients with exogenous pulmonary acute respiratory distress syndrome. *Drug Des Devel Ther*, 2016, 10 : 793 – 798.
- 23 林文前, 陆霄云, 操隆辉, 等. 肺保护性通气策略对开胸单肺通气时炎症因子的影响. *癌症*, 2008, 27 (8) : 870 – 873.
- 24 Fernandez-Bustamante A, Hashimoto S, SerpaNeto A, et al. Perioperative lung protective ventilation in obese patients. *BMC Anesthesiol*, 2015, 15 : 56.
- 25 Kiss T, Wittenstein J, Becker C, et al. Protective ventilation with high versus low positive end-expiratory pressure during one-lung ventilation for thoracic surgery (PROTHOR): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 2019, 20 (1) : 213.
- 26 Hemmes SN, Gama de Abreu M, Pelosi P, et al. High versus low positive end-expiratory pressure during general anaesthesia for open abdominal surgery (PROVHILO trial): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet*, 2014, 384 (9942) : 495 – 503.
- 27 Costa Leme A, Hajjar LA, Volpe MS, et al. Effect of intensive vs moderate alveolar recruitment strategies added to lung-protective ventilation on postoperative pulmonary complications: A randomized clinical trial. *JAMA*, 2017, 317 (14) : 1422 – 1432.
- 28 Michelet P, D'Journo XB, Roch A, et al. Protective ventilation influences systemic inflammation after esophagectomy: a randomized controlled study. *Anesthesiology*, 2006, 105 (5) : 911 – 919.
- 29 Roze H, Lafargue M, Perez P, et al. Reducing tidal volume and increasing positive end-expiratory pressure with constant plateau pressure during one-lung ventilation: effect on oxygenation. *Br J Anaesth*, 2012, 108 (6) : 1022 – 1027.
- 30 Pinheiro de Oliveira R, Hetzel MP, dos Anjos Silva M, et al. Mechanical ventilation with high tidal volume induces inflammation in patients without lung disease. *Crit Care*, 2010, 14 (2) : R39.
- 31 Schilling T, Kozian A, Huth C, et al. The pulmonary immune effects of mechanical ventilation in patients undergoing thoracic surgery. *Anesth Analg*, 2005, 101 (4) : 957 – 965.
- 32 Gonçalves-Ferri WA, Jauregui A, Martins-Celini FP, et al. Analysis of different levels of positive end-expiratory pressure during lung retrieval for transplantation: an experimental study. *Braz J Med Biol Res*, 2019, 52 (7) : e8585.
- 33 Cagle LA, Franzi LM, Linderholm AL, et al. Effects of positive end-expiratory pressure and recruitment maneuvers in a ventilator-induced injury mouse model. *PLoS One*, 2017, 12 (11) : e0187419.
- 34 Baki ED, Kokulu S, Bal A, et al. Evaluation of low tidal volume with positive end-expiratory pressure application effects on arterial blood gases during laparoscopic surgery. *J Chin Med Assoc*, 2014, 77 (7) : 374 – 378.
- 35 苏瑞雪. 单肺通气中保护性通气策略使用现状. *甘肃医药*, 2014, 33 (7) : 526 – 529.
- 36 Kim YD, Ko S, Kim D, et al. The effects of incremental continuous positive airway pressure on arterial oxygenation and pulmonary shunt during one-lung ventilation. *Korean J Anesthesiol*, 2012, 62 (3) : 256 – 259.
- 37 汪海鑫, 徐 懋. 肺保护性通气在全身麻醉手术中的应用. *中国微创外科杂志*, 2016, 16 (7) : 665 – 672.
- 38 Aoyama H, Uchida K, Aoyama K, et al. Assessment of therapeutic interventions and lung protective ventilation in patients with moderate to severe acute respiratory distress syndrome: A systematic review and network meta-analysis. *JAMA Netw Open*, 2019, 2 (7) : e198116.

(收稿日期: 2019 – 11 – 06)

(修回日期: 2020 – 01 – 01)

(责任编辑: 李贺琼)