

· 学术盘点 ·

## 2024年中国肺移植临床研究年度盘点

靳小汉 孙艺馨 马吉尔 喻赠玮 刘亚灵 侯森林 郑翔匀 严浩吉 田东

**【摘要】** 肺移植作为目前公认的唯一有效的治疗终末期肺病的方法，提高了患者生存质量。但目前肺移植仍面临诸多挑战，包括排斥反应、感染、移植后急性肾损伤、移植后糖尿病、缺血-再灌注损伤、供者短缺等。2024年，中国肺移植学者在临床研究领域取得了一系列重要进展，着眼于上述问题的研究和解决，并为肺移植手术提供了新的思路。本文就2024年度肺移植领域的临床研究和技术创新展开系统综述，总结我国2024年度在肺移植领域临床研究取得的成果，以期为未来的研究提供新的方向和策略。

**【关键词】** 肺移植；排斥反应；感染；急性肾损伤；缺血-再灌注损伤；体外膜肺氧合；移植后糖尿病；供者短缺

**【中图分类号】** R617, R563 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445 (2025) 03-0006-07

**Annual review of clinical research on lung transplantation of China in 2024** Jin Xiaohan\*, Sun Yixin, Ma Jier, Yu Zengwei, Liu Yaling, Hou Senlin, Zheng Xiangyun, Yan Haoji, Tian Dong. \*West China School of Clinical Medicine, Sichuan University, Chengdu 610041, China

Corresponding author: Tian Dong, Email: 22tiandong@163.com

**【Abstract】** Lung transplantation is currently the only recognized effective treatment for end-stage lung disease and has improved the quality of life for patients. However, lung transplantation still faces many challenges, including rejection, infection, post-transplant acute kidney injury, post-transplant diabetes mellitus, ischemia-reperfusion injury and donor shortage, etc. Chinese lung transplantation scholars made a series of important progress in the field of clinical research in 2024, focusing on the study and solution of the above problems, and providing new ideas for lung transplantation surgery. This article systematically reviews the clinical research and technological innovation in the field of lung transplantation in 2024, summarizes the achievements of clinical research in the field of lung transplantation in China in 2024, and aims to providing new directions and strategies for future research.

**【Key words】** Lung transplantation; Rejection; Infection; Acute kidney injury; Ischemia-reperfusion injury; Extracorporeal membrane oxygenation; Post-transplant diabetes mellitus; Donor shortage

肺移植是目前公认的唯一有效的治疗终末期肺病的方法<sup>[1]</sup>。在过去的一年里，中国学者们在肺移植领域进行了一系列富有创新性的临床研究，为解决肺移

植中存在的诸多挑战提供了新的认识和策略。本文将全面梳理2024年中国团队发表的关于肺移植的最新临床研究成果，旨在为医学界提供一个深入了解我国

DOI: 10.12464/j.issn.1674-7445.2025087

基金项目：国家自然科学基金（82470104）

作者单位：610041 成都，四川大学华西临床医学院（靳小汉、孙艺馨、马吉尔）；四川大学华西医院胸部肿瘤研究所肺移植研究室（喻赠玮、刘亚灵、侯森林、严浩吉、田东），胸外科（郑翔匀、田东）

作者简介：靳小汉（ORCID 0009-0009-9483-8130），本科，研究方向为肺移植临床与基础研究，Email: Xiaohan\_Jin2004@outlook.com；孙艺馨（ORCID 0009-0007-7719-2951），本科，研究方向为肺移植临床与基础研究，Email: 2022151620439@stu.scu.edu.cn（靳小汉与孙艺馨为本文共同第一作者）

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@163.com

在这一领域所取得重要进展的窗口。学者们关注了肺移植的诸多关键问题，包括排斥反应、感染、急性肾损伤（acute kidney injury, AKI）、体外膜肺氧合（extracorporeal membrane oxygenation, ECMO）等。伴随着我国众多专家学者的不断尝试和经验总结，移植相关问题被逐年突破。本文就 2024 年度肺移植临床相关研究的前沿以及移植领域的研究进行综述，总结我国 2024 年在肺移植领域取得的成果，并为肺移植领域的发展提供新思路 and 策略。

## 1 检索策略

为了解肺移植领域在 2024 年度文献发表情况，笔者在 PubMed 按以下检索策略进行限定检索：选定检索词“lung transplantation[MeSH Terms] OR lung transplantation[Title/Abstract]”，发表时间限定在 2024 年 1 月 1 日至 12 月 31 日；共检索出 1 278 篇文献，在此检索结果上，利用“AND China[Affiliation]”得到我国团队发表的 129 篇文献，提示全年中国发表文献占比 10.09%。同时，为更加全面，笔者也扩大了检索范围，一同解读了一些移植相关的有价值文献。

## 2 中国肺移植临床研究进展

### 2.1 排斥反应

同种异体移植失败仍然是肺移植领域的一个主要障碍，主要包括急性和慢性排斥反应，可通过活体组织及影像学检查进行诊断和监测<sup>[2]</sup>。其中，慢性移植肺功能障碍（chronic lung allograft dysfunction, CLAD）仍然是影响受者长期生存率的重要因素之一。现有预防手段中，阿奇霉素在减轻移植物功能下降方面显示出较好的疗效<sup>[3-4]</sup>，然而，其对总生存期的影响尚无定论，单次使用阿奇霉素对 CLAD 的预防性治疗效果有限。中日友好医院通过一项回顾性单中心研究发现，在使用阿奇霉素预防的前提下，长期联合阿托伐他汀治疗可能短暂改善肺功能，降低炎症水平从而提高生存率，可能有利于 CLAD 的预防<sup>[5]</sup>。

免疫抑制治疗是有效应对移植术后排斥反应的关键手段。他克莫司应用于肺移植术后标准三联免疫抑制药治疗，被认为是肺移植术后免疫抑制的基石。然而，其狭窄的治疗范围和较大的药代动力学差异为患者个体化治疗带来了挑战。现有的他克莫司群体药代动力学模型总体预测性能均有不足，而贝叶斯预测

能够显著提高预测性能，为临床应用提供指导<sup>[6]</sup>。基于此，北京中日友好医院建立了一个预测模型，结合中国肺移植人群的药物基因组学和临床数据以确定他克莫司的初始剂量<sup>[7]</sup>，并进一步提出低他克莫司水平与高内部变异性的组合可考虑用于评估肺移植术后受者发生不良临床结局的风险<sup>[8]</sup>。此外，在应用免疫抑制药的同时，需要注意药物相互作用所带来的不良反应。浙江大学医学院附属第二医院团队研究结果表明，初始移植后重症监护室（intensive care unit, ICU）肺移植受者出现药物相互作用的频率较高，唑类药物与免疫抑制药联合用药表现出药物相互作用的高风险<sup>[9]</sup>。

### 2.2 感染

肺移植受者由于免疫抑制、频繁使用抗生素和长期住院等因素，其感染风险大大增加。根据《中国器官移植发展报告》，中国约 60% 的肺移植受者在术后早期发生肺部感染，肺部细菌感染例数占中国所有肺部感染总例数的 68.1%<sup>[10]</sup>。肺部细菌感染对肺移植受者的生活质量产生严重影响甚至危及生命，导致了约 40% 的围手术期死亡。南京医科大学附属无锡人民医院通过 2 项研究确定了年龄、术前多重耐药菌感染史、供肺细菌感染（如鲍曼不动杆菌）以及长时间缺血均为术后早期肺部细菌感染的独立危险因素，受者氧合指数和术中失血量是影响 1 年生存率的独立预后危险因素<sup>[10-11]</sup>。哈尔滨医科大学附属第二医院采用新一代测序技术对肺微生物组和宿主转录组特征进行了观察性研究，发现在围手术期预后不良的患者中，支原体和弓形杆菌数量增加，孪生球菌属数量减少，且白细胞介素（interleukin, IL）-10、IL-1 $\beta$  和肿瘤坏死因子- $\alpha$  水平增加<sup>[12]</sup>。因此，肺微生物组和细胞因子可被看作肺移植术后预后的潜在生物标志物，其与微生物组与肺部免疫、受者基因的表达差异及取样位置等因素均有关<sup>[12-13]</sup>。

随着临床实践中多重耐药革兰阴性菌感染问题日益严峻，曾因毒性过高而被放弃的多黏菌素类抗生素重新受到了广泛关注。南京医科大学附属无锡人民医院团队评估了硫酸黏菌素在肺移植受者中的临床疗效、微生物学疗效及不良事件，并构建了群体药代动力学模型，研究发现其清除率受唑塞米使用和肾功能的显著影响，目前说明书推荐的剂量方案可能导致肺移植受者在最低抑菌浓度超过 1 mg/L 时出现亚治疗暴露<sup>[14]</sup>。

供者来源性感染是影响肺移植受者预后的重要因素。使用感染多重耐药微生物,尤其是碳青霉烯类耐药微生物(carbapenem-resistant organism, CRO)的供者器官的风险与益处引发了广泛讨论。哈尔滨医科大学附属第二医院通过分析肺移植术后48 h内合并下呼吸道铜绿假单胞菌感染的肺移植受者数据,确定了耐碳青霉烯的绿脓杆菌感染和绿脓杆菌合并细菌感染是肺移植受者术后30 d死亡的独立危险因素<sup>[15]</sup>。上海交通大学附属胸科医院团队采用Xpert Carba-R检测用于实时筛查供肺中的CRO感染,发现该检测方法在床旁对供肺进行筛查,能够有效降低CRO相关感染的发生率和病死率,为临床医师提供了快速、准确的CRO感染筛查工具<sup>[16]</sup>。

### 2.3 急性肾损伤

AKI是肺移植术后常见并发症,发生率为39.9%~76.0%<sup>[17]</sup>,严重影响肺移植受者术后短期及长期生存率<sup>[18]</sup>。中日友好医院通过对不同AKI亚型进行分析,确定了术后7 d AKI不完全恢复是预测肺移植受者不良结局的可靠指标<sup>[19]</sup>。南通大学附属医院研究团队通过观察患者术后72 h内是否发生AKI及术后30 d内的肾脏预后,确定了围手术期容积是肺移植术后早期AKI的独立危险因素,术后实现液体摄入和输出的平衡或轻微的负平衡是降低AKI发生率和增强患者短期预后的关键策略<sup>[20]</sup>。北京友谊医院团队研发了一种基于基因型的列线图,可用于评估肺移植术后AKI的发生风险,有助于指导临床实践中的个性化预防策略<sup>[21]</sup>。

### 2.4 移植后糖尿病

糖尿病是影响实体器官移植术后病死率的重要原因之一。国际心肺移植学会注册数据显示,糖尿病与肺移植术后5年及10年病死率的增加密切相关<sup>[22]</sup>。既往研究表明,年龄、体质量指数(body mass index, BMI)、性别和种族是移植后糖尿病(post-transplant diabetes mellitus, PTDM)的危险因素<sup>[23-24]</sup>。中日友好医院药学部团队的研究表明,高龄、糖化血红蛋白水平升高、KCNJ11基因多态性和早期使用他克莫司也是肺移植术后PTDM的重要危险因素,而PTDM的发生并未显著影响肺移植受者术后肾功能、感染发生率、移植物功能障碍发生率及病死率<sup>[25]</sup>。

### 2.5 缺血-再灌注损伤

缺血-再灌注损伤(ischemia-reperfusion injury, IRI)在肺移植过程中不可避免地发生,进一步导致

原发性移植物功能障碍。同济大学医学院团队确定了IRI的3个潜在的中性粒细胞外陷阱相关生物标志物<sup>[26]</sup>。遵义医科大学附属医院与加拿大多伦多大学合作团队的一项基因富集分析结果表明,肺移植再灌注后凋亡和坏死性凋亡相关基因表达显著上调,细胞焦亡、细胞凋亡和坏死性凋亡之间错综复杂的相互作用统称为PANoptosis,在肺移植物中显著上调<sup>[27]</sup>。上述发现均可能为IRI的治疗提供新的靶点和解决思路。

### 2.6 其他常见围手术期并发症

术中低温定义为核心温度 $<36^{\circ}\text{C}$ ,是肺移植围手术期常见且可预防的并发症,发生率为44.3%~83.3%<sup>[28-29]</sup>。广州医科大学团队通过构建列线图预测肺移植受者术中低温的发生,结果证实该模型具有良好的预测价值,可指导临床肺移植术中低温高危个体的筛查<sup>[30]</sup>。

气道并发症是影响肺移植术后早期生存率的重要因素,主要包括气道狭窄、裂开、软化等,其中,气道狭窄与发生率和病死率高度相关,横截面积减少 $>50\%$ 可确诊为重度气道狭窄,需临床干预。四川大学华西医院团队此前的研究表明机器学习算法在预测肺移植受者生存结果方面的有效性<sup>[31]</sup>,在此基础上,研究团队扩展了机器学习算法的应用,使用随机森林算法和确定系数特征选择方法构建的最优机器学习模型,可有效预测肺移植术后受者需要临床干预的气道狭窄<sup>[32]</sup>,有助于其健康管理。

术后认知功能障碍(postoperative cognitive dysfunction, POCD)是肺移植术后另一种常见并发症。南京医科大学团队研究发现,肺移植受者的认知功能障碍程度总体呈下降趋势,患者可大致分为POCD高危和低危两类。早期康复锻炼、疼痛程度、ICU停留时间以及供肺缺血时间均为影响POCD的重要因素<sup>[33]</sup>。

### 2.7 体外膜肺氧合

近年来,ECMO已成为等待肺移植患者肺功能的关键支持系统,在肺移植术前采用ECMO作为桥接疗法的主要目的是防止患者身体状况恶化,改善整体健康状况,从而为成功肺移植创造最佳条件。ECMO技术不断改进,然而不同插管途径的局限性和不良反应仍未阐明。广州医科大学第一附属医院团队发现升主动脉-股静脉ECMO插管策略可向器官灌注充足有效的含氧血液,且部分不良反应(如术后感染、心力衰竭和术后出血)的发生相较于股动脉-股

静脉和腋动脉-股静脉插管少。据统计,不同插管方式对器官长期存活率的影响差异无统计学意义<sup>[34]</sup>。此外,短期无肝素钠抗凝治疗未导致严重血栓形成或相关死亡,表明这是肺移植围手术期 ECMO 的一种安全可行的策略<sup>[35-36]</sup>。

有关 ECMO 应用的预后因素研究仍存在一定的不一致性。有研究表明,肺移植中与 ECMO 桥接相关的病死率受 ECMO 支持时间延长、肝肾功能下降以及 ECMO 期间并发症等因素的影响<sup>[37]</sup>。亦有研究表明,年龄>51 岁、高 BMI、移植前透析史、供者高血压史、缺血时间延长和高血清总胆红素是 ECMO 桥接肺移植患者生存的不良预后因素<sup>[38]</sup>。为更好地预测采用 ECMO 作为桥接疗法患者的预后,青岛大学附属医院团队构建了列线图,根据临床和病理特征预测术前采用 ECMO 治疗患者的预后<sup>[38]</sup>。广州医科大学第一附属医院团队构建的风险评分模型基于 6 个危险因素(原发病诊断、肺动脉收缩压、性别、手术类型、肌酸激酶同工酶 MB 和 N 末端脑钠肽前体)预测术中 ECMO 需求<sup>[39]</sup>。南京医科大学附属无锡人民医院团队构建的风险预测模型表明优化患者的 BMI、手术时间、乳酸水平和驱动压力等,可降低患者延长机械通气的风险<sup>[40]</sup>。上述模型的开发和验证为临床医师提供了更为科学的决策依据,有助于优化 ECMO 桥接治疗方案,提高患者的预后质量,促进临床资源的合理分配。

## 2.8 技术创新与手术改进

劈裂式肺叶移植(split lobar lung transplantation, SLLTx)是传统肺叶移植基础上的一项技术革新,其通过对供肺进行解剖性劈裂,使得一个肺脏可以给 2 例小胸腔受者行双侧肺叶移植。目前,SLLTx 已成为供肺的有效利用方式。在此基础上,四川大学华西医院团队创新性地提出了右劈裂肺移植方法,并证实其效果及预后良好<sup>[41]</sup>。

肺动脉吻合术是肺移植术中的关键步骤,传统的肺动脉吻合术可能与不同程度的出血、扭转、畸形和其他并发症有关。传统的端-端吻合术重建肺动脉后,受者肺动脉呈现几乎垂直的扭转角度。广州医科大学第一附属医院团队采用肺动脉端对侧重建技术有效消除了角扭转,为肺上叶左向右倒置移植提供了技术参考<sup>[42]</sup>。广州医科大学第一附属医院团队使用供者和受者肺动脉残端折叠的肺动脉吻合术,可降低重建动脉血栓形成、扭转和狭窄的风险,同时不延长手术

时长<sup>[43]</sup>。

## 2.9 肠道菌群代谢特征

既往研究表明,肠道微生物群及其代谢变化与器官移植有关,但在肺移植背景下对该领域的研究较为有限。郑州大学第一附属医院团队分析了肺移植受者肠道微生物组和代谢组的变化,结果表明肺移植受者肠道的优势菌群为肠球菌属和链球菌属,拟杆菌属、草履虫属、粪杆菌属和普雷沃氏菌属的丰度下降,同时观察到全反式维甲酸水平的显著降低和 IgA 产生的抑制,这一变化可能与肠球菌属密切相关<sup>[44]</sup>。上述特征可能与肺移植受者的预后有关,值得注意的是,肺移植术后受者肠道菌群及代谢组的变化与排斥反应之间未见统计学关联<sup>[44]</sup>。

## 2.10 供者短缺

在供者短缺的背景下,边缘供者的利用和标准供者的扩展对肺移植领域具有重要的潜在价值。南京医科大学团队回顾性分析了 2018 年至 2022 年在南京医科大学附属无锡人民医院接受肺移植术受者数据,结果表明边缘供者[符合以下任何 1 项标准:供者年龄>55 岁、氧合指数<300 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)、吸烟史≥20 包/年、X 线胸片检查结果异常、支气管镜检查中有脓性分泌物]的受者总体生存率显著低于标准供者的受者;但在适当的评估和管理方式下,边缘供肺肺移植受者在短期和长期内仍可获得与标准供肺肺移植受者相当的效果<sup>[45]</sup>。在当前肺移植策略下,延长供肺的同种异体移植缺血时间(allograft ischemic time, AIT)也成为一种解决供者短缺的潜在策略。青岛大学附属医院团队的研究表明,虽然延长 AIT 可能使原发性移植物功能障碍等早期结局恶化,但对于长期生存率并无显著影响<sup>[46]</sup>。这表明在供者短缺的情况下,延长 AIT 或许是一种可行的策略,但使用时需谨慎评估移植术后的动态风险变化,以确保受者在短期内能够产生耐受,并在长期内获得良好预后。

大多数医疗机构对于脑死亡器官捐献与可控型心脏死亡器官捐献(controlled donation after cardiac death, cDCD)采用相同的供肺标准,但 cDCD 肺移植中扩大标准供肺的可行性尚不清楚。青岛大学附属医院团队的一项回顾性分析结果表明,在 cDCD 肺移植中使用扩大标准的供肺可能是一种可行的肺移植策略<sup>[47]</sup>,但该设想仍需要明确心脏死亡器官捐献的供肺标准。

## 2.11 儿童肺移植

对于终末期肺病患儿,尤其是保守治疗失败的患儿,肺移植成为能够挽救其生命的唯一治疗选择。目前,他克莫司用于预防儿童肺移植术后排斥反应的初始剂量尚不清楚。徐州医科大学团队在考虑体质量、CYP3A5基因型和伏立康唑联合给药影响的条件下,首次优化了血细胞比容正常的肺移植患儿他克莫司的给药初始剂量<sup>[48]</sup>,并模拟了低血细胞比容的肺移植患儿他克莫司的推荐初始剂量<sup>[49]</sup>。南京医科大学附属无锡人民医院团队报道了1例5岁儿童因ABCA3基因突变导致的肺间质纤维化成功接受双肺移植的病例<sup>[50]</sup>,表明了双肺移植在治疗儿童肺间质纤维化中的有效性,为类似病例提供了临床经验。

## 3 小结与展望

2024年,中国肺移植领域在临床板块研究取得了一系列重大发展,这与国内各位专家学者的刻苦钻研息息相关。科研工作者们进行了大量研究,努力减少感染和排斥反应,研究改善ECMO患者预后的方法,对现有技术与手术方法也提出了创新与改进方案。肺移植领域的技术进步和临床实践等优化,为患者带来了更多的希望和更好的预后,也为中国移植领域研究在国际的地位奠定了一个新的高度。

### 参考文献:

- [1] TIAN D, WANG Y, SHIYA H, et al. Outcomes of marginal donors for lung transplantation after ex vivo lung perfusion: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, 159(2): 720-730. DOI:10.1016/j.jtcvs.2019.07.087.
- [2] 徐琳, 严浩吉, 王俊杰, 等. 肺移植术后排斥反应的影像学检查方法现状及展望[J]. *器官移植*, 2021, 12(5): 544-549. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2021.05.007.
- [3] XU L, YAN H J, WANG J J, et al. Current status and prospect of imaging examination methods for rejection after lung transplantation[J]. *Organ Transplant*, 2021, 12(5): 544-549. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2021.05.007.
- [4] CORRIS P A, RYAN V A, SMALL T, et al. A randomised controlled trial of azithromycin therapy in bronchiolitis obliterans syndrome (BOS) post lung transplantation[J]. *Thorax*, 2015, 70(5): 442-450. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2014-205998.
- [5] HAO X, PENG C, LIAN W, et al. Effect of azithromycin on bronchiolitis obliterans syndrome in posttransplant recipients: a systematic review and meta-analysis[J]. *Medicine*, 2022, 101(28): e29160. DOI: 10.1097/MD.0000000000029160.
- [6] ZHANG D, WANG X, DU W, et al. Impact of long-term atorvastatin therapy on the development of chronic lung allograft dysfunction in patients with azithromycin prophylaxis after lung transplantation[J]. *Transplant Proc*, 2024, 56(9): 2012-2020. DOI: 10.1016/j.transproceed.2024.10.015.
- [7] HAN L, CUI Y, PAN Y, et al. External evaluation of tacrolimus population pharmacokinetic models in adult lung transplant patients: how to enhance the predictive ability of the model?[J]. *Int Immunopharmacol*, 2024, 143(Pt 1): 113225. DOI:10.1016/j.intimp.2024.113225.
- [8] DU W, WANG X, ZHANG D, et al. Genotype-guided model for prediction of tacrolimus initial dosing after lung transplantation[J]. *J Clin Pharmacol*, 2024, 64(6): 719-727. DOI: 10.1002/jcph.2411.
- [9] DU W, WANG X, ZHANG D, et al. Exploratory associations of tacrolimus exposure and clinical outcomes after lung transplantation: a retrospective, single center experience[J]. *Eur J Clin Pharmacol*, 2024, 80(5): 747-757. DOI: 10.1007/s00228-024-03640-6.
- [10] ZHANG J, MA D, CHEN M, et al. Prevalence and clinical significance of potential drug-drug interactions among lung transplant patients[J]. *Front Pharmacol*, 2024, 15: 1308260. DOI: 10.3389/fphar.2024.1308260.
- [11] GAO R, WANG W, QIAN T, et al. Pulmonary bacterial infection after lung transplantation: risk factors and impact on short-term mortality[J]. *J Infect*, 2024, 89(5): 106273. DOI: 10.1016/j.jinf.2024.106273.
- [12] LV J, ZHOU M, WEI D, et al. Analysis of high-risk factors for early pulmonary bacterial infection after lung transplantation and their correlation with long-term mortality[J]. *Am J Transl Res*, 2024, 16(9): 4988-4995. DOI: 10.62347/ILKV4550.
- [13] WU Y, HUANG L, LI M, et al. Association between the lung microbiome and perioperative prognosis in lung transplant recipients[J]. *J Appl Microbiol*, 2024, 135(4): lxae089. DOI: 10.1093/jambio/lxae089.
- [14] LI C X, LV M, LIU H Y, et al. Comparison of the upper and lower airway microbiome in early postoperative lung transplant recipients[J]. *Microbiol Spectr*, 2024, 12(6): e0379123. DOI: 10.1128/spectrum.03791-23.
- [15] CAI X, CHEN Y, FU J, et al. Population pharmacokinetic analysis and dosing optimization of colistin sulphate in lung transplant recipients with pneumonia: a prospective study[J]. *Int J Antimicrob Agents*, 2024, 64(5): 107346. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2024.107346.
- [16] WU Y, ZHU J, HUANG L, et al. Carbapenem-resistant pseudomonas aeruginosa infection and mixed infections are risk factors for poor outcome after lung transplant[J]. *Exp Clin Transplant*, 2024, 22(4): 300-306. DOI: 10.6002/ect.2023.0268.

- [16] ZHOU W Y, SHEN L, SHI J X, et al. Real-time, random-access organ screening for carbapenem-resistant organisms (CRO) reduces CRO-associated, donor-derived infection mortality in lung transplant recipients[J]. *Infection*, 2024, 52(2): 403-412. DOI: 10.1007/s15010-023-02089-6.
- [17] JING L, CHEN W, ZHAO L, et al. Acute kidney injury following adult lung transplantation[J]. *Chin Med J*, 2021, 135(2): 172-180. DOI: 10.1097/CM9.0000000000001636.
- [18] LIU X, ZHANG J, YANG Y, et al. Analysis of risk factors of acute kidney injury in perioperative patients after lung transplantation[J]. *Ann Palliat Med*, 2021, 10(9): 9841-9847. DOI: 10.21037/apm-21-2094.
- [19] DU W, ZHANG D, CHEN W, et al. Investigating an appropriate indicator of acute kidney injury for patient prognosis following lung transplantation[J]. *Ren Fail*, 2024, 46(2): 2406403. DOI: 10.1080/0886022X.2024.2406403.
- [20] SHEN Y, JIANG D, YUAN X, et al. Perioperative fluid balance and early acute kidney injury after lung transplantation[J]. *Heart Lung*, 2024, 68: 37-45. DOI: 10.1016/j.hrtlng.2024.06.008.
- [21] DU W, WANG X, ZHANG D, et al. A genotype-guided prediction model for the incidence of persistent acute kidney injury following lung transplantation[J]. *BMC Nephrol*, 2024, 25(1): 458. DOI: 10.1186/s12882-024-03871-w.
- [22] CHRISTIE J D, EDWARDS L B, KUCHERYAVAYA A Y, et al. The Registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: 29th adult lung and heart-lung transplant report-2012[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2012, 31(10): 1073-1086. DOI: 10.1016/j.healun.2012.08.004.
- [23] YAMADA Y, SATO T, HARADA N, et al. Perioperative diabetes mellitus affects the outcomes of lung transplant recipients[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2022, 62(1): ezac344. DOI: 10.1093/ejcts/ezac344.
- [24] YE X, KUO H T, SAMPAIO M S, et al. Risk factors for development of new-onset diabetes mellitus after transplant in adult lung transplant recipients[J]. *Clin Transplant*, 2011, 25(6): 885-891. DOI: 10.1111/j.1399-0012.2010.01383.x.
- [25] DU W, WANG X, ZHANG D, et al. Retrospective analysis on incidence and risk factors of post-transplant diabetes mellitus after lung transplantation and its association with clinical outcomes[J]. *Transpl Immunol*, 2024, 83: 102008. DOI: 10.1016/j.trim.2024.102008.
- [26] GAO J, ZHANG Z, YU J, et al. Identification of neutrophil extracellular trap-related gene expression signatures in ischemia reperfusion injury during lung transplantation: a transcriptome analysis and clinical validation[J]. *J Inflamm Res*, 2024, 17: 981-1001. DOI: 10.2147/JIR.S444774.
- [27] ZHAO Y, LIANG L, JEON J E, et al. Ischemia/reperfusion upregulates genes related to PANoptosis in human lung transplants[J]. *Transplantation*, 2024, DOI: 10.1097/TP.0000000000005268 [Epub ahead of print].
- [28] LAU A, LOWLAARAVAR N, COOKE E M, et al. Effect of preoperative warming on intraoperative hypothermia: a randomized-controlled trial[J]. *Can J Anaesth*, 2018, 65(9): 1029-1040. DOI: 10.1007/s12630-018-1161-8.
- [29] YI J, LEI Y, XU S, et al. Intraoperative hypothermia and its clinical outcomes in patients undergoing general anesthesia: national study in China[J]. *PLoS One*, 2017, 12(6): e0177221. DOI: 10.1371/journal.pone.0177221.
- [30] HUANG J, MIAO Y, SHEN X, et al. Risk factors for intraoperative hypothermia in patients receiving lung transplants[J]. *J Thorac Dis*, 2024, 16(11): 7607-7616. DOI: 10.21037/jtd-24-777.
- [31] TIAN D, YAN H J, HUANG H, et al. Machine learning-based prognostic model for patients after lung transplantation[J]. *JAMA Netw Open*, 2023, 6(5): e2312022. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.12022.
- [32] TIAN D, ZUO Y J, YAN H J, et al. Machine learning model predicts airway stenosis requiring clinical intervention in patients after lung transplantation: a retrospective case-controlled study[J]. *BMC Med Inform Decis Mak*, 2024, 24(1): 229. DOI: 10.1186/s12911-024-02635-8.
- [33] CAO L, YE S, CHEN Y, et al. Longitudinal study on the trajectory and influencing factors of cognitive dysfunction in lung transplantation patients[J]. *Transpl Immunol*, 2024, 84: 102053. DOI: 10.1016/j.trim.2024.102053.
- [34] LI J, LONG B, XIE W, et al. Outcomes of extracorporeal membrane oxygenation cannulation strategy in lung transplantation: a retrospective cohort study[J]. *Asian J Surg*, 2024, S1015-9584(24): 01811-6. DOI: 10.1016/j.asjsur.2024.08.073.
- [35] QI Z, GU S, YU X, et al. The impact of early perioperative heparin-free anticoagulation for extracorporeal membrane oxygenation on bleeding and thrombotic events in lung transplantation: a retrospective cohort study[J]. *Ther Adv Respir Dis*, 2024, 18: 17534666241273012. DOI: 10.1177/17534666241273012.
- [36] HUANG Z, ZHENG J, WANG M, et al. Heparin-free veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation in lung transplantation: a retrospective cohort study[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2024, 19(1): 255. DOI: 10.1186/s13019-024-02721-y.
- [37] ZHU Y, ZENG F, LAN M J, et al. Prognostic factors in lung transplantation after extracorporeal membrane oxygenation bridging therapy: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Thorac Dis*, 2024, 16(4): 2216-2224. DOI: 10.21037/jtd-23-1709.

- [38] LI S, CHEN S, WANG Z, et al. Risk factors and prognostic modeling in bridging extracorporeal membrane oxygenation patients before lung transplantation[J]. *J Thorac Dis*, 2024, 16(8): 5238-5247. DOI: 10.21037/jtd-24-430.
- [39] ZHANG Y, LI J, XIE W, et al. A risk score for predicting extracorporeal membrane oxygenation support before lung transplantation[J]. *J Thorac Dis*, 2024, 16(1): 231-240. DOI: 10.21037/jtd-23-452.
- [40] XUAN C, GU J, XU Z, et al. A novel nomogram for predicting prolonged mechanical ventilation in lung transplantation patients using extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 11692. DOI: 10.1038/s41598-024-62601-2.
- [41] MI X, DING N, LIU L, et al. A case of bilateral lobar transplantation using a donor split right lung: a new idea of split lung transplantation[J]. *Asian J Surg*, 2024, 47(10): 4471-4473. DOI: 10.1016/j.asjsur.2024.07.208.
- [42] LIU M, YANG C, LI X, et al. A novel bilateral lobar lung transplantation: end-to-side pulmonary artery reconstruction in left-to-right inverted split-lobe lung transplantation[J]. *JTCVS Tech*, 2024, 27: 207-210. DOI: 10.1016/j.xjtc.2024.07.008.
- [43] LIU M, PENG G, YANG C, et al. Pulmonary artery anastomosis during lung transplantation: a novel technique[J]. *J Thorac Dis*, 2024, 16(1): 768-772. DOI: 10.21037/jtd-23-1147.
- [44] HOU Z, ZHANG T, DING Z, et al. Analysis on the change of gut microbiota and metabolome in lung transplant patients[J]. *Microbiol Spectr*, 2024, 12(4): e0314223. DOI: 10.1128/spectrum.03142-23.
- [45] CHEN L, CHEN C, CHENG Y, et al. Short-term and long-term outcomes of lung transplantation from marginal donors: a single-center retrospective study[J]. *J Thorac Dis*, 2024, 16(12): 8656-8668. DOI: 10.21037/jtd-24-1699.
- [46] ZHANG W, QIU T, METELMANN I B, et al. Dynamic associations between adverse events after lung transplantation and allograft ischaemic time[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2024, 66(6): ezae425. DOI: 10.1093/ejcts/ezae425.
- [47] ZHANG W, ZHANG C, LIU H, et al. Extended criteria donor use in lung transplants from donation after controlled circulatory death[J]. *Transplant Proc*, 2024, 56(7): 1633-1638. DOI: 10.1016/j.transproceed.2024.07.003.
- [48] HU K, HE S M, ZHANG C, et al. Optimizing the initial tacrolimus dosage in Chinese children with lung transplantation within normal hematocrit levels[J]. *Front Pediatr*, 2024, 12: 1090455. DOI: 10.3389/fped.2024.1090455.
- [49] HU K, PAN J J, QU W Q, et al. Weight, CYP3A5 genotype, and voriconazole co-administration influence tacrolimus initial dosage in pediatric lung transplantation recipients with low hematocrit based on a simulation model[J]. *Curr Pharm Des*, 2024, 30(34): 2736-2748. DOI: 10.2174/0113816128318672240807112413.
- [50] GE F, LIANG J, ZHOU J, et al. Successful bilateral lung transplantation in a five-year-old child with pulmonary interstitial fibrosis caused by an ABCA3 gene mutation[J]. *Transpl Immunol*, 2024, 85: 102056. DOI: 10.1016/j.trim.2024.102056.

(收稿日期: 2025-02-17)

(本文编辑: 谢诗韵 鄢加佳)