

· 论著 ·

俯卧位通气联合 VV-ECMO 治疗肺移植术后重度原发性移植物失功疗效分析

王大鹏 梁城龙 朱劲松 周涛 徐忠平 胡春晓 许红阳

【摘要】 目的 探讨俯卧位通气联合静脉-静脉体外膜肺氧合 (VV-ECMO) 在肺移植术后重度原发性移植物失功 (PGD) 治疗中的应用效果。方法 收集南京医科大学附属无锡市人民医院在 2021 年 1 月至 2024 年 6 月肺移植术后发生重度 PGD 并行 VV-ECMO 治疗 75 例肺移植受者的临床资料, 将肺移植术后发生重度移植物失功患者分为 VV-ECMO 组 (对照组 45 例) 和俯卧位通气联合 VV-ECMO 组 (治疗组 30 例)。比较两组患者的一般资料, 包括供者临床资料 (年龄、性别、氧合指数等) 和受者临床资料 [性别、年龄、体质量指数 (BMI) 等], 利用 Cox 回归分析受者术后 30 d、90 d、180 d 生存影响因素, 采用 Kaplan-Meier 法绘制两组受者生存曲线并进行 log-rank 检验。结果 对照组受者重症监护室 (ICU) 停留时间、ECMO 应用时间及呼吸机使用时间均长于治疗组, 对照组受者性别为男性少于治疗组、BMI 小于治疗组, 对照组受者 30 d、90 d 及 180 d 生存情况均比治疗组差, 且差异均有统计学意义 (均为 $P < 0.05$)。受者术后 30 d 生存单因素 Cox 回归分析显示, 受者 BMI、糖尿病史、右心房与右心室增大、术中输血量、术中输红细胞量均有统计学意义 (均为 $P < 0.05$)。多因素 Cox 回归分析显示, 糖尿病史、右心房与右心室增大均为影响肺移植受者术后 30 d 生存的危险因素 (均为 $P < 0.05$)。受者术后 90 d 生存单因素 Cox 回归分析显示, 受者 BMI、糖尿病史、右心房与右心室增大、术中输血量、术中输红细胞量、组别变量均有统计学意义 (均为 $P < 0.05$)。多因素 Cox 回归分析显示, 糖尿病史、右心房与右心室增大、组别变量均为影响肺移植受者术后 90 d 生存的危险因素 (均为 $P < 0.05$)。受者术后 180 d 生存单因素 Cox 回归分析显示, 受者 BMI、糖尿病史、右心房与右心室增大、术中输血量、术中输红细胞量、组别变量均有统计学意义 (均为 $P < 0.05$)。多因素 Cox 回归分析显示, 糖尿病史、右心房与右心室增大、组别变量均为影响肺移植受者术后 180 d 生存的危险因素 (均为 $P < 0.05$)。对照组受者术后 30 d、90 d、180 d 生存率更低, 两组差异均有统计学意义 (均为 $P < 0.05$)。其中对照组中位生存期为 100 d。结论 在肺移植术后重度 PGD 的临床治疗中, 俯卧位通气联合 VV-ECMO 有助于缩短 ECMO 应用时间、有创通气时间、ICU 停留时间, 并改善肺移植术短期预后。

【关键词】 俯卧位通气; 静脉-静脉体外膜肺氧合; 肺移植; 重度移植物失功; 重症监护室; 急性呼吸窘迫综合征; 氧合指数; 有创机械通气

【中图分类号】 R617, R563 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445 (2025) 06-0010-09

Analysis of the efficacy of prone position ventilation combined with veno-venous extracorporeal membrane oxygenation in the treatment of severe primary graft dysfunction after lung transplantation Wang Dapeng*, Liang Chenglong, Zhu Jinsong, Zhou Tao, Xu Zhongping, Hu Chunxiao, Xu Hongyang. *Department of Critical Care Medicine, Wuxi People's Hospital Affiliated to

DOI: 10.12464/j.issn.1674-7445.2025125

基金项目: 江苏省科技计划专项基金 (BF2022697); 无锡市卫健委面上项目 (M202435); 南京医科大学无锡医学中心 2024 年专病队列 (WMCC202401)

作者单位: 214023 江苏无锡, 南京医科大学附属无锡市人民医院重症医学科 (王大鹏、梁城龙、朱劲松、周涛、徐忠平、许红阳), 麻醉科 (胡春晓)

作者简介: 王大鹏 (ORCID 0009-0008-2608-4368), 博士, 主任医师, 研究方向为肺移植围手术期管理, Email: wangdapeng1053@163.com

通信作者: 许红阳 (ORCID 0009-0003-8847-3506), 博士, 主任医师, 研究方向为肺移植围手术期管理, Email: xhy1912@aliyun.com

Nanjing Medical University, Wuxi 214023, China

Corresponding author: Xu Hongyang, Email: xhy1912@aliyun.com

【 Abstract 】 Objective To explore the application effect of prone position ventilation combined with veno-venous extracorporeal membrane oxygenation (VV-ECMO) in the treatment of severe primary graft dysfunction (PGD) after lung transplantation. **Methods** The clinical data of 75 lung transplant recipients who developed severe PGD after lung transplantation and were treated with VV-ECMO from January 2021 to June 2024 at Wuxi People's Hospital Affiliated to Nanjing Medical University were collected. The patients with severe graft dysfunction after lung transplantation were divided into VV-ECMO group (control group, 45 cases) and prone position ventilation combined with VV-ECMO group (treatment group, 30 cases). The general data of the two groups of patients were compared, including the donors' clinical data (age, gender and oxygenation index, etc) and the recipients' clinical data [gender, age and body mass index (BMI), etc]. Cox regression analysis was used to analyze the influencing factors of the recipients' 30-day, 90-day and 180-day survival after surgery. The survival curves of the two groups of recipients were drawn using Kaplan-Meier method and compared using the log-rank test. **Results** The intensive care unit (ICU) stay time, ECMO application time and ventilator use time of control group were longer than those of treatment group. The proportion of male recipients and the BMI of control group were lower than those of treatment group. The 30-day, 90-day and 180-day survival of control group was worse than that of treatment group, and the differences were statistically significant (all $P < 0.05$). The univariate Cox regression analysis of the recipients' 30-day survival after surgery showed that the recipients' BMI, history of diabetes, enlargement of the right atrium and right ventricle, intraoperative blood transfusion volume and intraoperative red blood cell transfusion volume were statistically significant (all $P < 0.05$). The multivariate Cox regression analysis showed that the history of diabetes and enlargement of the right atrium and right ventricle were risk factors affecting the 30-day survival of lung transplant recipients (all $P < 0.05$). The univariate Cox regression analysis of the recipients' 90-day survival after surgery showed that the recipients' BMI, history of diabetes, enlargement of the right atrium and right ventricle, intraoperative blood transfusion volume, intraoperative red blood cell transfusion volume and group variable were statistically significant (all $P < 0.05$). The multivariate Cox regression analysis showed that the history of diabetes, enlargement of the right atrium and right ventricle and group variable were risk factors affecting the 90-day survival of lung transplant recipients (all $P < 0.05$). The univariate Cox regression analysis of the recipients' 180-day survival after surgery showed that the recipients' BMI, history of diabetes, right atrium and right ventricle enlargement, intraoperative blood transfusion volume, intraoperative red blood cell transfusion volume and group variable were statistically significant (all $P < 0.05$). The multivariate Cox regression analysis showed that the history of diabetes, enlargement of the right atrium and right ventricle and group variable were risk factors affecting the 180-day survival of lung transplant recipients (all $P < 0.05$). The 30-day, 90-day and 180-day survival rates of control group were lower, and the differences between the two groups were statistically significant (all $P < 0.05$), with a median survival time of 100 days in control group. **Conclusions** In the clinical treatment of severe PGD after lung transplantation, prone position ventilation combined with VV-ECMO may shorten ECMO application time, invasive ventilation time and ICU stay time, and improve the short-term prognosis of lung transplantation.

【 Key words 】 Prone position ventilation; Venovenous extracorporeal membrane oxygenation; Lung transplantation; Severe primary graft dysfunction; Intensive care unit; Acute respiratory distress syndrome; Oxygenation index; Invasive mechanical ventilation

肺移植是一种挽救终末期肺病患者生命的有效手段,随着技术的进步,肺移植受者的生存率明显提高,但是肺移植受者的早期病死率仍然高于其他实体器官移植受者,原发性移植物失功(primary graft dysfunction, PGD)是影响肺移植术后早期生存率的主要因素之一^[1-4]。PGD的病理生理学特征是肺水肿伴顺应性降低、气体交换受损和肺血管阻力增加。

PGD引起的肺移植后难治性低氧血症和急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)具有相似的病理生理学基础,可应用的治疗方法有限,静脉-静脉体外膜肺氧合(veno-venous extracorporeal membrane oxygenation, VV-ECMO)作为有效支持手段,仅能起到支持过渡作用,不能改善其病理生理过程,俯卧位通气能够改善ARDS通气

与血流比值失调^[5-8]，进而缩短 ARDS 病程。

既往研究多在探讨不同体外膜肺氧合支持模式对 PGD 的治疗效果^[9-12]，或者对于 PGD 患者单用俯卧位通气治疗，笔者未见两种治疗方式联合治疗 PGD 的研究^[13-15]，本研究将通过回顾性分析肺移植术后重度 PGD 患者应用俯卧位通气和 VV-ECMO 联合治疗的临床资料，探讨俯卧位通气联合 VV-ECMO 治疗对重度 PGD 患者早期预后的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集 2021 年 1 月至 2024 年 6 月在南京医科大学附属无锡市人民医院行肺移植术，术后发生重度 PGD 并行 VV-ECMO 治疗 75 例肺移植受者的临床资料，分组参考根据 PGD 2016 专家共识^[16]，根据 X 线胸片和氧合指数判断是否为重度 PGD [氧合指数 < 200 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)]。本研究获得南京医科大学附属无锡市人民医院伦理委员会审核批准 (批号: KY24172) 且豁免患者知情同意。

1.2 纳入及排除标准

根据纳入与排除标准最终纳入 75 例，其中男 48 例，女 27 例。纳入标准：(1) 首次肺移植患者；(2) 双肺移植患者；(3) 受者年龄 ≥ 18 岁；(4) 肺移植术后出现重度 PGD 患者；(5) 肺移植术后应用 VV-ECMO 辅助的患者；排除标准：(1) 资料不完整的患者；(2) 二次肺移植的患者；(3) 肺移植术后非 PGD 原因应用 VV-ECMO 辅助的患者。随访截止日期为 2024 年 12 月 31 日。

1.3 分组情况

将肺移植术后发生重度 PGD 患者分为 VV-ECMO 组 (对照组 45 例) 和俯卧位通气联合 VV-ECMO 组 (治疗组 30 例)。其中治疗组男 26 例，女 4 例，年龄 (53±14) 岁，原发病包括肺间质纤维化 23 例，慢性阻塞性肺疾病 1 例，肺尘埃沉着病 2 例，支气管扩张 1 例，肺淋巴瘤 1 例，先天性肺动静脉瘘 1 例，原发性肺动脉高压 1 例；对照组男 22 例，女 23 例，年龄 (51±11) 岁，原发病包括肺间质纤维化 34 例，慢性阻塞性肺疾病 2 例，肺尘埃沉着病 4 例，支气管扩张 2 例，原发性肺动脉高压 2 例，毁损肺 1 例。

1.4 研究内容

收集比较两组患者的临床资料，包括供者临床资

料 (年龄、性别、氧合指数、气管插管时间等)，受者临床资料 [性别、年龄、体质量指数 (body mass index, BMI)、血型、重症监护室 (intensive care unit, ICU) 停留时间等]，分析受者肺移植术后 30 d、90 d 和 180 d 生存影响因素及比较不同组别受者生存率。

1.5 统计学方法

采用 R version 4.2.2 软件进行统计学分析，计数资料以率表示，无序分类资料组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验，有序分类资料比较采用 Mann-Whitney 秩和检验。计量资料以均数 ± 标准差或中位数 (下四分位数，上四分位数) 表示，两组间比较采用独立样本 *t* 检验或 Mann-Whitney 秩和检验。采用 Kaplan-Meier 进行生存分析，两组间生存率比较采用 log-rank 法。所有统计学检验均采用双侧检验， $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组供受者临床资料比较

治疗组和对照组供受者的临床资料见表 1，对照组受者 ICU 停留时间、ECMO 应用时间及呼吸机使用时间均长于治疗组，且差异均有统计学意义 (均为 $P < 0.05$)；对照组受者性别为男性少于治疗组、BMI 小于治疗组，且差异均有统计学意义 (均为 $P < 0.05$)，对照组受者 30 d、90 d 及 180 d 生存情况均比治疗组差，且差异均有统计学意义 (均为 $P < 0.05$)。两组供者指标、受者年龄、血型及吸烟史等指标差异均无统计学意义 (均为 $P > 0.05$)。



扫描二维码 1 见表 1

2.2 肺移植受者术后 30 d 生存情况分析

对肺移植受者术后 30 d 生存情况进行分析，单因素 Cox 回归分析显示，受者 BMI、糖尿病史、右心房与右心室增大、术中输血量、术中输红细胞量均有统计学意义 (均为 $P < 0.05$ ，图 1)。

多因素 Cox 回归分析显示, 糖尿病史、右心房与右心室增大均为影响肺移植受者术后 30 d 生存的危险因素 (均为 $P < 0.05$, 图 2)。有糖尿病史的受者术后 30 d 死亡风险约为无糖尿病史受

者的 4.04 倍; 右心房与右心室增大的受者术后 30 d 死亡风险约为右心房与右心室不增大受者的 3.10 倍。

利用 log-rank 检验对比分析发现, 对照组受者术后 30 d 生存率更低, 两组差异有统计学意义 ($P < 0.05$, 图 3)。

2.3 肺移植受者术后 90 d 生存情况分析

对肺移植受者术后 90 d 生存情况进行分析, 单因素 Cox 回归分析显示, 受者 BMI、糖尿病史、右心房与右心室增大、术中输血量、术中输红细胞量、组别变量均有统计学意义 (均为 $P < 0.05$, 图 4)。

多因素 Cox 回归分析显示, 糖尿病史、右心房与右心室增大、组别变量均为影响肺移植受者术后

变量	风险比 (95%可信区间)	风险比 (95%可信区间)	P 值
受者性别			
男			
女	1.25 (0.56, 2.77)		0.592
受者年龄	0.99 (0.96, 1.02)		0.542
受者BMI	0.89 (0.81, 0.98)		0.021
受者血型			
O			
A	1.68 (0.60, 4.73)		0.324
B	1.17 (0.39, 3.47)		0.784
AB	1.64 (0.41, 6.56)		0.484
供者年龄	1.02 (0.98, 1.06)		0.262
供者性别			
男			
女	1.51 (0.56, 4.03)		0.417
供者氧合指数	1.00 (1.00, 1.01)		0.589
供者气管插管时间	1.00 (0.98, 1.02)		0.886
供者吸烟史			
无			
有	1.04 (0.39, 2.79)		0.934
受者吸烟史			
无			
有	0.50 (0.17, 1.45)		0.200
受者饮酒史			
无			
有	1.04 (0.14, 7.70)		0.968
受者糖尿病史			
无			
有	3.29 (1.48, 7.34)		0.004
受者高血压史			
无			
有	0.52 (0.16, 1.75)		0.292
受者冠心病史			
无			
有	1.07 (0.25, 4.54)		0.930
受者激素使用			
无			
有	1.39 (0.63, 3.04)		0.414
受者术前肺结核病史			
无			
有	1.27 (0.48, 3.38)		0.633
受者术前气胸史			
无			
有	2.63 (0.62, 11.15)		0.191
受者右心房与右心室增大			
无			
有	2.90 (1.29, 6.49)		0.010
受者肺功能			
不耐受			
耐受	0.79 (0.38, 1.79)		0.570
受者肺动脉高压史			
否			
是	1.95 (0.78, 4.89)		0.153
受者肺动脉压	1.02 (1.00, 1.04)		0.083
受者术前ECMO			
否			
是	1.24 (0.29, 5.28)		0.767
移植类型			
单肺			
双肺	1.58 (0.54, 4.62)		0.400
供肺是否减容			
否			
是	1.10 (0.46, 2.62)		0.838
SHEEL式切口			
否			
是	1.27 (0.38, 4.23)		0.701
手术时间	1.00 (1.00, 1.01)		0.280
冷凝血时间	1.00 (1.00, 1.01)		0.514
术中出血	1.00 (1.00, 1.00)		0.120
术中输血量	1.00 (1.00, 1.00)		0.012
术中输注红细胞量	1.00 (1.00, 1.00)		0.022
组别			
治疗组			
对照组	2.45 (0.98, 6.13)		0.057

图 1 肺移植受者术后 30 d 生存单因素 Cox 回归分析
Figure 1 Univariate Cox regression analysis of 30-day postoperative survival in lung transplant recipients

变量	风险比 (95%可信区间)	风险比 (95%可信区间)	P 值
糖尿病史			
无			
有	4.04 (1.74, 9.40)		0.001
右心房与右心室增大			
无			
有	3.10 (1.33, 7.21)		0.009

图 2 肺移植受者术后 30 d 生存多因素 Cox 回归分析
Figure 2 Multivariate Cox regression analysis of 30-day postoperative survival in lung transplant recipients

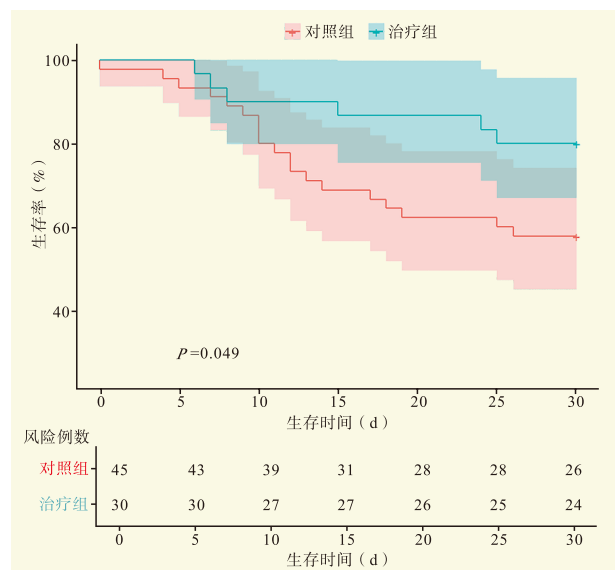


图 3 两组受者 30 d 生存分析
Figure 3 30-day survival analysis of the two groups of recipients

90 d 生存的危险因素 (均为 $P < 0.05$, 图 5)。有糖尿病史的受者术后 90 d 死亡风险约为无糖尿病史受者的 3.92 倍; 右心房与右心室增大的受者术后 90 d 死亡风险约为右心房与右心室不增大受者的 3.16 倍;

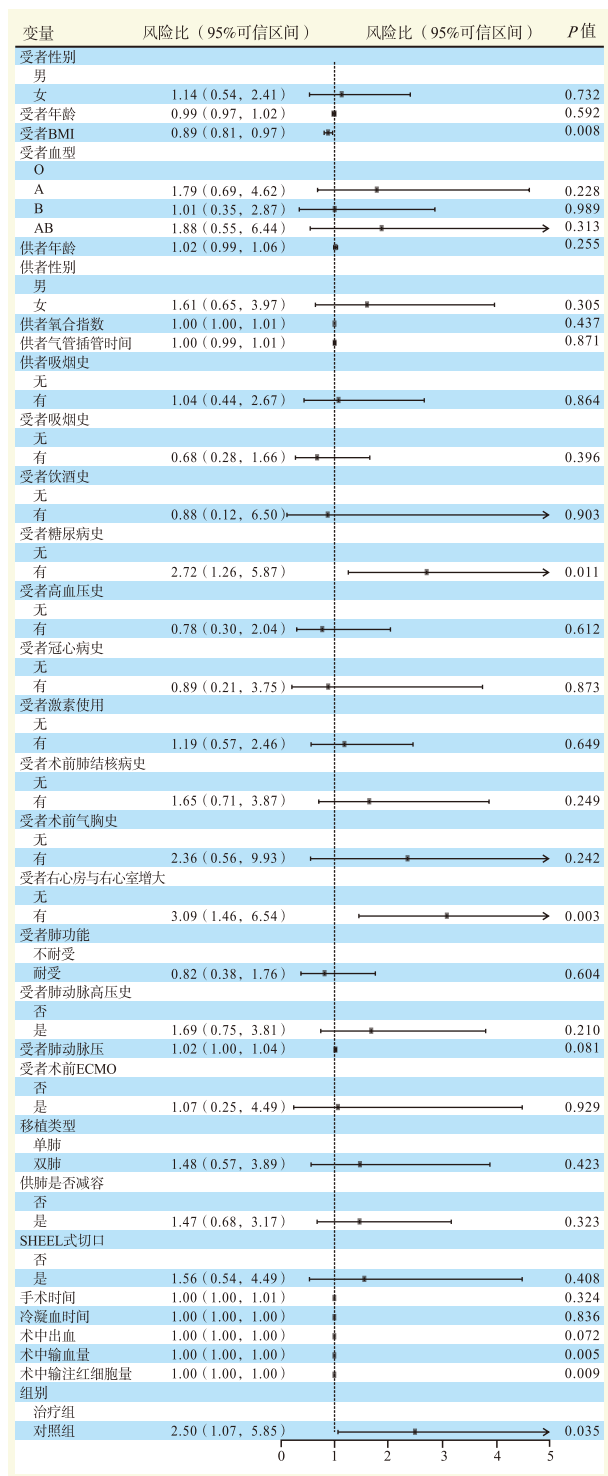


图 4 肺移植受者术后 90 d 生存单因素 Cox 回归分析
Figure 4 Univariate Cox regression analysis of 90-day postoperative survival in lung transplant recipients

组别为对照组的受者术后 90 d 死亡风险约为治疗组的 3.09 倍。

利用 log-rank 检验对比分析发现, 对照组受者术后 90 d 生存率更低, 两组差异有统计学意义 ($P < 0.05$, 图 6)。

2.4 肺移植受者术后 180 d 生存情况比较

对肺移植受者术后 180 d 生存情况进行分析, 单因素 Cox 回归分析显示, 受者 BMI、糖尿病史、右心房与右心室增大、术中输血量、术中输红细胞量、组别变量均有统计学意义 (均为 $P < 0.05$, 图 7)。

多因素 Cox 回归分析显示, 糖尿病史、右心房与右心室增大、组别变量均为影响肺移植受者术后

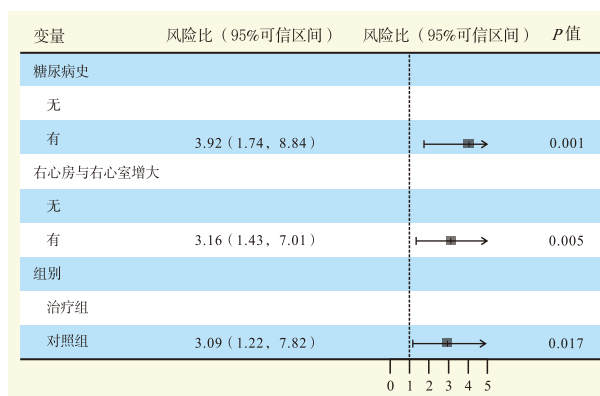


图 5 肺移植受者术后 90 d 生存多因素 Cox 回归分析
Figure 5 Multivariate Cox regression analysis of 90-day postoperative survival in lung transplant recipients

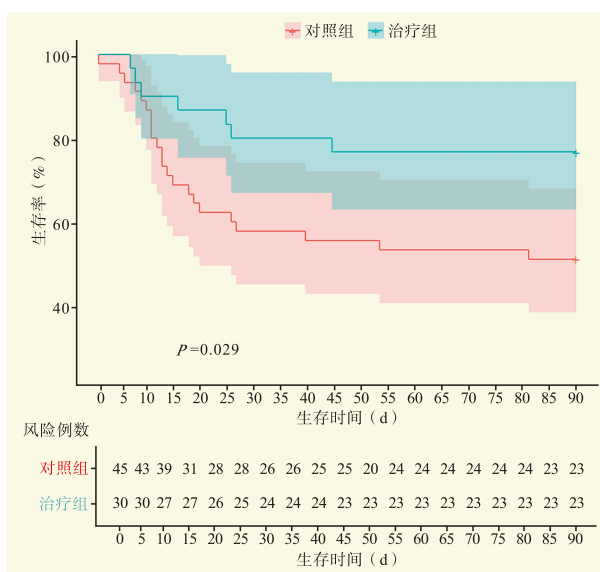


图 6 两组受者 90 d 生存分析
Figure 6 90-day survival analysis of the two groups of recipients

180 d 生存的危险因素 (均为 $P < 0.05$, 图 8)。有糖尿病史的受者术后 180 d 死亡风险约为无糖尿病史受者的 4.34 倍; 右心房与右心室增大的受者术后 180 d 死亡风险约为右心房与右心室不增大受者的

2.71 倍; 组别为对照组的受者术后 180 d 死亡风险约为治疗组的 3.91 倍。

利用 log-rank 检验对比分析发现, 对照组受者术后 180 d 生存率更低, 两组差异有统计学意义 ($P < 0.05$, 图 9), 其中对照组中位生存期为 100 d。

3 讨论

PGD 是最常见的肺移植术后并发症之一, 在移植术后 72 h 内发生。临床上常表现为严重的低氧血症和肺水肿, PGD 是肺移植术后 30 d 死亡的主要原因, 还会增加慢性移植物功能障碍和闭塞性细支气管炎综合征的风险, 被认为是影响受者术后长期生存的

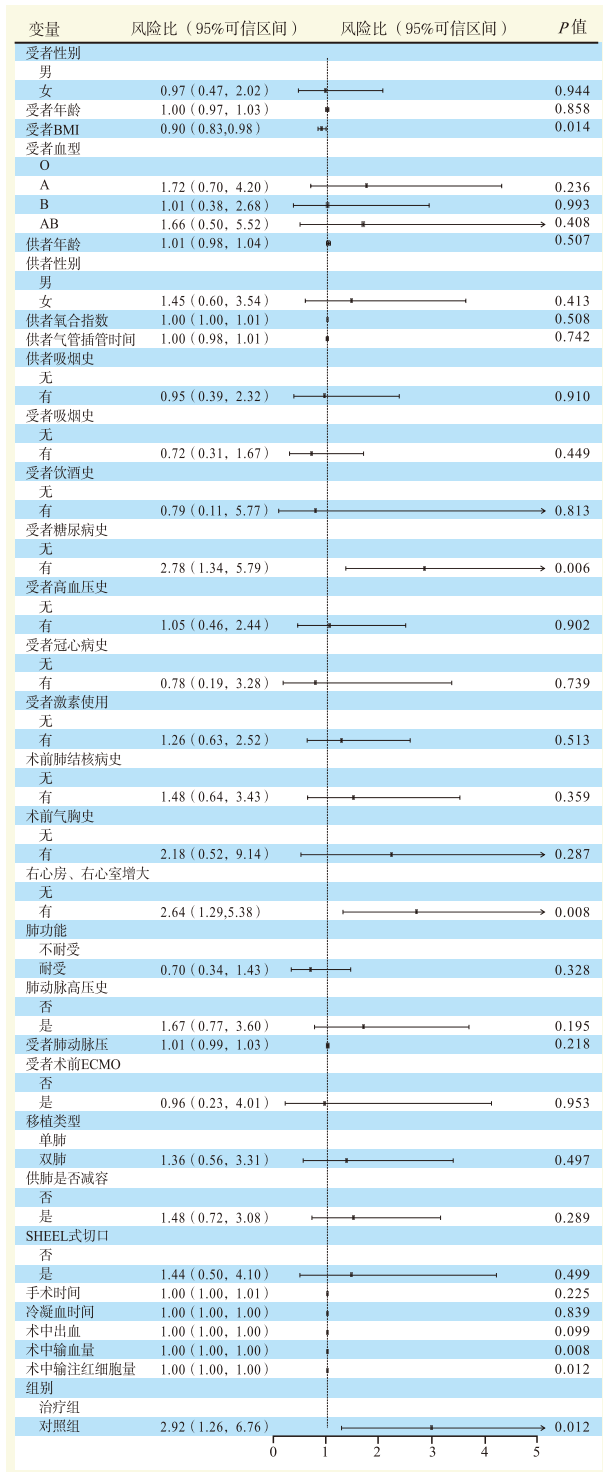


图 7 肺移植受者术后 180 d 生存单因素 Cox 回归分析
Figure 7 Univariate Cox regression analysis of 180-day postoperative survival in lung transplant recipients

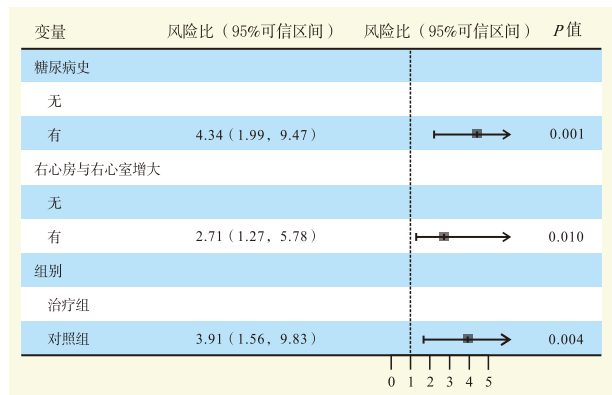


图 8 肺移植受者术后 180 d 生存多因素 Cox 回归分析
Figure 8 Multivariate Cox regression analysis of 180-day postoperative survival in lung transplant recipients

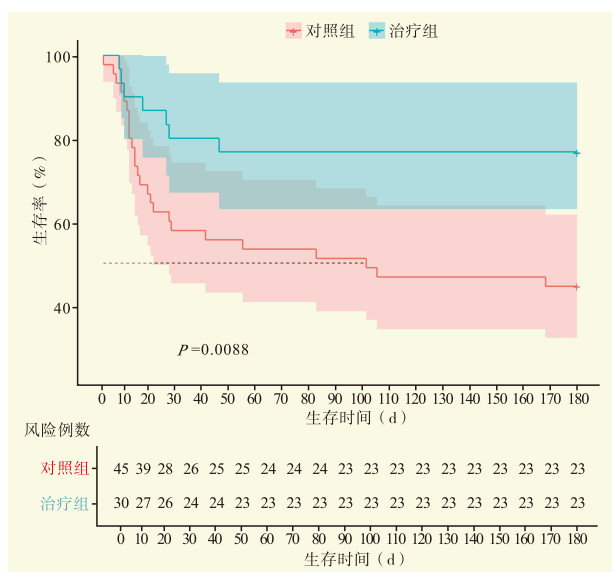


图 9 两组受者 180 d 生存分析
Figure 9 180-day survival analysis of the two groups of recipients

主要不良预后因素^[17]。

PGD 与 ARDS 临床表现相似^[18-19]，基于 ARDS 治疗领域的有力证据，俯卧位通气被证明可以改善氧合并提高长期生存率^[20-21]。PGD 由缺血-再灌注损伤引起，发病机制较复杂，供者和受者免疫因子之间的复杂相互作用，导致肺泡细胞损伤的急性炎症反应，是从再灌注时开始的促炎症级联反应。PGD 发生在两个阶段：由供者肺巨噬细胞和淋巴细胞调节的早期阶段，以及由受者中性粒细胞和淋巴细胞调节的后期阶段^[22-25]。产生的活性氧簇通过干扰细胞功能、激活蛋白水解酶和增加自噬来加快损伤的速度。缺血-再灌注损伤过程的转录特征是参与细胞存活、表面信号传导和氧化应激反应相关基因的上调。组织学上 PGD 患者的肺泡间隙表现出明显内皮和上皮损伤、中性粒细胞浸润和水肿^[26-29]。

Riera 等^[13]2017 年发表的一项前瞻性研究中，22 例肺移植术后 PGD 患者接受了俯卧位通气治疗后氧合指数改善明显，但其术后 1 年病死率和移植功能与其他人群相似。Frick 等^[14]2023 年发表的一项回顾性研究分析了 165 例肺移植术后 PGD 患者的单中心队列，并报道了俯卧位期间患者氧合和肺顺应性有显著改善，治疗组与对照组 90 d 生存率相似。Sella 等^[15]2024 年发表的一项回顾性研究显示，24 例肺移植术后 PGD 患者采用早期（诊断 PGD 24 h 内）俯卧位通气治疗，18 例肺移植术后 PGD 患者采用晚期（诊断 PGD 后 24~48 h）采取俯卧位通气治疗，早期俯卧位通气组相较于晚期俯卧位通气组表现出现更好的氧合、驱动压和静态呼吸系统顺应性。

本研究分析了俯卧位通气联合 VV-ECMO 组对肺移植术后重度 PGD 患者短期预后的影响，与单纯 VV-ECMO 治疗组相比，俯卧位通气治疗组不仅缩短了 VV-ECMO 时间、机械通气时间及 ICU 停留时间，同时减少了医疗费用，并降低了患者 90 d 和 180 d 病死率。本研究独特之处在于纳入患者均为肺移植术后重度 PGD 患者，治疗组和对照组均采用 VV-ECMO 支持行肺保护性通气治疗，美国胸外科协会 2022 年专家共识机械循环支持在肺移植中的应用中指出，在肺移植术后血流动力学和心功能稳定的 PGD 患者中，建议使用 VV-ECMO 进行体外支持^[30]。

基于与 ARDS 有相似的病理生理表现，在重度 ARDS 患者体外膜氧合过程中采用俯卧位通气治疗取得较好治疗效果^[31-34]，肺移植术后 PGD 患者在 VV-ECMO 应用期间实施肺保护性通气，VV-ECMO 支持期间可降低呼吸机诱发的肺损伤风险，以利于 PGD 患者的恢复，如果在 PGD 治疗期间呼吸机参数设置不当可延长 PGD 病程，对患者造成机械通气相关肺损伤^[35-36]。

本研究详细分析重度 PGD 患者术后 30 d、90 d 及 180 d 生存情况。受者糖尿病病史、受者术前超声检查提示右心房与右心室增大是重度 PGD 受者术后 30 d 生存危险因素，受者糖尿病史、受者术前超声检查提示右心房与右心室增大、单纯行 VV-ECMO 治疗是重度 PGD 患者术后 90 d、180 d 生存危险因素，对照组术后 90 d 死亡风险约为治疗组的 3.09 倍，对照组术后 180 d 死亡风险约为治疗组的 3.91 倍。Piccorelli 等^[37]在 29 847 例囊性纤维化患者肺移植术后 2 年生存分析中指出，糖尿病是影响囊性纤维化患者术后 2 年生存危险因素。既往研究 Lee 等^[38]发现，严重右心功能障碍是肺移植候选者 1 年病死率的重要预后因素，并提出严重右心功能障碍的患者应优先接受肺移植手术治疗，但受者术前右心功能障碍对肺移植术后 PGD 预后影响的研究未见报道。本研究发现，右心房与右心室增大的重度 PGD 患者术后 90 d 死亡风险，其为右心房与右心室不增大重度 PGD 患者的 3.16 倍，右心房与右心室增大的重度 PGD 患者术后 180 d 死亡风险为右心房与右心室不增大重度 PGD 患者的 2.71 倍，提示肺移植受者术前应重视右心功能的评估。

综上所述，本项研究结果表明，肺移植术后重度 PGD 患者推荐 VV-ECMO 联合俯卧位通气治疗，能够减少 VV-ECMO 应用时间、有创通气时间及 ICU 停留时间，并改善受者短期预后。

参考文献:

- [1] KUBISA M J, WOJTYŚ M E, LISOWSKI P, et al. Analysis of primary graft dysfunction (PGD) risk factors in lung transplantation (LuTx) patients[J]. Clin Pract, 2024, 14(4): 1571-1583. DOI: 10.3390/clinpract14040127.
- [2] TOYODA T, CERIER E J, MANERIKAR A J, et al. Recipient, donor, and surgical factors leading to primary graft dysfunction after lung transplant[J]. J Thorac Dis,

- 2023, 15(2): 399-409. DOI: 10.21037/jtd-22-974.
- [3] HUNT M L, CANTU E. Primary graft dysfunction after lung transplantation[J]. *Curr Opin Organ Transplant*, 2023, 28(3): 180-186. DOI: 10.1097/MOT.0000000000001065.
- [4] CANTU E, DIAMOND J M, CEVASCO M, et al. Contemporary trends in PGD incidence, outcomes, and therapies[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2022, 41(12): 1839-1849. DOI: 10.1016/j.healun.2022.08.013.
- [5] FUJISHIMA S. Guideline-based management of acute respiratory failure and acute respiratory distress syndrome[J]. *J Intensive Care*, 2023, 11(1): 10. DOI: 10.1186/s40560-023-00658-3.
- [6] GOHAR A, KIRUPAHARAN P, AMARAL V, et al. A framework for developing a multidisciplinary approach to prone positioning in acute respiratory distress syndrome[J]. *J Intensive Care Med*, 2023, 38(8): 702-709. DOI: 10.1177/08850666231162566.
- [7] TODUR P, NILESHWAR A, CHAUDHURI S, et al. Changes in driving pressure vs oxygenation as predictor of mortality in moderate to severe acute respiratory distress syndrome patients receiving prone position ventilation[J]. *Indian J Crit Care Med*, 2024, 28(2): 134-140. DOI: 10.5005/jp-journals-10071-24643.
- [8] 李佳蔚, 许红阳. 俯卧位通气治疗肺移植术后难治性低氧血症一例[J]. *中国呼吸与危重监护杂志*, 2023, 22(1): 57-60. DOI: 10.7507/1671-6205.202206066.
- LI J W, XU H Y. Prone position ventilation for refractory hypoxemia after lung transplantation: a case report[J]. *Chin J Respir Crit Care Med*, 2023, 22(1): 57-60. DOI: 10.7507/1671-6205.202206066.
- [9] WU X, MIAO S, ZHOU Y, et al. The comparative impact of central vs. peripheral VA-ECMO cannulation on postoperative graft dysfunction in lung transplantation: a retrospective analysis[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2025, 12: 1512742. DOI: 10.3389/fcvm.2025.1512742.
- [10] KIM S T, XIA Y, HO J K, et al. (405) predictors and outcomes of post-operative extracorporeal membrane oxygenation at 72 hours following lung transplantation[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2023, 42(4): S191. DOI: 10.1016/j.healun.2023.02.420.
- [11] TAKAHASHI T, TERADA Y, PASQUE M K, et al. Outcomes of extracorporeal membrane oxygenation for primary graft dysfunction after lung transplantation[J]. *Ann Thorac Surg*, 2023, 115(5): 1273-1280. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2022.12.038.
- [12] LOOR G, HUDDLESTON S, HARTWIG M, et al. Effect of mode of intraoperative support on primary graft dysfunction after lung transplant[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2022, 164(5): 1351-1361. e4. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2021.10.076.
- [13] RIERA J, MALDONADO C, MAZO C, et al. Prone positioning as a bridge to recovery from refractory hypoxaemia following lung transplantation[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2017, 25(2): 292-296. DOI: 10.1093/icvts/ivx073.
- [14] FRICK A E, SCHIEFER J, MALECZEK M, et al. The effect of prone positioning after lung transplantation[J]. *Ann Thorac Surg*, 2024, 117(5): 1045-1051. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2023.04.036.
- [15] SELLA N, PETTENUZZO T, CONGEDI S, et al. Early prone positioning as a rescue therapy for moderate-to-severe primary graft dysfunction after bilateral lung transplant[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2025, 39(2): 479-488. DOI: 10.1053/j.jvca.2024.11.018.
- [16] SNELL G I, YUSEN R D, WEILL D, et al. Report of the ISHLT working group on primary lung graft dysfunction, part I: definition and grading-a 2016 consensus group statement of the international society for heart and lung transplantation[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2017, 36(10): 1097-1103. DOI: 10.1016/j.healun.2017.07.021.
- [17] FORGIE K A, FIALKA N, FREED D H, et al. Lung transplantation, pulmonary endothelial inflammation, and ex-situ lung perfusion: a review[J]. *Cells*, 2021, 10(6): 1417. DOI: 10.3390/cells10061417.
- [18] VLASTOS D, ZEINAH M, NINKOVIC-HALL G, et al. The effects of ischaemic conditioning on lung ischaemia-reperfusion injury[J]. *Respir Res*, 2022, 23(1): 351. DOI: 10.1186/s12931-022-02288-z.
- [19] KURIHARA C, KAIHO T, THOMAE B, et al. Contrasting predictors of severe primary graft dysfunction following transplant for chronic and acute respiratory failure[J]. *J Thorac Dis*, 2024, 16(8): 5050-5062. DOI: 10.21037/jtd-24-100.
- [20] LIAO X, MENG L, ZENG Z. Prone position ventilation for the relief of acute respiratory distress syndrome through improved pulmonary ventilation: efficacy and safety[J]. *Nurs Crit Care*, 2024, 29(2): 255-273. DOI: 10.1111/nicc.12948.
- [21] BERG R M G, HARTMANN J P, IEPSEN U W, et al. Therapeutic benefits of proning to improve pulmonary gas exchange in severe respiratory failure: focus on fundamentals of physiology[J]. *Exp Physiol*, 2022, 107(7): 759-770. DOI: 10.1113/ep089405.
- [22] GIRGIS R E, HADLEY R J, MURPHY E T. Pulmonary, circulatory and renal considerations in the early postoperative management of the lung transplant recipient[J]. *Glob Cardiol Sci Pract*, 2023, 2023(3): e202318. DOI: 10.21542/gcsp.2023.18.
- [23] CAPUZZIMATI M, HOUGH O, LIU M. Cell death and ischemia-reperfusion injury in lung transplantation[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2022, 41(8): 1003-1013. DOI: 10.1016/j.healun.2022.05.013.
- [24] GORMAN E A, O'KANE C M, MCAULEY D F. Acute respiratory distress syndrome in adults: diagnosis, outcomes, long-term sequelae, and management[J]. *Lancet*, 2022, 400(10358): 1157-1170. DOI: 10.1016/

- S0140-6736(22)01439-8.
- [25] SANTOS J, CALABRESE D R, GREENLAND J R. Lymphocytic airway inflammation in lung allografts[J]. *Front Immunol*, 2022, 13: 908693. DOI: 10.3389/fimmu.2022.908693.
- [26] ROESEL M J, SHARMA N S, SCHROETER A, et al. Primary graft dysfunction: the role of aging in lung ischemia-reperfusion injury[J]. *Front Immunol*, 2022, 13: 891564. DOI: 10.3389/fimmu.2022.891564.
- [27] VANDERVELDE C M, VOS R, VANLUYTEN C, et al. Impact of anastomosis time during lung transplantation on primary graft dysfunction[J]. *Am J Transplant*, 2022, 22(5): 1418-1429. DOI: 10.1111/ajt.16957.
- [28] WONG K H M, HSIN K Y M. Primary graft dysfunction in lung transplantation: still a thorn in the side of lung transplant[J]. *J Thorac Dis*, 2024, 16(1): 1-5. DOI: 10.21037/jtd-23-1618.
- [29] KUPPUSAMY M, TA H Q, DAVENPORT H N, et al. Purinergic P2Y2 receptor-induced activation of endothelial TRPV4 channels mediates lung ischemia-reperfusion injury[J]. *BioRxiv*, 2023, DOI: 10.1101/2023.05.29.542520[Epub ahead of print].
- [30] PANEL: E C, HARTWIG M, VAN BERKEL V, et al. The American association for thoracic surgery (AATS) 2022 expert consensus document: the use of mechanical circulatory support in lung transplantation[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2023, 165(1): 301-326. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2022.06.024.
- [31] SCHMIDT M, HAJAGE D, LEBRETON G, et al. Prone positioning during extracorporeal membrane oxygenation in patients with severe ARDS: the PRONECMO randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2023, 330(24): 2343-2353. DOI: 10.1001/jama.2023.24491.
- [32] ZHOU K, QIN Q, LU J. Pathophysiological mechanisms of ARDS: a narrative review from molecular to organ-level perspectives[J]. *Respir Res*, 2025, 26(1): 54. DOI: 10.1186/s12931-025-03137-5.
- [33] BOESING C, ROCCO P R M, LUECKE T, et al. Positive end-expiratory pressure management in patients with severe ARDS: implications of prone positioning and extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Crit Care*, 2024, 28(1): 277. DOI: 10.1186/s13054-024-05059-y.
- [34] BOESING C, KREBS J, CONRAD A M, et al. Effects of prone positioning on lung mechanical power components in patients with acute respiratory distress syndrome: a physiologic study[J]. *Crit Care*, 2024, 28(1): 82. DOI: 10.1186/s13054-024-04867-6.
- [35] LUU H Y, SANTOS J, ISAZA E, et al. Management of primary graft dysfunction after lung transplantation with extracorporeal life support: an evidence-based review[J]. *J Thorac Dis*, 2023, 15(7): 4090-4100. DOI: 10.21037/jtd-22-1387.
- [36] QIN J, HU C, CAO X, et al. Development and validation of a nomogram model to predict primary graft dysfunction in patients after lung transplantation based on the clinical factors[J]. *Clin Transplant*, 2023, 37(10): e15039. DOI: 10.1111/ctr.15039.
- [37] PICCORELLI A V, NICK J A. Modeling cystic fibrosis patient prognosis: nomograms to predict lung transplantation and survival prior to highly effective modular therapy[J]. *PLoS One*, 2024, 19(12): e0292568. DOI: 10.1371/journal.pone.0292568.
- [38] LEE S Y, LEE H N, KOO H J, et al. Prognostic value of cardiac CT-derived RV dysfunction in lung transplantation candidates: a single-center retrospective study[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2025, 44(9): 1420-1429. DOI: 10.1016/j.healun.2025.02.1576.

(收稿日期: 2025-06-25)

(本文编辑: 谢诗韵 吴秋玲)