

- [21] 中国心胸血管麻醉学会血液管理分会. 心血管手术患者血液管理专家共识. 中国输血杂志, 2018, 31(4): 321-325.
- [22] Singh NG, Nagaraja PS, Gopal D, et al. Feasibility of measuring superior mesenteric artery blood flow during cardiac surgery under hypothermic cardiopulmonary bypass using transesophageal echocardiography: an observational study. *Ann Card Anaesth*, 2016, 19(3): 399-404.
- [23] Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, et al. 2014 AHA/ACC guideline for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American college of cardiology/American heart association task force on practice guidelines. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 148(1): e1-1e132.
- [24] Greisen J, Nielsen DV, Sloth E, et al. High thoracic epidural analgesia decreases stress hyperglycemia and insulin need in cardiac surgery patients. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2013, 57(2): 171-177.
- [25] Markham T, Wegner R, Hernandez N, et al. Assessment of a multimodal analgesia protocol to allow the implementation of enhanced recovery after cardiac surgery: retrospective analysis of patient outcomes. *J Clin Anesth*, 2019, 54:76-80.
- [26] Zhang S, Wu X, Guo H, et al. Thoracic epidural anesthesia improves outcomes in patients undergoing cardiac surgery: meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur J Med Res*, 2015, 20: 25.

(收稿日期:2019-11-18)

· 继续教育 ·

单肺通气期间低氧血症的发生机制及防治策略

邓惠民 冯迪 吕欣

单肺通气(one-lung ventilation, OLV)是保障胸科手术顺利进行的关键技术。但 OLV 期间约有 9%~27% 的患者发生低氧血症^[1],给手术顺利进行带来风险。低氧血症会增加患者在围术期发生认知功能障碍、房颤、肾衰竭和肺动脉高压等并发症的风险^[2]。因此,在进行 OLV 时低氧血症的预防和处理是术中麻醉管理的重要问题。本文就近年来 OLV 期间低氧血症的发生机制和防治策略的研究进展作一综述。

低氧血症的原因与机制

支气管导管错位 胸科手术进行 OLV 时,发生低氧血症最常见的原因是双腔支气管导管位置不正确。研究表明,摆放好体位后发生双腔支气管导管移位的几率为 32%,经纤维支气管镜调整后,双腔支气管导管移位的几率依然高达 25%,双腔支气管导管移位的患者,97%会出现低氧血症^[3]。同时,非胸外科专科麻醉科医师所做的双腔支气管插管,位置不正确情况发生的几率高达 39%^[4]。近年来,随着可视双腔支气管导管的使用,支气管内插管位置的准确率有所提高,但其在术中发生移位的几率仍然有 35.1%^[5]。OLV 时,双腔支气管导管位置过深、过浅,以及导管发生旋转、堵塞左上叶开口,进入右主支气管或右肺上叶支气管开口堵塞等情况都会影响通气,导致低氧血症的发生。

异常呼吸生理 OLV 时,非通气侧肺的持续灌流和通

气侧肺的扩张不充分,手术中的麻醉药物和患者体位改变均可影响肺内分流。通气侧肺的通气/血流(V/Q)比值异常是导致低氧血症的原因之一。侧卧位时,受重力影响,患侧肺血液更多流向健侧肺,有利于减少低氧血症的发生,但由于受到腹腔脏器压迫等原因,而使下侧膈肌抬高,下肺顺应性低于上肺,闭合气量明显增加,功能残气量减少,V/Q 比值下降,如通气稍有不足易发生肺不张,从而导致 PaO₂ 下降。由于右肺的血流量占心排出量的 55%,而左肺占 45%,因此,右肺手术时低氧血症的发生率高于左肺手术^[6]。OLV 期间,混入的静脉血预计占总心输出量的 20%~25%^[7]。在纯氧通气的情况下,双肺通气期间 PaO₂ 约为 350~400 mmHg,当改为 OLV 时,PaO₂ 约为 150~200 mmHg^[2]。此外,OLV 还会对通气侧肺和萎陷的非通气侧肺造成不同程度的损伤^[8],OLV 引起的肺损伤也会影响术中患者的氧合,及增加术后肺部并发症^[9]。

缺氧性肺血管收缩(hypoxic pulmonary vasoconstriction, HPV) 受抑制 HPV 是肺循环特有的一种适应性机制,可促使缺氧肺泡区的血液转流到通气好的肺泡区,从而改善 V/Q 失调。当肺泡氧分压降低时可激发 HPV,使缺氧区的肺毛细血管前小动脉收缩,血管阻力增加,血流量减少,更多的血液流向通气好的肺泡区从而减少肺内的分流。许多因素如麻醉药物、酸碱失衡、温度、血管舒张药和肺部操作等均可能影响非通气肺的 HPV 机制,肺泡缺氧刺激产生多种血管活性物质,如肽类内皮素、血栓素 A、血小板激活因子和白三烯,这些血管活性物质都有很强的血管收缩作用^[7]。麻醉期间使用的许多药物都会对 HPV 产生抑制,所有挥发性麻醉药均以剂量依赖性方式抑制 HPV。因此,HPV 受到抑制

DOI:10.12089/jca.2020.12.022

基金项目:国家自然科学基金(81671947);上海市科委产学研合作项目(16DZ1930307)

作者单位:200433 同济大学附属上海市肺科医院麻醉科

通信作者:吕欣,Email: xinlv@126.com

是 OLV 期间发生低氧血症的主要原因之一^[7]。

术中急性肺栓塞^[10] 当胸部外伤患者进行 OLV 时发生不明原因的低氧血症,需要考虑是否发生肺栓塞。肺栓塞的发生在临床上并不多见,但不能被忽视。OLV 过程中所出现的低氧血症,排除患者痰栓阻塞气道及其他急性呼吸道梗阻等情况后,若仍未找到原因,且伴随血压降低、窦性心动过速或新发右心功能不全的心电图改变以及呼气末二氧化碳降低等呼吸和循环的变化时,应及时判断是否出现了肺栓塞。

术前肺功能情况 尽管通气肺本身的病变可能导致 OLV 时发生低氧血症,但并非所有肺功能指标都确实可靠。有研究表明^[11],慢性气流受阻反而可能改善 OLV 期间患者的氧合情况,这可能是由于肺泡过度充气导致通气侧肺内源性 PEEP 形成所致。但是,对于重度慢性阻塞肺疾病患者,这种保护效应不明显,因为这些患者可能已经出现肺动脉压升高和肺血管床减少。非通气侧肺的术前肺功能情况也与患者术中 OLV 期间的氧合情况相关,如果非通气侧肺病变严重,则术前流向该侧肺的血流可能会减少,OLV 期间产生的分流也会减少,从而改善氧合。

低氧血症的防治策略

OLV 期间一旦发生低氧血症,应及时处理,优先检查气道是否通畅,排除双腔支气管导管错位、痰液或其他分泌物等阻塞气道等最常引起低氧血症的原因。若患者的氧合情况仍未改善,应及时调整通气策略,必要时药物干预和外科干预也能通过减少肺内分流改善氧合。此外,若遇到上述方法都无法改善的顽固性低氧血症,体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)可以为患者提供满意的氧合。

优先处理 如果术中出现低氧血症,除非紧急手术操作外,均需暂停手术,调整 FiO₂ 至 100%,将 OLV 改为双肺通气,待低氧血症纠正之后再重新进行 OLV 和手术操作。由于包括双腔支气管导管、支气管封堵器等肺隔离装置的位置不佳是引起低氧血症的常见原因^[2],因此,情况稳定之后,需要重新使用纤维支气管镜对双腔支气管导管或者支气管封堵器进行定位,确保其位置合适。此外,也需要对患者通气侧肺的气管及支气管进行纤维支气管镜检查,排除有痰液和其他分泌物阻塞管腔的情况。

通气策略 优化 OLV 期间的通气策略,不仅可以在患者发生低氧血症时改善患者的氧合情况,更可以预防和减少 OLV 期间低氧血症的发生。

(1)潮气量。胸外科手术中机械通气如管理不善可造成呼吸机相关性肺损伤。Lohser 等^[12]研究表明,与小潮气量(5 ml/kg)比较,在 OLV 期间大潮气量(8~10 ml/kg)易引起肺部炎症,不利于患者的氧合,且增加术中低氧血症的发生,甚至会增加术后并发症。最近一项 Meta 分析^[13]表明,行胸外科手术的患者,小潮气量通气可更好地维持 OLV 的氧合,并且肺部感染及急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory

distress syndrome, ARDS)的发生率也明显较低。在 OLV 期间,潮气量 4~6 ml/kg,呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)5 cmH₂O,维持气道压力小于 25 cmH₂O 是较为推荐的通气参数设置^[14]。

(2)肺复张。肺复张是指给气道施加一个足够的压力,且持续一段时间,让先前萎陷的肺泡重新张开。在 OLV 期间或 OLV 结束后数分钟内进行肺复张,联合足够的 PEEP 可减少肺不张的发生,改善患者氧合,减少肺内分流以及肺内死腔^[15]。在 OLV 期间患者处于侧卧位,通气侧肺进行 1 min 的肺复张,随后持续进行 5 cmH₂O 压力的 PEEP 通气,可改善患者的氧合情况^[16]。通过 PEEP 递减试验可测得的针对患者的个体化最佳 PEEP,与传统的标准 PEEP(5 cmH₂O)比较,个体化 PEEP 可以使患者取得最大的动态肺顺应性,更好地保持肺复张,从而取得更好的氧合^[17]。

(3)两肺差异性通气。两肺差异性通气策略也可改善 OLV 时的氧合,且较传统方法对手术侧肺进行持续气道正压通气(continuous positive airway pressure, CPAP)效果更佳。在一项对 30 例接受择期视频辅助胸腔镜肺叶切除术的成年患者的前瞻性研究^[18]中,当需要 OLV 时,维持非手术侧肺的通气参数不变,手术侧肺通气参数:RR 8 次/分,FiO₂ 100%,潮气量 50 ml,气道峰压 10 cmH₂O。与 OLV 组比较,OLV 复合 CPAP 组患者的 PaO₂ 明显升高,且三组间在手术侧的暴露上无明显差异。Jung 等^[19]研究表明,对手术侧肺进行无压力性供氧,即只对手术侧肺进行纯氧的供应,但不给予压力,设置氧流量为 3 L/min,也可以较单纯 OLV 改善患者的氧合,同时不影响手术暴露。

(4)选择性肺叶通气。选择性肺叶通气技术,即通过双腔支气管插管或支气管封堵器,在 OLV 期间对手术侧肺中对手术暴露影响较小或没有影响的单个肺叶进行选择性的通气,在满足手术视野暴露的前提下可更好地保证机体的氧合。与传统的 OLV 比较,选择性肺叶通气技术可以有效增加患者 OLV 期间的肺泡换气面积,改善氧合^[20]。

(5)高频喷射通气。近年来,高频喷射通气等方式已应用于单肺通气来维持或提高 OLV 期间的氧合。Feng 等^[21]研究表明,OLV 期间,维持 P_{ET}CO₂ 在 35~45 mmHg,采用低潮气量(1~2 ml/kg),高频率(40 次/分)通气模式,这种高频通气模式与传统的通气模式比较,更有利于提高患者的氧合指数。该研究还比较了使用低流量高频通气模式的患者和传统通气模式患者的术中肺部切片,结果表明接受低流量高频通气模式的患者发生肺间质水肿、肺泡水肿及中性粒细胞聚集情况相对较少。此外,也有病例报道显示,高频喷射通气可改善 OLV 期间的氧合^[22],将喷射通气机与支气管封堵器相连,对术侧肺进行 2 Hz 的频率进行高频喷射通气,驱动压力 25 PSI,吸气时间设定为 25%,患者 SpO₂ 从单纯 OLV 时 71%提升至 98%。

药物干预 HPV 作为一种机体自身的保护机制,可促使缺氧肺泡区的血液流向通气好的肺泡区,因此可以通过药物来增强 HPV 的作用从而减少分流,改善 OLV 时的氧合。

(1) 一氧化氮。吸入一氧化氮可以扩张通气侧肺的血管,提高灌注,减少分流,从而改善 OLV 期间的氧合情况。但有研究表明^[23], OLV 期间吸入一氧化氮并不能改善患者的氧合情况。因此,一氧化氮并未作为 OLV 期间常规应用的药物。

(2) 阿米特林。阿米特林是一种呼吸兴奋剂, Silva-Costa-Gomes 等^[24]研究表明, OLV 期间,静脉注射阿米特林联合一氧化氮吸入,可以改善氧合。上述研究为了排除吸入麻醉药对 HPV 的影响,均在全凭静脉麻醉的条件下进行。Bermejo 等^[25]研究表明,在患者使用七氟醚等吸入性麻醉药时,阿米特林并不能改善患者的氧合。因此,阿米特林的使用也仍存在争议。

(3) 右美托咪定。右美托咪定近年来在临床上广为应用。朱焱林等^[26]研究表明,术中使用右美托咪定可以减轻 OLV 引起的炎症反应,改善患者术中 OLV 时的氧合。除了常规静脉应用, Kar 等^[27]将右美托咪定用于需要进行 OLV 的胸外科手术患者的硬膜外腔,结果表明硬膜外腔加入右美托咪定可以使接受开胸手术的患者 OLV 期间的氧合得到改善,并降低肺内分流,同时还能减少术中麻醉和镇痛药物的用量。

(4) 伊洛前列素。伊洛前列素是一种稳定的前列环素类似物,可扩张全身和肺动脉血管床。伊洛前列素吸入治疗肺动脉高压时,首先作用于肺血管,从而降低肺血管阻力。Choi 等^[28]研究表明,伊洛前列素可在 OLV 时吸入,选择性扩张通气侧肺的血管,增加通气侧肺的血液灌注,减少肺内分流,从而改善 OLV 时的氧合。

外科干预 对非通气侧肺的血流进行机械性限制,可减少甚至消除无效分流。在 OLV 时出现低氧血症,可与外科医师沟通,通过钳夹肺动脉,阻断流向手术侧未通气肺的血流,从而消除无效分流,更多的血流可流向通气侧肺,进而改善机体氧合。但在肺叶切除手术中肺动脉钳夹技术应谨慎使用,因为重新开放肺动脉时,血流的再灌注可引起再灌注区域的肺损伤^[8]。

ECMO 应用 越来越多的个案报道关于 ECMO 应用于传统技术无法维持氧合的胸外科手术。ECMO 用于胸外科手术可分为:静脉-静脉型(VV)和静脉-动脉型(VA)。ECMO 的优势是:当患者合并特殊并发症或存在解剖结构异常而无法进行适当通气或充分通气的情况下,可以维持足够氧合,排除二氧化碳。有关 ECMO 用于合并严重气道阻塞的患者接受气管肿物切除或气管支架植入手术的个案报道,术中运用 ECMO 可为患者提供满意的氧合^[29-30]。

小 结

OLV 期间易发生低氧血症,除了导管位置不正确等主要原因之外,肺泡 V/Q 比值失调,肺内分流,导致动脉血氧分压下降;非通气侧肺萎陷与通气侧肺正压通气所致的肺损伤;麻醉及手术期间 HPV 受到抑制;以及手术过程中出现的急性肺栓塞和呼吸道梗阻等。因此,要尽可能减少非通气侧

肺血流以减少肺内分流和低氧血症的发生。同时,要采用保护性肺通气策略,以减少对通气侧和非通气侧肺的损伤。麻醉及手术期间,合理使用药物,尽可能减少对 HPV 的抑制,增强 HPV 这一机体自身保护机制。为减少 OLV 期间低氧血症的发生,应对患者进行充分的术前评估,并在术中 OLV 期间密切关注患者的氧合情况,一旦发生低氧血症,及时处理,通过调整呼吸策略,药物干预维持氧合。如果上述方法仍然难以维持氧合,为避免患者出现严重低氧血症,必要时需暂停手术操作,采取间断双肺通气的方法维持氧合。在气道受损或 OLV 期间无法维持满意氧合的情况下,也可考虑使用 ECMO 来维持氧合。

参 考 文 献

- [1] 刘仁玉, 杭燕南. 单肺通气方法和低氧血症防治. 临床麻醉学杂志, 1998, 14(5): 26-28.
- [2] Campos JH, Feider A. Hypoxia during one-lung ventilation—a review and update. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2018, 32(5): 2330-2338.
- [3] Inoue S, Nishimine N, Kitaguchi K, et al. Double lumen tube location predicts tube malposition and hypoxaemia during one lung ventilation. Br J Anaesth, 2004, 92(2): 195-201.
- [4] Campos JH, Hallam EA, Van Natta T, et al. Devices for lung isolation used by anesthesiologists with limited thoracic experience: comparison of double-lumen endotracheal tube, Uni-vent torque control blocker, and Arndt wire-guided endobronchial blocker. Anesthesiology, 2006, 104(2): 261-266.
- [5] Heir JS, Guo SL, Purugganan R, et al. A randomized controlled study of the use of video double-lumen endobronchial tubes versus double-lumen endobronchial tubes in thoracic surgery. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2018, 32(1): 267-274.
- [6] Yao HY, Liu TJ, Lai HC. Risk factors for intraoperative hypoxemia during monopulmonary ventilation: an observational study. Rev Bras Anesthesiol, 2019, 69(4): 390-395.
- [7] Lumb AB, Slinger P. Hypoxic pulmonary vasoconstriction: physiology and anesthetic implications. Anesthesiology, 2015, 122(4): 932-946.
- [8] 周婉君, 王全, 刘曼. 单肺通气期间双侧肺损伤不同机制的研究进展. 临床麻醉学杂志, 2017, 33(2): 193-195.
- [9] de la Gala F, Piñeiro P, Reyes A, et al. Postoperative pulmonary complications, pulmonary and systemic inflammatory responses after lung resection surgery with prolonged one-lung ventilation. Randomized controlled trial comparing intravenous and inhalational anaesthesia. Br J Anaesth, 2017, 119(4): 655-663.
- [10] Jorgenson A, Jaeger JM, de Souza DG, et al. Acute intraoperative pulmonary embolism: an unusual cause of hypoxemia during one-lung ventilation. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2011, 25(6): 1113-1115.
- [11] Bardoczky GI, Szegedi LL, d'Hollander AA, et al. Two-lung and one-lung ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: the effects of position and FIO₂. Anesth

- Analg, 2000, 90(1): 35-41.
- [12] Lohser J, Slinger P. Lung injury after one-lung ventilation: a review of the pathophysiologic mechanisms affecting the ventilated and the collapsed lung. *Anesth Analg*, 2015, 121(2): 302-318.
- [13] El Tahan MR, Pasin L, Marczin N, et al. Impact of low tidal volumes during one-lung ventilation. A meta-analysis of randomized controlled trials. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2017, 31(5): 1767-1773.
- [14] Slinger PD. Do low tidal volumes decrease lung injury during one-lung ventilation. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2017, 31(5): 1774-1775.
- [15] 苏瑞雪, 李玉兰, 张杨, 等. 肺复张联合呼气末正压通气对单肺通气病人的肺保护效应. *中华麻醉学杂志*, 2015, 35(3): 383-384.
- [16] Cinnella G, Grasso S, Natale C, et al. Physiological effects of a lung-recruiting strategy applied during one-lung ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2008, 52(6): 766-775.
- [17] Ferrando C, Mugarra A, Gutierrez A, et al. Setting individualized positive end-expiratory pressure level with a positive end-expiratory pressure decrement trial after a recruitment maneuver improves oxygenation and lung mechanics during one-lung ventilation. *Anesth Analg*, 2014, 118(3): 657-665.
- [18] Kremer R, Aboud W, Haberfeld O, et al. Differential lung ventilation for increased oxygenation during one lung ventilation for video assisted lung surgery. *J Cardiothorac Surg*, 2019, 14(1): 89.
- [19] Jung DM, Ahn HJ, Jung SH, et al. Apneic oxygen insufflation decreases the incidence of hypoxemia during one-lung ventilation in open and thoracoscopic pulmonary lobectomy: a randomized controlled trial. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2017, 154(1): 360-366.
- [20] 史志国, 宋艳华, 傅强. 选择性肺叶隔离技术在胸椎结核开胸手术中的应用. *临床麻醉学杂志*, 2019, 35(3): 279-283.
- [21] Feng Y, Wang J, Zhang Y, et al. One-lung ventilation with additional ipsilateral ventilation of low tidal volume and high frequency in lung lobectomy. *Med Sci Monit*, 2016, 22: 1589-1592.
- [22] El-Tahan MR, Doyle DJ, Hassieb AG. High-frequency jet ventilation using the Arndt bronchial blocker for refractory hypoxemia during one-lung ventilation in a myasthenic patient with asthma. *J Clin Anesth*, 2014, 26(7): 570-573.
- [23] Fradj K, Samain E, Delefosse D, et al. Placebo-controlled study of inhaled nitric oxide to treat hypoxaemia during one-lung ventilation. *Br J Anaesth*, 1999, 82(2): 208-212.
- [24] Silva-Costa-Gomes T, Gallart L, Vallès J, et al. Low-vs high-dose almitrine combined with nitric oxide to prevent hypoxia during open-chest one-lung ventilation. *Br J Anaesth*, 2005, 95(3): 410-416.
- [25] Bermejo S, Gallart L, Silva-Costa-Gomes T, et al. Almitrine fails to improve oxygenation during one-lung ventilation with sevoflurane anesthesia. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2014, 28(4): 919-924.
- [26] 朱焱林, 蒋亚欧, 肖红波, 等. 右美托咪定对单肺通气患者动脉血气和炎症因子的影响. *临床麻醉学杂志*, 2017, 33(11): 1070-1073.
- [27] Kar P, Durga P, Gopinath R. The effect of epidural dexmedetomidine on oxygenation and shunt fraction in patients undergoing thoracotomy and one lung ventilation: a randomized controlled study. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*, 2016, 32(4): 458-464.
- [28] Choi H, Jeon J, Huh J, et al. The effects of iloprost on oxygenation during one-lung ventilation for lung surgery: a randomized controlled Trial. *J Clin Med*, 2019, 8(7).
- [29] Dunkman WJ, Nicoara A, Schroder J, et al. Elective venovenous extracorporeal membrane oxygenation for resection of endotracheal tumor: a case report. *A A Case Rep*, 2017, 9(4): 97-100.
- [30] Kim CW, Kim DH, Son BS, et al. The feasibility of extracorporeal membrane oxygenation in the variant airway problems. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 21(6): 517-522.

(收稿日期:2019-11-26)

· 病例报道 ·

致心律失常性左心室心肌病患者行全子宫及双侧输卵管切除术麻醉管理一例

马璐璐 黄宇光

患者,女,39岁,165 cm,90 kg,因“子宫肌瘤”入院。既往乏力、心悸多年,未予特殊诊治。2004年开腹子宫肌瘤剔除术,2006年和2013年两次剖宫产史。2017年因急性心力衰

竭外院就诊,诊断为致心律失常性左心室心肌病,规律药物治疗(比索洛尔 10 mg、坎地沙坦 24 mg,每天1次),目前日常生活不受限,代谢当量(MET)评分6分,夜间可平卧,劳累后有心慌。腹部超声提示:子宫 9.8 cm×10 cm×10.8 cm,子宫多发肌瘤(肌壁间和浆膜下),左前壁 8.5 cm×7.4 cm×7.2 cm,后壁 5.1 cm×3.8 cm。心脏彩超示:左心增大,左室舒张末直径 66 mm,EF 55%。左室下后壁运动幅度减低,三尖瓣

DOI:10.12089/jca.2020.12.023

作者单位:100730 中国医学科学院 北京协和医学院 北京协和医院麻醉科

通信作者:黄宇光,Email: garybeijing@163.com