

胸科手术中肺保护性通气策略的研究进展*

任林雨 综述 曲音音** 魏 滨 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(2022)05-0417-04

doi:10.3969/j.issn.1009-6604.2022.05.010

一项多中心研究^[1]显示,1202 例腹部、骨科和神经外科手术后肺部并发症(postoperative pulmonary complications, PPCs)包括肺不张、支气管痉挛、肺炎、急性上呼吸道阻塞、急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)、肺水肿等,发生率为 33%。PPCs 是导致全身麻醉机械通气(mechanical ventilation, MV)患者预后不良和死亡的重要原因。与传统 MV 相比,肺保护性通气策略(lung protective ventilation strategy, LPVS)可降低 PPCs,改善患者预后^[2]。LPVS 的基本要素包括使用小潮气量(tidal volume, VT)即 4~6 ml/kg、呼气末正压(positive end expiratory pressure, PEEP)和肺复张手法(alveolar recruitment maneuvers, ARMs)^[3]。随着研究深入,LPVS 的内涵被不断拓展,从小 VT 到降低驱动压力,使用开放肺策略等。开放肺策略主要包括个体化 PEEP, ARMs 以及个体化驱动压、调整到最佳呼吸系统顺应性等。胸科手术中保留自主呼吸的非插管全身麻醉,减少因气管插管等造成的肺部损伤,同时也减少血流动力学波动及相关应激反应,降低 PPCs 的发生率。

胸科手术中需采取特殊手术体位和单肺通气(one lung ventilation, OLV),因此,胸科患者是 PPCs 的高危人群。手术体位(侧卧位)可引起非通气侧肺血液分流、动脉氧合受损。健侧肺的肺不张及通气血流比例(V/Q)失调会进一步加重低氧血症的发生^[4,5]。OLV 需要术侧肺长时间萎陷,健侧肺非生理性 MV,复合手术本身创伤对肺部的影响,患者可能出现严重的肺损伤和肺不张^[6]。因此,胸科术后 PPCs 发生率更高,为 10%~50%^[7]。在胸科手

术 OLV 中采用单肺保护性通气策略(one lung protective ventilation strategy, OLPVS)能够减轻机体氧化应激反应,降低 PPCs^[8,9]。加速术后康复(enhanced recovery after surgery, ERAS)协会和欧洲胸外科医师协会发布的胸科手术后快速康复指南中对于 OLPVS 的证据等级为中等,推荐等级为强^[10]。本文对胸科手术中 LPVS 的研究进展文献总结如下。

1 传统 LPVS

1.1 VT

VT 是 MV 的基本参数之一。小 VT 通气与术后肺功能改善相关^[11]。一项包含 28 项研究共 11 846 例的 meta 分析显示,在胸科手术中,与大潮气量 MV 相比,手术期间使用小 VT 可以降低吸入性肺炎及胸腔积液的发生率^[12]。也有研究显示小 VT 与术后 PPCs 发生率降低无关:一项包含 1080 例肺切除术的队列研究显示 VT ≤ 8 ml/kg 与 PPCs 如肺炎、ARDS 等发生率无关^[13]。

1.2 PEEP

MV 期间使用 PEEP 可以最大限度地减少肺泡塌陷,防止肺泡反复打开和闭合,降低气道阻力,改善通气血流比(V/Q),从而改善机体氧合,且不增加炎症因子的释放^[14~16]。但目前对于 PEEP 设定的目标值仍无定论。部分学者^[17,18]推荐使用中等水平(5~8 cm H₂O)的 PEEP,认为其在一定程度上有预防肺不张的作用。Savino 等^[19]对 41 例胸科手

* 基金项目:北京大学医学部教育教学研究立项课题(2021YB41)

** 通讯作者, E-mail: quyyin@bjmu.edu.cn

术 OLV 的研究显示,将 PEEP 从 0 cm H₂O 增加到 5 cm H₂O 和 10 cm H₂O,肺内分流量分别减少 5% 和 11%,氧合指数在 PEEP 10 cm H₂O 时显著增加。

1.3 ARMs

ARMs 是指间隔一定时间使用安全范围内的较高气道压扩张肺部,并维持一定的时间,目的是将塌陷的肺泡重新开放,同时联合适当的 PEEP,尽可能保持气道的开放状态。ARMs 可以提高肺顺应性,改善机体氧合,并对患者循环影响短暂^[20]。现阶段 ARMs 尚无统一标准,主要应用的包含压力控制法、PEEP 递增法及控制性肺膨胀等^[21]。与传统 MV 或单独 LPVS 相比,LPVS 中加入 ARMs 会降低血清及健侧肺中的炎症因子^[22]。Miura 等^[23]对 42 例肺肿瘤切除术且 OLV 至少需要 1 h 进行研究,对 ARMs 有反应的 50% 的患者中,通气侧肺的呼气末容积增加 20% 甚至更多,对 ARMs 有反应的患者中近 70% 增加的肺容积维持近 1 h。一项前瞻性多中心研究纳入 690 例 OLV 的胸科手术,观察术后 7 d PPCs,对所有患者行肺开放方法,结果显示在 OLV 期间接受开放肺策略可以降低术后 PPCs 发生率,仅为 11%^[24]。但 Beutler 等^[25]认为 ARMs 是对肺组织施加高压,该操作会导致呼吸机关联的肺损伤,可能损害循环稳定性。ARMs 可以激活严重的氧化应激反应且肺膨胀后导致的缺血再灌注等病理生理改变,可导致多种细胞因子释放而触发全身炎症反应^[26,27]。2019 年发布的加速肺部手术后快速康复的围手术期管理策略推荐使用 PEEP 滴定来代替 ARMs^[28]。关于 ARMs 是否应该应用到 OLPVS 的患者中,可能需要更多的研究来探究。

2 个体化 LPVS

2.1 个体化 PEEP

PEEP 设置不当反而可能会增加肺血管阻力,并将血流转移到非通气侧肺,从而引起 OLV 期间的氧合障碍^[29]。近年来,个体化 PEEP 受到越来越多的关注。个体化 PEEP 是依据患者胸腔形状、尺寸、肺本身体积大小、胸膜腔压力及腹内压等具体参数来设定目标 PEEP。采用个体化 PEEP 可以减少肺内分流、降低肺驱动压、改善氧合以及减少肺部的炎症。PEEP 滴定法是个体化 PEEP 的策略之一。该策略是依据患者肺顺应性来滴定最佳 PEEP,以降低驱动压。Xu 等^[30]在 75 例胸科手术 OLV 的随机对照研究中,依据肺顺应性进行最佳 PEEP 滴定,分为

无 PEEP 组及 PEEP 递增组,共 5 组,每组 15 例,与无 PEEP 组相比,PEEP 滴定组患者气道平台压更低,驱动压更低,动态顺应性更高,建议根据动态顺应性滴定的个体化 PEEP 策略可以改善呼吸力学,并推荐胸科手术 OLV 患者进行个体化 PEEP 设置。

2.2 VT 与 PEEP 组合

目前,多数研究对 LPVS 的单一因素进行研究,可能不能完全诠释该策略的保护作用,所以对多因素协同起来的研究日益增多。一项纳入 1019 例 OLV 的回顾性研究显示,如果没有足够的 PEEP (> 4.2 cm H₂O),单纯小 VT(预测体重 < 8 ml/kg VT)并不能预防 PPCs 的发生^[31]。16 项研究共 1054 例的 meta 分析显示小 VT(预测体重 6 ~ 8 ml/kg VT)联合 PEEP (≥ 5 cm H₂O)及间歇性肺复张策略可以减少 PPCs 的发生^[32]。一项包含 346 例 OLV 的多中心双盲对照研究显示,使用小 VT(理想体重 5 ml/kg VT)联合中等水平 PEEP(5 ~ 8 cm H₂O)的患者术后 PPCs 发生率更低^[33]。目前,研究者们试图找到一种固定的 VT 和 PEEP 组合以降低 PPCs。Colquhoun 等^[34]回顾 5 个手术中心 3232 例胸外科手术 OLV,多数 LPVS 集中在小 VT(≤ 5 ml/kg,理想体重)联合中等 PEEP (≥ 5 cm H₂O),但这种方案并未显著降低 PPCs。所以目前无法确定与 PPCs 降低相关的 PEEP 和 VT 的最佳组合。Colquhoun 等^[34]提出 LPVS 和常规通气之间的主要区别可能是使用开放肺策略,认为 LPVS 不单纯是降低 VT,而是通过肺开放策略最大限度的减少肺容量损失、肺不张及肺外伤的风险。尽管该研究尚未得到明确的结论,但也为后续精准化的 OLPVS 指明了新的研究方向。

2.3 驱动压指导的通气

驱动压是一种开放肺泡的压力,是 VT 与呼吸系统顺应性的比值,在无自主呼吸的 MV 患者中可简化为平台压与 PEEP 的差值^[35]。因此,最低驱动压指导下的通气模式是根据患者有效通气肺容量进行通气,可避免肺过度扩张或通气不足。目前,对 LPVS 的解读已由侧重小 VT 到降低驱动压。离体动物研究^[36]显示 MV 中驱动压力 10 cm H₂O 在肺组织学水平引起的损伤较低。驱动压是 PPCs 的唯一强相关因素,其压力的变化会增加 PPCs 的发生^[37]。一项包含 292 例胸科 OLV 的双盲随机对照研究显示,驱动压力引导下 MV 组 PPCs 发生率明显低于传统 LPVS 组[6.9% (10/145) vs. 15.0% (10/145)],

$P=0.028, OR=0.42, 95\% CI: 0.19 \sim 0.92$]^[38]。17 项包含 2250 例 LPVS 随机对照研究的 meta 分析显示,驱动压与 PPCs 的发生相关($OR=1.16, 95\% CI: 1.13 \sim 1.19, P<0.0001$),小 VT 通气时,因 PEEP 水平升高导致驱动压升高与更多的 PPCs 相关($OR=3.11, 95\% CI: 1.39 \sim 6.96, P=0.006$)^[37]。另一项回顾性研究的结果却相反,该研究使用修正驱动压($P_{max}-PEEP$),多元回归分析显示气道压力每增加 5 cm H₂O,修正驱动压并没有使 PPCs 发生率显著增加($OR=0.93, 95\% CI: 0.84 \sim 1.04, P=0.145$),认为驱动压与术后 PPCs 无关,此结论可能与修正驱动压不能很好地代替驱动压有关^[34]。

目前,尚有研究试图寻找 PEEP 和驱动压之间的相关性。根据驱动压滴定 PEEP 可获得呼吸系统和肺的最佳顺应性,可以减少术后 PPCs^[39]。一项胸科手术 OLV 期间驱动压力引导下寻找最佳 PEEP 的研究显示,最佳 PEEP 中位数为 3 cm H₂O,多数胸科手术患者 OLV 期间本身存在 2~6 cm H₂O 的内源性 PEEP,尽管 PEEP 较低,但在驱动压力组中仍能提供足够的通气,所以建议在 OLV 期间使用可以降低驱动压的个体化 PEEP,同时推荐胸外科手术应在最低驱动压力和最高呼吸系统顺应性下进行 MV^[38]。但需要引起警惕的是,即使滴定得到最佳 PEEP 和最低驱动压,在 OLV 期间也必须注意合理使用 PEEP。

OLPVS 研究结果的相互矛盾需要更多精准化的指标来评价。电阻抗断层扫描(electrical impedance tomography, EIT)、肺部超声等为 LPVS 提供可以量化评估的指标,也为精准化胸外科麻醉提供新的证据。

3 小结

PPCs 是影响患者术后快速康复、增加留院时间、加重医疗机构和患者自身负担及导致术后死亡率升高的重要原因。随着 ERAS 的广泛推广,胸科手术 OLPVS 的应用逐渐受到重视。随着各项研究的开展,LPVS 中单一因素的重要性也在发生演变,目前众多的研究更倾向于将多个变量协同来研究,不再过多强调某一单一因素。目前,对保护概念的理解已经从针对低 VT 发展到个体化滴定 PEEP、降低驱动压力、开放肺等。临床上也在试图通过一种特定组合方式来提出更加精准化的实践指导。对于

胸科手术来说,如何通过合适的 VT、最佳 PEEP、最低驱动压以及是否该使用 ARMs 来尽可能优化呼吸力学参数,最大程度减少 PPCs 的发生,仍需要临床上根据患者基本情况分级、分组进行多中心大样本的研究,以期达到个体化精准的 OLPVS 实践指导。

参考文献

- 1 Fernandez-Bustamante A, Frenzl G, Sprung J, et al. Postoperative pulmonary complications, early mortality, and hospital stay following non cardiothoracic surgery: a multicenter study by the perioperative research network investigators. *JAMA Surg*, 2017, 152(2): 157-166.
- 2 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.
- 3 O' Gara B, Talmor D. Perioperative lung protective ventilation. *BMJ*, 2018, 362: k3030.
- 4 Hedenstierna G, Tenling A. The lung during and after thoracic anaesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2005, 18(1): 23-28.
- 5 Duggan M, Kavanagh BP. Pulmonary atelectasis: A pathogenic perioperative entity. *Anesthesiology*, 2005, 102(4): 838-854.
- 6 Kidane B, Palma DC, Badner NH, et al. The potential dangers of recruitment maneuvers during one lung ventilation surgery. *J Surg Res*, 2019, 234: 178-183.
- 7 Kim ES, Kim YT, Kang CH, et al. Prevalence of and risk factors for postoperative pulmonary complications after lung cancer surgery in patients with early-stage COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2016, 11: 1317-1326.
- 8 Kim HJ, Seo JH, Park KU, et al. Effect of combining a recruitment maneuver with protective ventilation on inflammatory responses in video-assisted thoracoscopic lobectomy: a randomized controlled trial. *Surg Endosc*, 2019, 33(5): 1403-1411.
- 9 Lee JH, Bae JI, Jang YE, et al. Lung protective ventilation during pulmonary resection in children: a prospective, single centre, randomised controlled trial. *Br J Anaesth*, 2019, 122(5): 692-701.
- 10 Batchelor TJP, Rasburn NJ, Abdelnour-Berchtold E, et al. Guidelines for enhanced recovery after lung surgery: recommendations of the enhanced recovery after surgery (ERAS?) Society and the European Society of Thoracic Surgeons (ESTS). *Eur J Cardiothorac Surg*, 2019, 55(1): 91-115.
- 11 Bluth T, Serpa Neto A, Schultz MJ, et al. Effect of intraoperative high positive end-expiratory pressure (PEEP) with recruitment maneuvers vs low PEEP on postoperative pulmonary complications in obese patients: a randomized clinical trial. *JAMA*, 2019, 321(23): 2292-2305.
- 12 Lei M, Bao Q, Luo H, et al. Effect of intraoperative ventilation strategies on postoperative pulmonary complications: A meta-

- analysis. *Front Surg*, 2021, 8:728056.
- 13 Amar D, Zhang H, Pedoto A, et al. Protective lung ventilation and morbidity after pulmonary resection: a propensity score matched analysis. *Anesth Analg*, 2017, 125(1):190–199.
- 14 Licker M, Diaper J, Villiger Y, et al. Impact of intraoperative lung-protective interventions in patients undergoing lung cancer surgery. *Crit Care*, 2009, 13(2):R41.
- 15 Michelet P, Roch A, Brousse D, et al. Effects of PEEP on oxygenation and respiratory mechanics during one-lung ventilation. *Br J Anaesth*, 2005, 95(2):267–273.
- 16 Fiorelli S, Defraia V, Cipolla F, et al. Short-term one-lung ventilation does not influence local inflammatory cytokine response after lung resection. *J Thorac Dis*, 2018, 10(3):1864–1874.
- 17 Ladha K, VidalMelo MF, McLean DJ, et al. Intraoperative protective mechanical ventilation and risk of postoperative respiratory complications: Hospital based registry study. *BMJ*, 2015, 351:h3646.
- 18 Levin MA, McCormick PJ, Lin HM, et al. Low intraoperative tidal volume ventilation with minimal PEEP is associated with increased mortality. *Br J Anaesth*, 2014, 113(1):97–108.
- 19 Savino S, Salvatore G, Dan SK, et al. Physiologic evaluation of ventilation perfusion mismatch and respiratory mechanics at different positive end-expiratory pressure in patients undergoing protective one-lung ventilation. *Anesthesiology*, 2018, 128(3):531–538.
- 20 钱敏, 傅元豪, 凌云鹏, 等. 呼气末正压递增法肺复张对左胸微创冠状动脉旁路移植术患者血流动力学及呼吸力学的影响. *中国微创外科杂志*, 2021, 21(8):710–715.
- 21 Güldner 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.
- 22 Kim HJ, Seo JH, Park KU, et al. Effect of combining a recruitment maneuver with protective ventilation on inflammatory responses in video-assisted thoracoscopic lobectomy: a randomized controlled trial. *Surg Endosc*, 2019, 33(5):1403–1411.
- 23 Miura Y, Ishikawa S, Nakazawa K, et al. Effects of alveolar recruitment maneuver on end-expiratory lung volume during one-lung ventilation. *J Anesth*, 2020, 34(2):224–231.
- 24 Belda J, Ferrando C, Garutti I. The effects of an open-lung approach during one-lung ventilation on postoperative pulmonary complications and driving pressure: A descriptive, multicenter national study. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2018, 32(6):2665–2672.
- 25 Beitler JR, Malhotra A, Thompson BT. Ventilator-induced lung injury. *Clin Chest Med*, 2016, 37(4):633–646.
- 26 Lederman D, Easwar J, Feldman J, et al. Anesthetic considerations for lung resection: preoperative assessment, intraoperative challenges and postoperative analgesia. *Ann Transl Med*, 2019, 7(15):356.
- 27 孙梦寒, 茆梦, 孙杰. 胸腔镜部分肺切除术后肺部并发症的危险因素. *临床麻醉学杂志*, 2020, 36(8):759–762.
- 28 Yu F, Zhao S, Zhang P, et al. Clinical guidelines on perioperative management strategies for enhanced recovery after lung surgery. *Transl Lung Cancer Res*, 2019, 8(6):1174–1187.
- 29 Rozé 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 Xu D, Wei W, Chen L, et al. Effects of different positive end-expiratory pressure titrating strategies on oxygenation and respiratory mechanics during one-lung ventilation: a randomized controlled trial. *Ann Palliat Med*, 2021, 10(2):1133–1144.
- 31 Blank RS, Colquhoun DA, Durieux ME, et al. Management of one-lung ventilation: impact of tidal volume on complications after thoracic surgery. *Anesthesiology*, 2016, 124(6):1286–1295.
- 32 Yang D, Grant MC, Stone A, et al. A meta-analysis of intraoperative ventilation strategies to prevent pulmonary complications: is low tidal volume alone sufficient to protect healthy lungs? *Ann Surg*, 2016, 263(5):881–887.
- 33 Marret E, Cinotti R, Berard L, et al. Protective ventilation during anaesthesia reduces major postoperative complications after lung cancer surgery: A double-blind randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol*, 2018, 35(10):727–735.
- 34 Colquhoun DA, Leis AM, Shanks AM, et al. A lower tidal volume regimen during one-lung ventilation for lung resection surgery is not associated with reduced postoperative pulmonary complications. *Anesthesiology*, 2021, 134(4):562–576.
- 35 Amato MB, Meade MO, Slutsky AS, et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*, 2015, 372(8):747–755.
- 36 Araos J, Alegria L, Garcia P, et al. Near-apneic ventilation decreases lung injury and fibroproliferation in an acute respiratory distress syndrome model with extracorporeal membrane oxygenation. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 199(5):603–612.
- 37 Neto AS, Hemmes SN, Barbas CS, et al. Association between driving pressure and development of postoperative pulmonary complications in patients undergoing mechanical ventilation for general anaesthesia: a meta-analysis of individual patient data. *Lancet Respir Med*, 2016, 4(4):272–280.
- 38 Park M, Ahn HJ, Kim JA, et al. Driving pressure during thoracic surgery: a randomized clinical trial. *Anesthesiology*, 2019, 130(3):385–393.
- 39 Battaglini D, Ball L, Wittenstein J, et al. PEEP in thoracic anaesthesia: pros and cons. *Minerva Anesthesiol*, 2021, 87(2):223–229.

(收稿日期: 2021–12–17)

(修回日期: 2022–04–09)

(责任编辑: 李贺琼)