

肺移植术后气道狭窄的最新研究进展

左玉洁 刘孟根 万佳鑫 陈雨譞 胡文龙 张俊杰 毛宇杨 陈静 钟艾伶 史灵芝 吴波 巨春蓉 田东

【摘要】 随着手术技术和术后管理方案的优化,肺移植数量大幅提升,已成为治疗终末期肺病患者的重要手段。但由于支气管缺血和免疫抑制等综合因素的影响,肺移植术后气道狭窄发生率较高,严重影响肺移植受者的术后生存及生活质量。近年来,随着围手术期管理、器官保存及手术技术等改善,肺移植术后气道狭窄的发生率有所下降,但仍处于较高水平,早期诊断、及时干预对改善气道狭窄患者的预后至关重要。因此,本文就肺移植术后气道狭窄的一般情况、诊断、治疗及预防进行综述,旨在为肺移植术后气道狭窄的综合管理提供参考,以改善肺移植受者预后。

【关键词】 肺移植; 气道狭窄; 吻合口并发症; 缺血; 坏死; 免疫抑制; 肺部感染; 机械通气

【中图分类号】 R617, R563 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445 (2024) 03-0021-05

Latest research progress in airway stenosis after lung transplantation Zuo Yujie*, Liu Menggen, Wan Jiaxin, Chen Yuxuan, Hu Wenlong, Zhang Junjie, Mao Yuyang, Chen Jing, Zhong Ailing, Shi Lingzhi, Wu Bo, Ju Chunrong, Tian Dong. *Department of Thoracic Surgery, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

Corresponding authors: Tian Dong, Email: 22tiandong@wchscu.cn

Ju Chunrong, Email: Juchunrong@126.com

【Abstract】 With the optimization of surgical technologies and postoperative management regimens, the number of lung transplantation has been significantly increased, which has become an important treatment for patients with end-stage lung disease. However, due to the impact of comprehensive factors, such as bronchial ischemia and immunosuppression, the incidence of airway stenosis after lung transplantation is relatively high, which severely affects postoperative survival and quality of life of lung transplant recipients. In recent years, with the improvement of perioperative management, organ preservation and surgical technologies, the incidence of airway stenosis after lung transplantation has been declined, but it remains at a high level. Early diagnosis and timely intervention play a significant role in enhancing clinical prognosis of patients with airway stenosis. In this article, the general conditions, diagnosis, treatment and prevention of airway stenosis after lung transplantation were reviewed, aiming to provide reference for comprehensive management of airway stenosis after lung transplantation and improving clinical prognosis of lung transplant recipients.

【Key words】 Lung transplantation; Airway stenosis; Anastomotic complication; Ischemia; Necrosis; Immunosuppression; Pulmonary infection; Mechanical ventilation

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2024075

基金项目: 四川省科技厅重点研发基金(23ZDYF2875)

作者单位: 610041 成都, 四川大学华西医院胸外科(左玉洁、田东), 胸部肿瘤研究所肺移植实验室(左玉洁、田东); 川北医学院附属医院心肺移植研究室(左玉洁、刘孟根、万佳鑫、陈雨譞、胡文龙、张俊杰、毛宇杨、陈静、钟艾伶); 南京医科大学无锡医学中心无锡市人民医院南京医科大学附属无锡人民医院肺移植中心(史灵芝、吴波); 广州医科大学附属第一医院广州呼吸健康研究院(巨春蓉)

作者简介: 左玉洁 (ORCID 0000-0003-1054-061X), 研究方向为肺移植临床研究, Email: zuoyj_eatts@stu.nsmc.edu.cn

通信作者: 田东 (ORCID 0000-0001-8510-8309), 博士, 副主任医师, 研究方向为肺移植基础与临床研究, Email: 22tiandong@wchscu.cn; 巨春蓉 (ORCID 0000-0002-9489-2665), 博士, 主任医师, 研究方向为肺移植基础与临床研究, Email: Juchunrong@126.com

自1983年加拿大多伦多总医院完成了世界首例长期存活肺移植手术以来,肺移植成为终末期肺病唯一有效的治疗策略。随着手术技术和术后管理方案的不断优化,在过去的二十年里,肺移植的数量大幅提升。据国际心肺移植学会(International Society for Heart and Lung Transplantation, ISHLT)胸腔器官移植登记处报道,截至目前全球已登记约70 000例成人肺移植手术,1年及5年生存率分别为85.2%、59.0%,总体中位生存期6.7年^[1]。肺移植术后长期生存通常取决于慢性移植肺功能障碍的发展,而短期生存主要取决于气道吻合口并发症的发生^[2-3]。在支气管缺血和免疫抑制等多种因素的作用下,肺移植术后气道吻合口并发症发生率较高,其中气道狭窄是最常见的气道吻合口并发症,限制了肺移植受者的术后早期生存及生活质量,增加了术后病死率^[4]。近年来,随着围手术期管理、器官保存及手术技术的改善,气道狭窄的发生率有所下降,但仍处于较高水平^[5]。因此,制定准确的早期诊断及管理策略非常迫切。本文通过复习既往文献,对肺移植术后气道狭窄的一般情况、诊断、治疗及预防方法等进行综述,旨在为早期诊治、提高肺移植受者预后及生活质量提供理论依据。

1 气道狭窄的一般情况

1.1 气道狭窄的病因

气道狭窄是指气道口径的固定缩小,通常发生在肺移植术后2~9个月^[6-7]。由于各研究的纳入排除标准和疾病严重程度各异,其发生率具有较大差异,为1.6%~32.0%^[4,8-9]。但肺移植术后气道狭窄的总体发生率仍然较高,且对患者的短期预后影响显著。国内外学者普遍认为,肺移植术后气道狭窄主要归因于供者支气管局部缺血,组织在缺血的情况下进行修复并异常增生^[10]。肺具有双重血管供应,分别为支气管循环和肺循环,支气管动脉能够为气道提供近50%的血流量^[11]。在肺移植过程中支气管动脉会被切断而不予重建,故术后早期移植肺只能依靠肺动脉的侧支循环逆行回流供血^[12]。由于肺动脉低氧合、低压力、血运有限,且供肺的支气管循环重建往往发生于术后2~4周后,故吻合口的愈合常不满意^[13-14]。

1.2 气道狭窄的类型与分级

据2018年ISHLT最新共识,气道狭窄可分为中央气道狭窄(central airway stenosis, CAS)和远端气

道狭窄(distal airway stenosis, DAS)两种类型。其中CAS位于支气管吻合口或吻合口2 cm以内,而DAS则位于支气管远端或肺叶支气管,可伴或不伴CAS^[4]。由于DAS可以延伸到节段或亚节段的水平,在临床上可能难以管理。文献报道的DAS发生率仅为2.5%~3.0%,其主要原因是早期并未明确区分CAS与DAS,DAS的发生率可能被严重低估^[15-16]。DAS最常发生在支气管中间段,会导致支气管中间段及远端支气管完全丧失功能,即中间支气管消失综合征(vanishing bronchus intermedius syndrome, VIBS)。Souilamas等^[16]报道,VIBS最早可在肺移植术后6个月时出现,患者平均生存期仅为25个月。此外,笔者团队前期研究发现术后机械通气时间长、单肺移植、3级移植物失功和使用环孢素可能影响肺移植术后气道狭窄患者的生存,肺移植科医师应予以重视^[17]。

早期常用MDS标准化分级系统对气道并发症进行评级,但其并未对缺血和坏死程度进行评分,而这些对于肺移植术后早期气道情况的评估尤为重要^[18]。因此,ISHLT基于肺移植术后2~3周首次内窥镜观察结果,并动态评估气道情况后提出了最新气道狭窄的分级系统:(1)根据气道狭窄的部位分为吻合口、吻合口与肺叶肺段、肺叶肺段3种类型;(2)根据气道狭窄横截面积减少分为0~25%、26%~50%、51%~99%、100%4个等级^[4]。ISHLT分级系统对气道狭窄的发生发展进行了标准化描述,有利于统一的诊治与预防方法的制定。

2 气道狭窄的诊断与治疗

2.1 气道狭窄的诊断

气道狭窄常通过临床表现、常规支气管镜检、CT扫描或肺活量测定进行诊断。支气管狭窄的患者可以表现为不同程度的呼吸困难、咳嗽、喘息或反复的肺部感染。纤维支气管镜检是确诊气道狭窄的金标准,它能够通过镜下表现明确吻合口以及气道内壁情况,进而对气道并发症进行分型。CT扫描作为一种无创检查,其分辨率高,在临床上常用于指导支气管镜下可疑部位的定位,能够获得从肺尖到膈肌在吸气相和呼气相关于固定支气管狭窄的高分辨CT图像,并有效评估各级叶段支气管的病变范围及程度,其准确率不亚于纤维支气管镜^[11]。肺功能检查能够显示肺移植受者术后用力呼气流量和峰值呼气流量的减少,

并且该指标在移植后最初几个月内仍处于较低水平^[19]。Neagos 等^[20]通过分析严重肺气肿患者在单肺移植术后最大呼气流量曲线的变化,发现该患者单侧主支气管发生阻塞。

2.2 气道狭窄的治疗

支气管狭窄的治疗需要采用阶梯式、多模式的方法,治疗策略常采用扩张、消融及支架置入^[21]。扩张是气道狭窄的首选治疗方式,其中球囊支气管成形术较为常见。球囊扩张有助于缓解肺移植受者的临床症状和改善肺功能,并能够通过柔性支气管镜在患者清醒镇静的情况下安全进行。此外,高达 26% 的肺移植术后气道狭窄患者不需要在球囊扩张后常规放置支架^[22]。然而,扩张后的气道狭窄极易复发,故重复的球囊扩张往往是必要的干预措施^[23]。消融能够作为一种辅助手段应用在球囊扩张中。Tremblay 等^[24]采用了一种改良式保留黏膜技术,将电灼术或激光术应用于局灶性网状气道狭窄的患者,而后进行球囊扩张,此举取得了令人满意的疗效。支架置入术仅用于严重和难治性狭窄。硅酮支架通常是首选的干预措施,究其原因,硅酮支架即便在较长时间的置入后仍易于移除且具有较低的肉芽组织率。考虑到硅酮支架的并发症,包括迁移和气道分泌物阻塞,生物可降解支架 (biodegradable stent, BDS) 的新技术正在取得进展^[25]。BDS 的气道黏膜耐受性良好,能够维持生物学强度数周,在数月后便完全溶解,可以避免永久性支架置入的需要。

多模式的治疗方法在管理气道狭窄方面是有效的,但并非一劳永逸。对于内镜干预失败的顽固性狭窄,则需要进行手术治疗。手术策略包括支气管吻合重建、支气管成形术、袖状切除术、肺叶切除术、全肺切除及再次移植。手术入路的侵袭性越强,相关病死率越高。肺移植受者术后往往要进行免疫抑制治疗并且身体机能状态较差,这些手术对患者而言具有挑战性。此外,一些中心将丝裂霉素 C 应用于肺移植术后气道狭窄的患者,发现其能够推迟狭窄复发时间,并取得了显著的疗效^[26]。尽管当前并没有关于丝裂霉素 C 干预措施的对照试验,但其在气道狭窄中的可行性应当受到重视。

3 气道狭窄的预防

3.1 改善气道吻合技术

随着肺移植领域气道吻合技术的不断改善,气道

狭窄的发生率显著下降。考虑到技术难度、出血风险及术后气道并发症的高发生率,早期组织吻合口包裹术、支气管血运重建术及伸缩吻合术的使用率已显著下降。由于气道血管支持的特殊性,减少供者支气管的长度是预防肺移植术后气道并发症的关键^[27]。在供者支气管靠近隆突处进行横断能够最大限度地减少支气管缺血程度。因此,当前大多数机构首选的手术技术是吻合口尽可能靠近次级隆突的无组织包裹的“端端”支气管吻合术。然而,过短的供者支气管会增加气道机械扩张及支架置入的困难性。在此情况下,袖状肺叶切除或再移植成为唯一可行的选择^[28]。此外,吻合口缝合技术以及缝合线材料的改进降低了气道狭窄的发生率。加拿大多伦多总医院提出的经典术式是在膜部使用可吸收式 4/0 连续缝合线进行“端端”吻合,软骨部进行单根或八字形缝合,此技术已成为多个移植中心气道缝合的金标准^[29]。

3.2 预防肺部感染

肺移植术后气道感染是气道并发症的危险因素^[30]。血流量减少、免疫抑制及气道滞留的分泌物为微生物定植提供了最佳环境。高达 20% 的患者在移植术后会发生曲霉感染^[31]。在肺移植术后的最初 6 个月内,烟曲霉的定植使气道并发症的发生率增加了 11 倍^[32]。为有效预防术后肺部感染,移植科医师应在术前做好气道微生物定植的管理,术后早期通过支气管镜定期进行气道状态监测,并常规使用药物进行预防性治疗。

3.3 缩短机械通气时间

尽管机械通气对于肺移植受者的围手术期管理是必要的,但长时间的机械通气会导致患者处于持续的炎症状态并具有较高的感染风险^[33]。Van De Wauwer 等^[34]研究认为,供肺在获取前接受长达 50~70 h 的机械通气对气道并发症的发生具有显著负面影响。术后机械通气,特别是高水平的呼气末正压,会造成吻合口处的气压伤,进而破坏气道黏膜并延迟吻合口缝合处的愈合。故临床医师应尽量缩短机械通气时间。

3.4 其他

肺移植术后急性或慢性排斥反应发生率远高于大部分其他实体器官移植,故患者往往需要进行药物免疫抑制治疗^[3]。术前使用糖皮质激素曾一度被认为是禁忌证。然而, Santacruz 等^[35]提出糖皮质激素能够减少肉芽组织的生成,提高肺移植受者的生存率。西罗莫司具有强大的免疫抑制和抗增殖特性,但其显著

增加了肺移植术后早期气道并发症的发生率, 故在术后 90 d 内应尽量避免西罗莫司的使用^[36]。

供、受者身高不匹配也是气道并发症的危险因素, 可能是因为身高较高的肺移植受者具有相对较大的支气管周径, 移植过程中需要将供者支气管进行套叠^[34,37]。故移植前应准确评估供、受者身高匹配情况。充分的器官保存至关重要, 将低钾右旋糖酐溶液与前列腺素类药物联合应用和逆行灌注供体支气管有助于降低气道并发症的发生率^[35,38]。Varela 等^[39]通过同位素技术发现逆行冲洗供肺可明显改善支气管上皮的局部灌注。此外, 将肺移植术后冷缺血时间限制在 6~8 h 内, 可最大限度地减少损伤的风险^[40]。

4 小结与展望

肺移植提高了终末期肺病患者的生存率和生活质量, 但术后气道狭窄会导致患者气道并发症发生率与病死率升高。早期诊断、及时干预能够最大限度地改善患者的生存状况。目前亟待更大中心、多样本和更长时间的随访数据对肺移植术后气道狭窄的早期诊疗与预防进行深入探索, 为气道狭窄的管理提供坚实的证据, 进而改善肺移植受者的总体预后。

参考文献:

- [1] CHAMBERS DC, PERCH M, ZUCKERMANN A, et al. The International Thoracic Organ Transplant Registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: thirty-eighth adult lung transplantation report - 2021; focus on recipient characteristics[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2021, 40(10): 1060-1072. DOI: 10.1016/j.healun.2021.07.021.
- [2] WANG Z, ZHAO B, DENG M, et al. Utility and safety of airway stenting in airway stenosis after lung transplant: a systematic review[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2023, 10: 1061447. DOI: 10.3389/fmed.2023.1061447.
- [3] NELSON J, KINCAIDE E, SCHULTE J, et al. Immunosuppression in lung transplantation[J]. *Handb Exp Pharmacol*, 2022, 272: 139-164. DOI: 10.1007/164_2021_548.
- [4] CRESPO MM, MCCARTHY DP, HOPKINS PM, et al. ISHLT consensus statement on adult and pediatric airway complications after lung transplantation: definitions, grading system, and therapeutics[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2018, 37(5): 548-563. DOI: 10.1016/j.healun.2018.01.1309.
- [5] DELBOVE A, SENAGE T, GAZENGEL P, et al. Incidence and risk factors of anastomotic complications after lung transplantation[J]. *Ther Adv Respir Dis*, 2022, 16: 17534666221110354. DOI: 10.1177/17534666221110354.
- [6] FELTON TW, ROBERTS SA, ISALSKA B, et al. Isolation of *Aspergillus* species from the airway of lung transplant recipients is associated with excess mortality[J]. *J Infect*, 2012, 65(4): 350-356. DOI: 10.1016/j.jinf.2012.07.008.
- [7] PUCHALSKI J, LEE HJ, STERMAN DH. Airway complications following lung transplantation[J]. *Clin Chest Med*, 2011, 32(2): 357-366. DOI: 10.1016/j.ccm.2011.03.001.
- [8] SUH JW. Surgical complications affecting the early and late survival rates after lung transplantation[J]. *J Chest Surg*, 2022, 55(4): 332-337. DOI: 10.5090/jcs.22.059.
- [9] CHAMOGEORGAKIS T, MOQUIN K, SIMOFF M, et al. Repair of bronchial anastomosis following lung transplantation[J]. *Thorac Cardiovasc Surg*, 2022, 70(6): 527-530. DOI: 10.1055/s-0041-1723002.
- [10] YU DH, LIN Q, FAN C, et al. Resistin pathway as novel mechanism of post-lung transplantation bronchial stenosis[J]. *J Bronchology Interv Pulmonol*, 2024, 31(1): 30-38. DOI: 10.1097/LBR.0000000000000925.
- [11] LUECKE K, TRUJILLO C, FORD J, et al. Anastomotic airway complications after lung transplant: clinical, bronchoscopic and CT correlation[J]. *J Thorac Imaging*, 2016, 31(5): W62-W71. DOI: 10.1097/RTI.0000000000000227.
- [12] FURUKAWA M, CHAN EG, MORRELL MR, et al. Risk factors of bronchial dehiscence after primary lung transplantation[J]. *J Card Surg*, 2022, 37(4): 950-957. DOI: 10.1111/jocs.16291.
- [13] SCHWEIGER T, SCHWARZ S, TRAXLER D, et al. Bronchoscopic indocyanine green fluorescence imaging of the anastomotic perfusion after tracheal surgery[J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 101(5): 1943-1949. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2015.11.058.
- [14] VAN PEL R, GAN CT, VAN DER BIJ W, et al. Three decades single center experience of airway complications after lung transplantation[J]. *Transpl Int*, 2023, 36: 11519. DOI: 10.3389/ti.2023.11519.
- [15] HASEGAWA T, IACONO AT, ORONS PD, et al. Segmental nonanastomotic bronchial stenosis after lung transplantation[J]. *Ann Thorac Surg*, 2000, 69(4): 1020-1024. DOI: 10.1016/s0003-4975(99)01556-8.
- [16] SOUILAMAS R, WERMERT D, GUILLEMAIN R, et al. Uncommon combined treatment of nonanastomotic bronchial stenosis after lung transplantation[J]. *J Bronchol*, 2008, 15(1): 54-55. DOI: 10.1097/LBR.0b013e318162c415.
- [17] 史灵芝, 黄桁, 刘明昭, 等. 肺移植术后需要临床干预的气道狭窄患者生存结局的影响因素[J]. *器官移植*, 2024, 15(2): 236-243. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2023236.
- [17] SHI LZ, HUANG H, LIU MZ, et al. Influencing factors of survival of patients with airway stenosis requiring clinical interventions after lung transplantation[J]. *Organ Transplant*, 2024, 15(2): 236-243. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2023236.
- [18] JINDAL A, AVASARAL S, GREWAL H, et al. Airway complications following lung transplantation[J]. *Indian J Thorac Cardiovasc Surg*, 2022, 38(Suppl 2): 326-334. DOI: 10.1007/s12055-022-01376-5.
- [19] LATOS M, NECKI M, URLIK M, et al. Effect of

- bronchoscopic interventions on long-term lung function among lung transplant recipients due to cystic fibrosis: a single-center study[J]. *Transplant Proc*, 2022, 54(4): 1086-1091. DOI: 10.1016/j.transproceed.2022.02.059.
- [20] NEAGOS GR, MARTINEZ FJ, DEEB GM, et al. Diagnosis of unilateral mainstem bronchial obstruction following single-lung transplantation with routine spirometry[J]. *Chest*, 1993, 103(4): 1255-1258. DOI: 10.1378/chest.103.4.1255.
- [21] 吴秀秀, 王婷, 王娟, 等. 急诊支气管镜介入治疗在恶性气道狭窄患者中的抢救价值[J]. *中国呼吸与危重监护杂志*, 2022, 21(10): 715-719. DOI: 10.7507/1671-6205.202209042.
- WU XX, WANG T, WANG J, et al. Rescue value of emergency bronchoscopic interventional therapy in patients with malignant airway stenosis[J]. *Chin J Respir Crit Care Med*, 2022, 21(10): 715-719. DOI: 10.7507/1671-6205.202209042.
- [22] MURTHY SC, GILDEA TR, MACHUZAK MS. Anastomotic airway complications after lung transplantation[J]. *Curr Opin Organ Transplant*, 2010, 15(5): 582-587. DOI: 10.1097/MOT.0b013e32833e3e6e.
- [23] MORA-CUESTA VM, TELLO-MENA S, IZQUIERDO-CUERVO S, et al. Bronchial stenosis after lung transplantation from cDCD donors using simultaneous abdominal normothermic regional perfusion: a single-center experience[J]. *Transplantation*, 2023, 107(11): 2415-2423. DOI: 10.1097/TP.0000000000004698.
- [24] TREMBLAY A, COULTER TD, MEHTA AC. Modification of a mucosal-sparing technique using electrocautery and balloon dilatation in the endoscopic management of web-like benign airway stenosis[J]. *J Bronchol*, 2003, 10(4): 268-271. DOI: 10.1097/00128594-200310000-00006.
- [25] IZHAKIAN S, WASSER W, UNTERMAN A, et al. Long-term success of metal endobronchial stents in lung transplant recipients[J]. *Thorac Cardiovasc Surg*, 2022, 70(6): 520-526. DOI: 10.1055/s-0040-1721461.
- [26] COSANO-POVEDANO J, MUÑOZ-CABRERA L, JURADO-GÁMEZ B, et al. Topical mitomycin C for recurrent bronchial stenosis after lung transplantation: a report of 2 cases[J]. *J Bronchol*, 2008, 15(4): 281-283. DOI: 10.1097/LBR.0b013e3181879e3a.
- [27] MONDONI M, RINALDO RF, SOLIDORO P, et al. Interventional pulmonology techniques in lung transplantation[J]. *Respir Med*, 2023, 211: 107212. DOI: 10.1016/j.rmed.2023.107212.
- [28] FITZSULLIVAN E, GRIES CJ, PHELAN P, et al. Reduction in airway complications after lung transplantation with novel anastomotic technique[J]. *Ann Thorac Surg*, 2011, 92(1): 309-315. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2011.01.077.
- [29] VAN BERKEL V, GUTHRIE TJ, PURI V, et al. Impact of anastomotic techniques on airway complications after lung transplant[J]. *Ann Thorac Surg*, 2011, 92(1): 316-321. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2011.03.031.
- [30] 杨航, 卫栋, 张稷, 等. 肺移植术后中心气道狭窄危险因素分析[J]. *器官移植*, 2022, 13(2): 240-245. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2022.02.013.
- YANG H, WEI D, ZHANG J, et al. Risk factors analysis of central airway stenosis after lung transplantation[J]. *Organ Transplant*, 2022, 13(2): 240-245. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2022.02.013.
- [31] SOETANTO V, GREWAL US, MEHTA AC, et al. Early postoperative complications in lung transplant recipients[J]. *Indian J Thorac Cardiovasc Surg*, 2022, 38(Suppl2): 260-270. DOI: 10.1007/s12055-021-01178-1.
- [32] VARELA A, HOYOS L, ROMERO A, et al. Management of bronchial complications after lung transplantation and sequelae[J]. *Thorac Surg Clin*, 2018, 28(3): 365-375. DOI: 10.1016/j.thorsurg.2018.04.006.
- [33] MUÑOZ-FOS A, MORENO P, GONZÁLEZ FJ, et al. Airway complications after lung transplantation—a contemporary series of 400 bronchial anastomoses from a single center[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(9): 3061. DOI: 10.3390/jcm12093061.
- [34] VAN DE WAUWER C, VAN RAEMDONCK D, VERLEDEN GM, et al. Risk factors for airway complications within the first year after lung transplantation[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2007, 31(4): 703-710. DOI: 10.1016/j.ejcts.2007.01.025.
- [35] SANTACRUZ JF, MEHTA AC. Airway complications and management after lung transplantation: ischemia, dehiscence, and stenosis[J]. *Proc Am Thorac Soc*, 2009, 6(1): 79-93. DOI: 10.1513/pats.200808-094GO.
- [36] KIM HH, JO KW, SHIM TS, et al. Incidence, risk factors, and clinical characteristics of airway complications after lung transplantation[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 667. DOI: 10.1038/s41598-023-27864-1.
- [37] SUBASI M, DUGER M. Preoperative risk factors of airway complications in adult lung transplant recipients: a systematic review and meta-analysis[J]. *Turk Gogus Kalp Damar Cerrahisi Derg*, 2023, 31(4): 517-529. DOI: 10.5606/tgkdc.dergisi.2023.25399.
- [38] VENUTA F, RENDINA EA, BUFI M, et al. Preimplantation retrograde pneumoplegia in clinical lung transplantation[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1999, 118(1): 107-714. DOI: 10.1016/S0022-5223(99)70149-2.
- [39] VARELA A, MONTERO CG, CÓRDOBA M, et al. Improved distribution of pulmonary flush solution to the tracheobronchial wall in pulmonary transplantation[J]. *Eur Surg Res*, 1997, 29(1): 1-4. DOI: 10.1159/000129500.
- [40] DENLINGER CE, MEYERS BF. Update on lung transplantation for emphysema[J]. *Thorac Surg Clin*, 2009, 19(2): 275-283. DOI: 10.1016/j.thorsurg.2009.03.001.

(收稿日期: 2024-02-21)

(本文编辑: 方引超 鄢加佳)