

· 综述 ·

体外膜肺氧合在肺移植围手术期的应用进展

于慧智 李小杉 张慧敏 李静静 马舒玉 胡春晓

【摘要】 肺移植是多种终末期肺病的终极治疗方法，但肺移植围手术期的管理错综复杂、患者病死率高。体外膜肺氧合（ECMO）作为一种体外呼吸、循环支持的有效手段，在肺移植围手术期支持治疗中发挥着重要作用，突破了以往一些禁忌证的限制，促进了肺移植事业的发展。本文对 ECMO 在肺移植围手术期的适应证、置管策略及应用作一综述。

【关键词】 体外膜肺氧合（ECMO）；肺移植；适应证；围手术期；原发性移植物功能障碍（PGD）；桥接治疗；体外循环；辅助通气

【中图分类号】 R617, R563 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445（2020）06-0017-06

Application progress of extracorporeal membrane oxygenation in the perioperative period of lung transplantation Yu Hui^{zhi}*, Li Xiaoshan, Zhang Huimin, Li Jingjing, Ma Shuyun, Hu Chunxiao. *Department of Anesthesiology, Wuxi People's Hospital Affiliated to Nanjing Medical University, Wuxi 214023, China
Corresponding author: Hu Chunxiao, Email: huchunxiao91211@163.com

【Abstract】 Lung transplantation is the ultimate treatment for many kinds of end-stage lung diseases. However, the perioperative management of lung transplantation is complicated with high fatality of patients. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) is an effective method of extracorporeal respiration and circulation support. ECMO plays an important role in the perioperative support treatment of lung transplantation, which breaks the limitation of contraindications and promotes the development of lung transplantation. In this article, the indications, catheter placement strategies and application of ECMO in the perioperative period of lung transplantation were reviewed.

【Key words】 Extracorporeal membrane oxygenation(ECMO); Lung transplantation; Indication; Perioperative period; Primary graft dysfunction (PGD); Bridging therapy; Cardiopulmonary bypass; Assisted ventilation

肺移植是多种终末期肺病的终极治疗方法，如慢性阻塞性肺疾病、特发性间质性肺炎和肺囊性纤维化。肺移植成功的关键在于围手术期的体外肺辅助装置和措施。体外膜肺氧合（extracorporeal membrane oxygenation, ECMO）用于危重患者呼吸、循环支持

已有 40 多年历史，据体外生命支持组织登记处统计，自 1989 年以来，ECMO 已为全球超过 65 000 例患者提供了辅助支持^[1-2]。近年来，ECMO 在肺移植术前、术中和术后的心、肺支持方面的应用越来越成熟，并取得了良好的效果，为肺移植患者提供了灵活多样的

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2020.06.017

基金项目：国家自然科学基金青年科学基金项目（BK20160196）；无锡市卫生和计划生育委员会重大项目（Z201801）；无锡市卫生健康委员会青年科研项目（Q202003）

作者单位：214023 江苏无锡，南京医科大学附属无锡人民医院麻醉科（于慧智、李小杉、张慧敏、李静静、马舒玉、胡春晓），肺移植中心（胡春晓）

作者简介：于慧智，女，1992 年生，研究生，住院医师，研究方向为肺缺血-再灌注损伤和 ECMO 辅助下肺移植围手术期的应用管理，Email: yuhui^{zhi}0000@163.com

通信作者：胡春晓，男，1971 年生，副主任医师，研究方向为肺缺血-再灌注损伤、重要器官功能保护和 ECMO 辅助下肺移植围手术期的应用管理及脑损伤的机制，Email: huchunxiao91211@163.com

支持策略。术前, ECMO 可作为肺移植的一种过渡手段; 术中, ECMO 的合理应用可以改善血流动力学状态或促进气体交换; 术后, 通过支持氧合和保护移植肺功能来辅助支持合并严重原发性移植物功能障碍 (primary graft dysfunction, PGD) 的患者^[3]。根据供者情况, 受者术前情况以及术中呼吸、循环功能状态而及时给予 ECMO 辅助治疗, 已成为保障受者术前安全过渡、降低术中手术和麻醉风险、改善受者预后的有效措施。

1 ECMO 在肺移植围手术期应用的适应证

1.1 术前适应证

经过积极的治疗后, 仍存在难以改善的低氧血症、高碳酸血症、右心衰竭的肺移植潜在受者^[4]。

1.2 术中适应证

(1) 术前超声心动图证实肺动脉压中、重度增高, 或术前右心漂浮导管检查测得平均肺动脉压 >25 mmHg (10 mmHg= 1.33 kPa)^[5]; (2) 美国纽约心脏病学会 (American New York Heart Association, NYHA) 心功能分级 III 级及以上; (3) 综合考虑认为患者术中或术后可能出现血流动力学不稳定、高碳酸血症、低氧血症等情况, 需要预防性术中 ECMO 支持; (4) 边缘性供肺需进行体内肺修复; (5) 夹闭肺动脉、吻合肺动静脉等重要手术步骤时可出现肺动脉压的急剧变化以及血流动力学的显著波动, 增加右心室负荷, 积极治疗后仍出现右心衰竭; (6) 再灌注损伤出现肺动脉压的急剧增加和气体交换功能的显著障碍, 明显影响供肺及患者的预后。

1.3 术后适应证

(1) 急性排斥反应, 出现或预期出现 PGD^[6]; (2) 严重的肺动脉高压患者肺移植术后更容易出现左心功能不全及 PGD 相关的氧合障碍, 预防性使用 ECMO 或延长 ECMO 的撤机有利于恢复心脏功能及改善肺水肿^[7-8]; (3) 体外循环 (cardiopulmonary bypass, CPB) 支持下肺移植, 术后难以脱离 CPB, 需静脉-动脉 (veno-arterial, V-A) ECMO 辅助撤离^[9]。

2 ECMO 在肺移植围手术期应用的置管策略

2.1 静脉-静脉 ECMO

静脉-静脉 (veno-venous, V-V) ECMO 可为呼吸衰竭患者提供呼吸支持, 是在呼吸机支持下仍不能

满足氧合的终末期肺病患者最常见的桥接治疗方式^[8]。若存在高碳酸血症和 (或) 低氧血症, 不伴有重度肺动脉高压, 优先选择 V-V ECMO。V-V ECMO 要求排出静脉血, 该血液通过膜式充氧器循环, 并在充氧和脱羧后返回静脉循环。最常见的置管部位为股静脉、颈内静脉。常用循环途径为静脉管路自股静脉引出乏氧血, 经 ECMO 后的富氧血通过颈内静脉流入。采用单管双腔插管, 可在经食道超声引导下置于颈内静脉^[10]。Biscotti 等^[11]的一项大样本单中心研究中, 以清醒 ECMO 作为肺移植桥梁的患者首选 V-V ECMO。Boffini 等^[12]对肺移植术 ECMO 的相关因素进行研究, 172 例患者中有 25 例在移植术后需要 V-V ECMO 支持, 与移植术后 ECMO 相关的因素有血管疾病、供者年龄和移植期间是否需要 ECMO 支持。Scaravilli 等^[13]报道显示 70 例囊性纤维化患者, 其中 13 例通过 V-V ECMO 桥接至肺移植, 28 例 (40%) 需要术中 V-A ECMO 支持, 6 例术后仍需要 V-V ECMO 支持。

2.2 静脉-动脉 ECMO

V-A ECMO 可同时支持呼吸和循环功能, 提供较充分的氧供和更有效的循环功能支持, 适用于严重心力衰竭和呼吸衰竭的患者。最常用的置管方式包括中心 V-A 置管和外周 V-A 置管^[10]。对于因肺血管阻力增加而导致的重度肺动脉高压和心功能不全接受肺移植桥接治疗的患者, V-A ECMO 辅助支持是必需的。外周 ECMO 支持如不能满足维持术中氧合或循环需要, 则应改变 ECMO 支持策略。Yanagida 等^[14]报道了 15 例因严重呼吸衰竭行双腔 V-V ECMO 进行肺移植桥接治疗的患者, 7 例患者完成桥接治疗并成功进行肺移植, 其中 3 例患者在治疗期间因低氧血症合并肺动脉高压转换为 V-A ECMO。Hashimoto 等^[15]回顾性研究 34 例经 V-V ECMO 桥接治疗后成功行肺移植的患者的术中体外支持配置, 研究显示 20 例 (59%) 患者继续使用 V-V ECMO; 11 例 (32%) 转为中心 V-A ECMO, 主要原因为术中持续性低血压和 (或) 肺动脉高压; 术中 3 例 (8.8%) 需行 CPB 支持治疗; V-A ECMO 组和 V-V ECMO 组 1 年生存率分别为 90% 和 73%, 两组总体生存率比较, 差异无统计学意义。

3 ECMO 在肺移植围手术期的应用

3.1 ECMO 作为肺移植术前的桥接治疗

美国的肺源分配评分 (lung allocation score,

LAS) 是根据肺移植患者术前的病情严重程度决定等待时间的长短, 这种器官分配方式有利于病情最严重的患者, 同时可有效地利用辅助支持技术进行桥接治疗。ECMO 作为终末期肺病患者安全进行肺移植的桥接治疗手段, 可优化患者术前通气需求, 稳定和改善终末期器官的灌注情况, 增加病情危重患者接受肺移植手术的可能性, 最大限度减少移植前危及生命的可能性因素如呼吸、循环不稳定等^[16]。在决定桥接治疗时, 应严格遵循术前 ECMO 适应证, 不仅要考虑患者未经移植而死亡的风险, 还要考虑其移植术后的生活质量和生存时间^[17]。

Hayanga 等^[18]对美国器官资源共享网络 (United Network for Organ Sharing, UNOS) 数据库 2005 年至 2017 年的数据进行分析发现, 共有 21 576 例患者接受肺移植, 其中 664 例患者在接受 ECMO 桥接治疗后进行肺移植。在此期间, 术前 ECMO 的应用增加了 271%, 而机械通气支持减少了 38%, 这表明 ECMO 在肺移植患者中的术前桥接支持治疗取得了良好的效果^[15, 18]。在等待肺移植的患者中使用 ECMO 可以获得较高的物理治疗效果, 避免进行机械通气, 与其他肺病患者相比, 肺囊性纤维化患者有更多的术前桥接治疗需要 (47.5% 比 25.0%)^[11, 19]。这表明 ECMO 作为一种桥接治疗策略, 可使危重患者摆脱机械通气, 优化其肺移植前的营养状况, 并能够在术前进行日常康复。患者在病情严重或危重之前及早行 ECMO 支持治疗可提高肺移植桥接的成功率。

Hakim 等^[20]分析 30 例以 ECMO 为肺移植桥接治疗的患者, 26 例 (87%) 患者成功桥接至肺移植, 移植成功的患者中, 30 d、1 年、3 年生存率分别为 92%、85%、80%, 表明 ECMO 作为移植桥梁可提高围手术期疗效和患者早期生存率。Halpern 等^[21]对 UNOS 近十年内的数据分析发现, 20 976 例患者中有 611 例 (2.91%) 接受 ECMO 作为移植桥梁, 而 ECMO 桥接治疗与移植术后死亡风险增加相关。一项回顾性研究显示, 通过 ECMO 桥接至移植的患者, 其 1 年生存率在手术量大的中心为 80.8%, 而在手术量小的中心仅为 61.9%^[22]。有研究表明, 与非桥接治疗患者相比, 桥接治疗患者虽 LAS 评分较高, 但二者移植术后生存率差异无统计学意义^[2, 21, 23-25]。也有研究报道, 与非桥接治疗患者相比, 桥接治疗患者的生存率明显提高^[11, 18]。

肺移植术前的 ECMO 桥接治疗, 须经多学科团

队的联合评估, 且只能应用于已列入器官分配与共享系统等待名单中的患者。多器官衰竭被认为是 ECMO 桥接治疗的绝对禁忌证, 对于可逆性多器官衰竭患者, 需进行综合评估, 不能简单认为是 ECMO 桥接治疗的禁忌证^[26]。60 岁以上、体质虚弱、有合并症的患者接受在 ECMO 桥接治疗后预后较差^[27]。

3.2 ECMO 在肺移植术中的应用

随着肺移植适应证的扩大, 接受肺移植治疗的危重患者比例有了相当大的增长, 这些危重患者术中经常需要心肺支持。手术及管理技术的进步、扩大标准供者的增加导致 ECMO 在肺移植术中的使用率迅速增加。术前患者的基础病情与术中是否需要 ECMO 辅助支持密切相关。

Zhang 等^[28]的研究中, 接受肺移植的 138 例患者中有 44 例需要 V-V 或 V-A ECMO, 结果显示高龄、术前机械通气时间长、肺动脉压力高、潜在肺疾病和术前急性生理学及慢性健康状况评分 II (acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II) 评分高可能是肺移植术中需要 ECMO 支持的危险因素。一项针对因不同适应证接受双肺移植患者的混合队列研究提示, 右心室功能受损和呼吸衰竭都与术中 ECMO 支持治疗有关。Jauregui 等^[29]的单中心回顾性研究显示, 在 64 例 (成人 38 例) 肺囊性纤维化患者中, 29 例 (45%) 需要 ECMO 支持, 且肺移植前肺功能损害较大的患者需要 ECMO 支持的概率更高。术前血氧含量、肺动脉高压严重程度和右心室扩张程度是术中需要 ECMO 支持的独立预测因素。

术中 ECMO 通常用于肺动脉高压、血流动力学不稳定、不能耐受单肺通气或因肺移植期间肺体积缩小而出现高血流灌注的患者。据胡春晓等^[30]报道, ECMO 在不同基础疾病患者肺移植手术麻醉中的应用均取得了明显的治疗效果, 麻醉、手术顺利, 围麻醉期患者氧合良好, 血流动力学平稳。多个移植中心相继报道了肺动脉高压、囊性纤维化等不同原发疾病患者肺移植术中应用 ECMO 的疗效, 均显示术中应用 ECMO 的患者生命体征稳定, 预后得到显著改善^[8, 13]。ECMO 为严重呼吸衰竭和心力衰竭患者提供心肺支持, 进行体外气体交换, 改善术中单肺通气时、移植肺肺动脉开放前的全身性低氧血症和高碳酸血症, 减少夹闭肺动脉后肺动脉压力的急剧升高和右心衰竭的发生率^[31]。有研究报道, 与 CPB 患者相

比, ECMO 患者在肺移植术后 3 个月 (70%~85% 比 85%~94%)、9 个月 (59% 比 81%)、12 个月 (56%~66% 比 74%~81%) 和 36 个月 (57% 比 75%) 的生存率更高^[32-34]。

3.3 ECMO 在肺移植术后的应用

术中行 ECMO 支持治疗的患者大部分在移植术毕可顺利脱离 ECMO, 但仍有部分患者呼吸或循环不稳定, 术后需要 ECMO 支持治疗。影响肺移植术毕撤除 ECMO 的因素包括患者年龄、血氧分压及手术时间^[35]。肺移植术后早期可出现 PGD、急性心功能不全、膈神经受损、肺动脉或静脉吻合口异常等并发症, 临床表现为低氧血症、肺动脉压力增高、心功能不全或衰竭、移植肺渗出性改变等^[36]。在治疗原发病的同时, ECMO 成为一种有效的辅助支持手段。

PGD 是肺移植术后常见的并发症, 通常采用机械通气和限制性液体治疗, 但在重度 PGD (PGD 3 级) 患者中, 这些治疗并不能提供足够的气体交换和氧合, 可能导致血流动力学不稳定和多器官衰竭。ECMO 可减少移植肺术后立即进行气体交换的需要, 并可采取更具保护性的肺通气策略 [通过降低吸气压和吸入氧浓度 (fraction of inspired oxygen, FiO_2)], 也提供了一种能过渡到移植肺恢复或再次移植的治疗手段。

术后 ECMO 支持方式呈多样化, Bellier 等^[33] 单中心回顾性研究了 2007 年 1 月至 2013 年 12 月接受肺移植的患者资料, 显示 V-A ECMO 是治疗肺移植术后难治性 PGD 的合适手段。虽然接受 ECMO 支持治疗的 PGD 3 级患者在移植后的前 3 个月病死率明显增加, 但术后长期生存率与未接受 ECMO 支持治疗的患者相似。在不合并循环衰竭的 PGD 患者中, V-V ECMO 支持的患者预后优于 V-A ECMO 支持。Mulvihill 等^[37] 在 2 001 例肺移植患者中, 对 107 例需要术后 ECMO 支持的患者进行分析发现, 缺血时间、移植前 ECMO 和 (或) 呼吸机支持是肺移植术后需要 ECMO 支持的危险因素, 移植术后透析与否与肺移植术后 ECMO 患者的病死率相关。肺移植术后 ECMO 支持的患者术后 6 个月生存率为 62.2%, 其中不需要血液透析的患者生存率更高, 达 86.7%^[37]。一份关于需要 ECMO 支持治疗的 PGD 患者的单中心研究显示, V-V ECMO 患者 30 d 生存率为 82%, 1 年生存率为 64%, 但需要 ECMO 的患者移植肺功能明显比不需要 ECMO 的患者差^[38]。

有研究建议, 当肺移植术后气道峰压超过 35 cmH₂O

(1 cmH₂O=0.098 kPa), $FiO_2 \geq 60\%$ 时, 应考虑 V-V ECMO^[39]。对于 PGD 患者, V-V ECMO 可以降低机械通气和氧化应激相关的风险, 阻止疾病进展, 并为愈合提供时间^[40]。早期 PGD 患者的 V-V ECMO 启动时间与生存率相关。早期启动 V-V ECMO 已被证实可以改善生存率, 而延迟启动 ECMO (>48 h) 则没有任何益处^[41]。

4 小结

ECMO 是肺移植围手术期的一种有效辅助治疗手段。尽管 ECMO 可能导致凝血功能异常、加重感染、肢体缺血、包括肾功能不全在内的器官衰竭等多种并发症, 但相较于传统 CPB, 其具有预充容量少、抗凝血药用量低、操作简单等优点。及时、合适的 ECMO 支持能给肺移植患者提供不同方面的有效支持, 可作为术前桥接治疗手段, 维持术中血流动力学稳定, 促进术后恢复, 改善预后和提高生存率。

参考文献:

- [1] ZWISCHENBERGER JB. Dr. Robert Bartlett and his lifelong accomplishments in the field of extracorporeal membrane oxygenation[J]. ASAIO J, 2015,61(1):1. DOI:10.1097/MAT.0000000000000189.
- [2] CAVAROCCHI NC. Introduction to extracorporeal membrane oxygenation[J]. Crit Care Clin, 2017,33(4): 763-766. DOI:10.1016/j.ccc.2017.06.001.
- [3] 中华医学会器官移植学分会, 国家肺移植质量管理与控制中心. 肺移植围手术期体外膜肺氧合应用指南 (2019 版) [J]. 器官移植, 2019, 10(4): 402-409. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2019.04.009. Branch of Organ Transplantation of Chinese Medical Association, National Quality Management and Control Center for Lung Transplantation. Guideline on the application of extracorporeal membrane oxygenation during the perioperative period of lung transplantation(2019 edition) [J]. Organ Transplant, 2019, 10(4): 402-409. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2019.04.009.
- [4] LOOR G, SIMPSON L, PARULEKAR A. Bridging to lung transplantation with extracorporeal circulatory support: when or when not? [J]. J Thorac Dis, 2017,9(9):3352-3361. DOI:10.21037/jtd.2017.08.117.
- [5] IUS F, SOMMER W, TUDORACHE I, et al. Five-year experience with intraoperative extracorporeal membrane oxygenation in lung transplantation: indications and midterm results[J]. J Heart Lung Transplant, 2016,35(1):49-58. DOI:10.1016/j.healun.2015.08.016.

- [6] HOETZENECKER K, SCHWARZ S, MUCKENHUBER M, et al. Intraoperative extracorporeal membrane oxygenation and the possibility of postoperative prolongation improve survival in bilateral lung transplantation[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2018,155(5): 2193-2206. DOI:10.1016/j.jtcvs.2017.10.144.
- [7] IUS F, TUDORACHE I, WARNECKE G. Extracorporeal support, during and after lung transplantation: the history of an idea[J]. *J Thorac Dis*, 2018,10(8):5131-5148. DOI:10.21037/jtd.2018.07.43.
- [8] SALMAN J, IUS F, SOMMER W, et al. Mid-term results of bilateral lung transplant with postoperatively extended intraoperative extracorporeal membrane oxygenation for severe pulmonary hypertension[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2017,52(1):163-170. DOI:10.1093/ejcts/ezx047.
- [9] TAKA H, MIYOSHI K, KUROSAKI T, et al. Lung transplantation via cardiopulmonary bypass: excellent survival outcomes from extended criteria donors[J]. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 2019,67(7):624-632. DOI:10.1007/s11748-019-01067-w.
- [10] JAYARAMAN AL, CORMICAN D, SHAH P, et al. Cannulation strategies in adult veno-arterial and veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: techniques, limitations, and special considerations[J]. *Ann Card Anaesth*, 2017,20(Suppl):S11-S18. DOI:10.4103/0971-9784.197791.
- [11] BISCOTTI M, GANNON WD, AGERSTRAND C, et al. Awake extracorporeal membrane oxygenation as bridge to lung transplantation: a 9-year experience[J]. *Ann Thorac Surg*, 2017,104(2):412-419. DOI:10.1016/j.athoracsur.2016.11.056.
- [12] BOFFINI M, SIMONATO E, RICCI D, et al. Extracorporeal membrane oxygenation after lung transplantation: risk factors and outcomes analysis[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2019,8(1):54-61. DOI:10.21037/acs.2018.12.10.
- [13] SCARAVILLI V, MORLACCHI LC, MERRINO A, et al. Intraoperative extracorporeal membrane oxygenation for lung transplantation in cystic fibrosis patients: predictors and impact on outcome[J]. *J Cyst Fibros*, 2020,19(4):659-665. DOI:10.1016/j.jcf.2019.10.016.
- [14] YANAGIDA R, SEETHAMRAJU H, DAVENPORT DL, et al. Bridging to lung transplantation with double-lumen venovenous extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Int J Artif Organs*, 2019,42(11):621-627. DOI:10.1177/0391398819851516.
- [15] HASHIMOTO K, HOETZENECKER K, YEUNG JC, et al. Intraoperative extracorporeal support during lung transplantation in patients bridged with venovenous extracorporeal membrane oxygenation[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2018,37(12):1418-1424. DOI:10.1016/j.healun.2018.07.003.
- [16] TODD EM, BISWAS ROY S, HASHIMI AS, et al. Extracorporeal membrane oxygenation as a bridge to lung transplantation: a single-center experience in the present era[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2017,154(5):1798-1809. DOI:10.1016/j.jtcvs.2017.06.063.
- [17] MATTAR A, CHATTERJEE S, LOOR G. Bridging to lung transplantation[J]. *Crit Care Clin*, 2019,35(1):11-25. DOI:10.1016/j.ccc.2018.08.006.
- [18] HAYANGA JWA, HAYANGA HK, HOLMES SD, et al. Mechanical ventilation and extracorporeal membrane oxygenation as a bridge to lung transplantation: closing the gap[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2019,38(10):1104-1111. DOI:10.1016/j.healun.2019.06.026.
- [19] TIPOGRAF Y, SALNA M, MINKO E, et al. Outcomes of extracorporeal membrane oxygenation as a bridge to lung transplantation[J]. *Ann Thorac Surg*, 2019,107(5):1456-1463. DOI:10.1016/j.athoracsur.2019.01.032.
- [20] HAKIM AH, AHMAD U, MCCURRY KR, et al. Contemporary outcomes of extracorporeal membrane oxygenation used as bridge to lung transplantation[J]. *Ann Thorac Surg*, 2018,106(1):192-198. DOI:10.1016/j.athoracsur.2018.02.036.
- [21] HALPERN AL, KOHTZ PD, HELMKAMP L, et al. Improved mortality associated with the use of extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Ann Thorac Surg*, 2019,108(2):350-357. DOI:10.1016/j.athoracsur.2019.03.057.
- [22] HAYANGA JW, LIRA A, ABOAGYE JK, et al. Extracorporeal membrane oxygenation as a bridge to lung transplantation: what lessons might we learn from volume and expertise? [J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2016,22(4):406-410. DOI:10.1093/icvts/ivv379.
- [23] JAVIDFAR J, BACCHETTA M. Bridge to lung transplantation with extracorporeal membrane oxygenation support[J]. *Curr Opin Organ Transplant*, 2012,17(5):496-502. DOI:10.1097/MOT.0b013e328357fa4f.
- [24] SONG JH, PARK JE, LEE JG, et al. Outcomes of perioperative extracorporeal membrane oxygenation use in patients undergoing lung transplantation[J]. *J Thorac Dis*, 2017,9(12):5075-5084. DOI:10.21037/jtd.2017.10.142.
- [25] HAYANGA AJ, DU AL, JOUBERT K, et al. Mechanical ventilation and extracorporeal membrane oxygenation as a bridging strategy to lung transplantation: significant gains in survival[J]. *Am J Transplant*, 2018,18(1):125-

135. DOI:10.1111/ajt.14422.
- [26] 杨柯佳, 毛文君, 陈静瑜. 体外膜肺氧合作为肺移植术前移植桥梁的研究进展 [J]. 器官移植, 2019, 10(2): 202-205. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2019.02.015.
- YANG KJ, MAO WJ, CHEN JY. Research progress on extracorporeal membrane oxygenation as a transplantation bridge before lung transplantation [J]. Organ Transplant, 2019, 10(2): 202-205. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2019.02.015.
- [27] HAYES D JR, WHITSON BA, BLACK SM, et al. Influence of age on survival in adult patients on extracorporeal membrane oxygenation before lung transplantation [J]. J Heart Lung Transplant, 2015,34(6):832-838. DOI:10.1016/j.healun.2014.12.014.
- [28] ZHANG R, XU Y, SANG L, et al. Factors associated with intraoperative extracorporeal membrane oxygenation support during lung transplantation [J]. Respir Res, 2020,21(1):85. DOI:10.1186/s12931-020-01355-7.
- [29] JAUREGUI A, DEU M, ROMERO L, et al. Lung transplantation in cystic fibrosis and the impact of extracorporeal circulation [J]. Arch Bronconeumol, 2018,54(6):313-319. DOI:10.1016/j.arbres.2018.01.013.
- [30] 胡春晓, 王志萍, 许波, 等. 肺移植术的围术期管理 [J]. 中华麻醉学杂志, 2019,39(5):517-521. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1416.2019.05.002.
- HU CX, WANG ZP, XU B, et al. Perioperative management of lung transplantation [J]. Chin J Anesthesiol, 2019,39(5):517-521. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1416.2019.05.002.
- [31] MAGOULIOTIS DE, TASIPOULOU VS, SVOKOS AA, et al. Extracorporeal membrane oxygenation versus cardiopulmonary bypass during lung transplantation: a Meta-analysis [J]. Gen Thorac Cardiovasc Surg, 2018,66(1):38-47. DOI:10.1007/s11748-017-0836-3.
- [32] AIGNER C, WISSER W, TAGHAVI S, et al. Institutional experience with extracorporeal membrane oxygenation in lung transplantation [J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2007,31(3):468-474. DOI:10.1016/j.ejcts.2006.11.049.
- [33] BELLIER J, LHOMMET P, BONNETTE P, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for grade 3 primary graft dysfunction after lung transplantation: long-term outcomes [J]. Clin Transplant, 2019,33(3):e13480. DOI:10.1111/ctr.13480.
- [34] MACHUCA TN, COLLAUD S, MERCIER O, et al. Outcomes of intraoperative extracorporeal membrane oxygenation versus cardiopulmonary bypass for lung transplantation [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2015,149(4):1152-1157. DOI:10.1016/j.jtcvs.2014.11.039.
- [35] NARM KS, LEE S, SUH JW, et al. Risk factor analysis for intraoperative extracorporeal membrane oxygenation weaning failure after lung transplantation [J]. Ann Thorac Surg, 2018,105(1):242-248. DOI:10.1016/j.athoracsur.2017.07.046.
- [36] AHYA VN, DIAMOND JM. Lung transplantation [J]. Med Clin North Am, 2019,103(3):425-433. DOI:10.1016/j.mcna.2018.12.003.
- [37] MULVIHILL MS, YEROKUN BA, DAVIS RP, et al. Extracorporeal membrane oxygenation following lung transplantation: indications and survival [J]. J Heart Lung Transplant, 2017. DOI:10.1016/j.healun.2017.06.014.
- [38] HARTWIG MG, WALCZAK R, LIN SS, et al. Improved survival but marginal allograft function in patients treated with extracorporeal membrane oxygenation after lung transplantation [J]. Ann Thorac Surg, 2012,93(2):366-371. DOI:10.1016/j.athoracsur.2011.05.017.
- [39] CASTLEBERRY AW, HARTWIG MG, WHITSON BA. Extracorporeal membrane oxygenation post lung transplantation [J]. Curr Opin Organ Transplant, 2013,18(5):524-530. DOI:10.1097/MOT.0b013e328365197e.
- [40] MEYER A, STRÜBER M, FISCHER S. Advances in extracorporeal ventilation [J]. Anesthesiol Clin, 2008,26(2):381-391. DOI:10.1016/j.anclin.2008.01.006.
- [41] MARASCO SF, VALE M, PREVOLOS A, et al. Institution of extracorporeal membrane oxygenation late after lung transplantation - a futile exercise? [J]. Clin Transplant, 2012,26(1):E71-E77. DOI:10.1111/j.1399-0012.2011.01562.x.

(收稿日期: 2020-08-10)

(本文编辑: 林佳美 邬加佳)