·临床研究·

VV-A体外膜肺氧合在肺移植术中的临床应用

蒋华驰[1]，葛非凡[1]，黄一峰[1]，王桂龙[2]，刘　峰[1]，陈静瑜[1*]

[1]南京医科大学附属无锡市人民医院胸外科，[2]麻醉科，江苏　无锡　214000

［摘　要］ **目的**：探讨经颈内静脉-股静脉-升主动脉的静脉-静脉-动脉体外膜肺氧合（veno-venous-arterial extracorporeal membrane oxygenation，VV-A ECMO）模式在肺移植手术中的应用效果及优势。**方法**：回顾性分析2025年5—12月接受VV-A ECMO支持的6例高风险肺移植患者（男4例，女2例）的临床资料，包括患者一般资料、术中插管方式、肺动脉压变化、失血量、术后ECMO模式更换等，所有患者术前均经多学科讨论评估为高风险。**结果**：6例患者均在VV-A模式辅助下完成手术，ECMO转流期间呼吸循环平稳，术后顺利撤除ECMO。1例患者术后因失血性休克于第10天死亡，其余5例术后30 d内均存活并顺利出院。**结论**：肺移植术中应用VV-A模式可提供有效的呼吸及循环支持，降低手术风险，具有重要的临床价值。

［关键词］ 体外膜肺氧合；VV-A模式；肺移植；肺动脉高压；二次肺移植

［中图分类号］ R655.3　　［文献标志码］ A　　［文章编号］ 1007-4368（2026）11-1691-06

doi：10.7655/NYDXBNSN261091

Clinical application of VV-A ECMO in lung transplantation

Jiang Huachi[1], Ge Feifan[1], Huang Yifeng[1], Wang Guilong[2], Liu Feng[1], Chen Jingyu[1*]

[1]Department of Thoracic Surgery, [2]Department of Anesthesiology, the Affiliated Wuxi People's Hospital of Nanjing Medical University, Wuxi 214000, China

［**Abstract**］ **Objective:** To investigate the efficacy and advantages of the internal jugular-femoral-ascending aorta veno-venous-arterial extracorporeal membrane oxygenation（VV-A ECMO）mode in lung transplantation. **Methods:** Clinical data of six high-risk lung transplant recipients（4 males, 2 females）who received intraoperative VV-A ECMO support between May 2025 and December 2025 were retrospectively analyzed, including general patient data, intraoperative cannulation strategy, changes of pulmonary artery pressure, blood loss, and postoperative ECMO mode conversion. All patients were evaluated as high-risk by a multidisciplinary team preoperatively. **Results:** All six patients successfully underwent lung transplantation with VV-A ECMO support, maintained stable intraoperative respiration and circulation, and were weaned from ECMO postoperatively. One patient died of hemorrhagic shock on postoperative day 10. The remaining five patients survived to 30 days postoperatively and were discharged successfully. **Conclusion:** The application of VV-A ECMO mode in lung transplantation provides effective respiratory and circulatory support, reduces surgical risk and offers favorable clinical value.

［**Key words**］ extracorporeal membrane oxygenation; VV-A mode; lung transplantation; pulmonary hypertension; lung retransplantation

［J Nanjing Med Univ, 2026, 46（11）: 1691-1695, 1703］

肺移植是治疗终末期肺病的有效方式，体外膜肺氧合（extracorporeal membrane oxygenation，ECMO）因其操作简单、并发症较少，已取代体外循环成为肺移植围手术期的重要支持技术[1-2]。ECMO模式的选择在围手术期至关重要，静脉-静脉（veno-venous，VV）ECMO可有效改善患者低氧血症，而静脉-动脉（veno-arterial，VA）ECMO则可提供循环支持和部分呼吸支持[3]。目前，VA模式可分为中心插管和外周插管两种方式[4-5]。中心插管的原理类似体外循环，可在术中提供充足流量，从而对呼吸循环予以充分

［基金项目］ 国家科技重大专项（2023ZD0505900）

*通信作者（Corresponding author），E-mail：chenjy@wuxiph.com

（ORCID：0000-0002-2127-1788）

支持，但操作相对困难易导致严重并发症，且术后需要重新置管支持。外周插管操作简单、创伤小，但可能出现流量不足、“南北综合征”以及远端肢体缺血的并发症[6]，对呼吸和循环支持能力有限。针对复杂危重患者，南京医科大学附属无锡市人民医院胸外科将外周和中心插管相结合形成静脉-静脉-动脉（veno-venous-arterial，VV-A）模式，旨在提供充分的呼吸循环支持，同时降低手术风险。本研究也将着重探讨该模式下ECMO转流方法和临床疗效。

1　对象和方法

1.1　对象

采用回顾性研究方法，选取2025年5—12月于南京医科大学附属无锡市人民医院接受肺移植的6例终末期肺病患者为研究对象。纳入标准：①经多学科讨论为围手术期死亡风险高的肺移植，包括合并严重肺动脉高压及二次移植；②年龄≥18岁。排除标准：①多器官移植；②术前已使用ECMO维持；③临床资料缺失。本研究获得无锡市人民医院伦理委员会批准（伦理号：KY26187）。

1.2　方法

1.2.1　ECMO建立

麻醉后于右侧颈内静脉置入Swan-Ganz导管测定肺动脉压力，经食道超声评估心功能。于右侧颈内静脉或锁骨下静脉置入美敦力17~19 Fr（1 Fr=1/3 mm）动脉管道，右侧股静脉穿刺置入19~21 Fr静脉管道，置管完成后与台下ECMO连接，建立VV模式。调节ECMO转速，使流量约为心输出量的50%[2.2~2.5L/（m^2·min）]。对于重度肺动脉高压或心脏指数（cardiac index，CI）<2.0 L/（m^2·min）的患者，采用VV-A模式。手术切口选择双侧第4肋间横断胸骨（Clamshell切口），打开心包游离升主动脉，于升主动脉上方约3 cm处缝合双荷包，采用Seldinger技术置入美敦力17~19 Fr动脉管道后备用，置入深度约3 cm（图1）。用阻断钳阻断并离断原VV管道，将两侧静脉管道与ECMO引流端通过“Y”形管连接，同时将ECMO的输出端连接备用的主动脉插管，从而构成VV-A模式辅助支持（图2）。

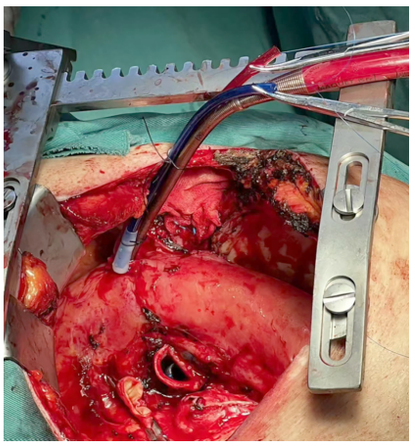


图1　升主动脉置管

Figure 1　Ascending aorta cannulation

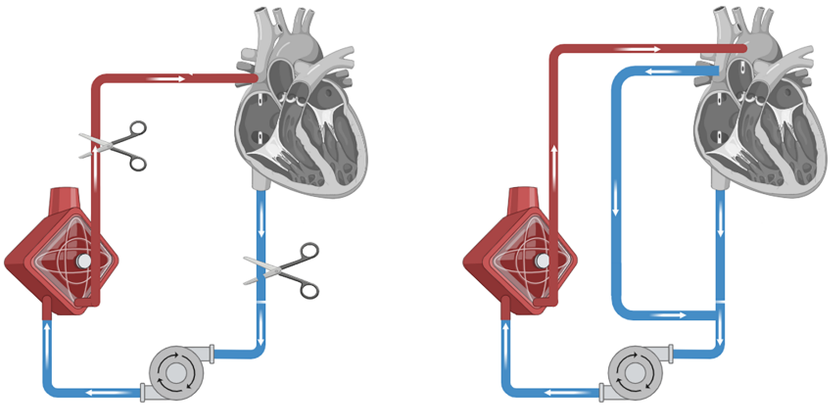


图2　VV模式转为VV-A模式示意图

Figure 2　Schematic diagram of conversion from VV mode to VV-A mode

1.2.2　ECMO管理

术中监测患者活化凝血时间（activated coagulation time，ACT），并根据术中渗血情况调整肝素用量，使ACT维持在150 s左右。调节ECMO转速，在切除病肺及吻合期间，维持ECMO流量使CI不低于2.2 L/（m^2·min）（约3 L/min）。吻合完毕开放肺动脉

时下调ECMO流量充分排气。

1.2.3 术毕ECMO模式更换

逐步阶梯式降低中心动脉管流量至0.5 L/min，并从以下方面评估中心A管能否撤除：①平均动脉压>60 mmHg，脉压差>30 mmHg，心率<120次/min；②经食道超声评估左心室射血分数>50%；③左心房压力<18 cmH_2O；④经食道超声评估右心大小和功能较术前改善；⑤没有严重的原发性移植物功能障碍（primary graft dysfunction，PGD）。若全部满足，则撤除A管转换为外周VV模式；否则更改为经外周股静脉-股动脉-颈内静脉的静脉-动脉-静脉（veno-arterial-venous，V-AV）模式。VV模式调整：用阻断钳阻断并离断将“Y”形管三端，应用双通管道将股静脉管与ECMO引流端连接、颈内静脉管与ECMO输出端连接，构成VV模式后再撤除升主动脉管。V-AV模式调整：于股动脉置入动脉插管，将股静脉管道与ECMO引流端连接，股动脉及颈内静脉通过“Y”形管道与ECMO输出端连接，构成V-AV模式后，再撤除升主动脉管。

1.2.4 术后ECMO管道撤除

VV模式：关闭ECMO氧源，调整呼吸机参数使吸氧浓度≤60%，呼气末正压≤10 cmH_2O，当动脉氧分压≥70 mmHg时即可撤除。V-AV模式：A管撤除条件同上述，待转换为VV模式后再逐步撤除ECMO。

2 结 果

2.1 一般情况

共纳入6例肺移植患者，其中男4例，女2例，年龄31~68岁。1例患者因毁损肺不对称胸腔行单肺移植，其余5例行双肺移植（表1）。

表1 6例肺移植患者临床资料

Table 1 Clinical data of six lung transplant patients

Case No.	Age(years)	Sex	Diagnosis	Procedure	PASP1 (mmHg)	PASP2 (mmHg)	Postoperative ECMO type	ECMO removal time(d)	Blood loss(mL)	Blood transfusion(mL)	30 d survial
1	31	Male	CLAD	DLTx	38	30	VV	1	6 000	6 575	No
2	55	Male	CLAD	DLTx	26	12	VV	1	7 000	8 475	Yes
3	39	Female	IPAH	DLTx	120	88	VV	3	1 200	1 550	Yes
4	35	Female	IPAH	DLTx	90	60	V-AV	7	600	600	Yes
5	53	Male	PF	DLTx	87	37	VV	1	1 200	1 000	Yes
6	68	Male	DL	SLTx	75	40	VV	1	2 000	1 200	Yes

PASP1: pulmonary artery systolic pressure before ECMO initiation; PASP2: pulmonary artery systolic pressure after ECMO initiation; CLAD: chronic lung allograft dysfunction; IPAH: idiopathic pulmonary arterial hypertension; PF: pulmonary fibrosis; DL: destroyed lungs; DLTx: double lung transplantation; SLTx: single lung transplantation.

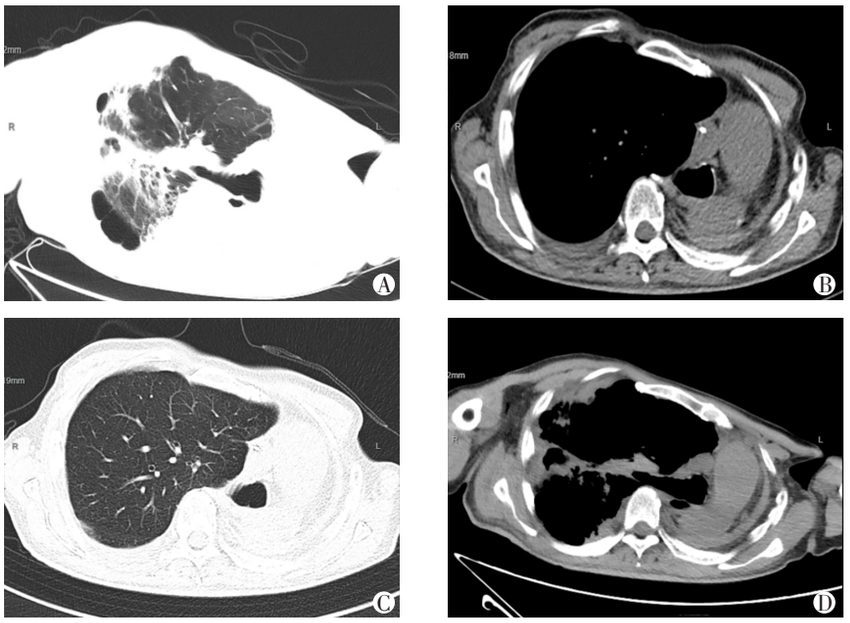
2.2 手术及预后情况

6例患者均成功采用VV-A模式并顺利完成移植手术。转流后，肺动脉收缩压由术前的81（26~120）mmHg降至38.5（12~88）mmHg。术中ECMO流量维持在3.0~4.0 L/min。术中失血量为1 600（600~7 000）mL，输血量为1 375（600~8 475）mL。5例患者术毕撤除升主动脉插管转换为VV模式支持，1例患者因左心功能不全更改为V-AV模式支持。所有患者均在术后7 d内顺利撤除ECMO。病例1初始采用VV模式，后因术中失血多及循环不稳定切换为VV-A模式，虽手术顺利完成，但术后第10天因失血性休克死亡。其余5例术后30 d内存活并顺利出院。

3 讨 论

肺移植患者麻醉后需对呼吸及循环功能进行充分评估，根据患者氧合指数、肺动脉压力及心功能状态来选择ECMO的插管模式。有研究指出，当肺动脉收缩压达到50 mmHg，表明患者可能无法耐受肺动脉阻断，需要VA模式支持[7]。对于病情相对简单的患者，如慢性阻塞性肺疾病、无肺动脉高压或右心室功能障碍以及首次接受肺移植的患者常规应用VV模式支持[8-9]。然而肺移植患者实际情况较为复杂，常同时存在低氧血症和血流动力学紊乱[10]，导致插管模式选择上出现模棱两可的局面。部分呼吸衰竭合并肺动脉高压患者，VV模式后可有效降低二氧化碳分压，从而缓解肺动脉高压，而对于严重肺动脉高压患者置入外周VA ECMO可能因术中低氧需要增加颈静脉插管以改善氧合。VV-A模式插管可以有效解决上述问题，无论患者术前是否合并肺动脉高压，均可先按VV模式进行置管，再根据术中循环情况来决定是否增加主动脉插管。

部分待移植患者病情危重，呼吸循环均处于失调状态，需要采取ECMO混合模式[11]。既往本科室多采用V-AV模式[12]，即将ECMO的输出端连接“Y”形管后分别接入静脉及动脉端，根据患者的实际情况来平衡两侧流量。该模式操作简单，但流量上限低，对氧合和循环支持有限。VV-A模式则通过同时引流上下腔静脉血后注入升主动脉，为呼吸和循环提供充分支持。对于合并严重肺动脉高压的患者，心脏常过度充盈，导致手术空间极为狭小，操作困难，尤其在暴露肺门或阻断肺动脉时易诱发严重心律失常[13]。VV-A模式可降低经心肺血流量，使膨胀的心脏显著减压，从而增加手术空间，同时在不增加左心室后负荷的前提下，提供更好的上半身灌注，避免“南北综合征”，减少血流对冲，降低血细胞破坏。二次肺移植患者肺门结构紊乱，病肺切除难度大，术中失血量多[14]，VV-A模式通过上调流量可减少经肺血流量，即使术中肺动脉受损，出血速度也将减缓，从而降低手术风险。当流量足够大时，肺动脉可处于基本无血状态，本组病例6既往因毁损肺行左肺完全切除，在VV-A模式下成功完成右单肺移植术（图3）。本组死亡病例1术中初始采用VV模式，在切除一侧病肺过程中因创面广泛渗血导致大量失血及循环不稳，遂切换为VV-A模式。手术虽顺利完成，但术后患者持续存在凝血功能障碍，经积极纠正无效，于术后第10天因失血性休克死亡。



A，B：Preoperative CT images for case 6. C，D：Postoperative CT images at 1 month after lung transplantation for case 6.

图3　病例6手术前后CT对比

Figure 3　Comparison of preoperative and postoperative CT images for case 6

一项关于中心与外周ECMO的系统回顾和荟萃分析显示，两者术后PGD 3级发生率及生存率相似，但外周VA模式术后并发症更多，包括ECMO撤除时间延长、机械通气时间延长以及肢体缺血发生率升高[15]。中心插管可能增加主动脉夹层和卒中的风险，而外周动脉插管有利于肺移植微创治疗[5]。采用VV-A辅助支持的患者病情往往较重，常合并严重心功能不全，临床以右心功能不全多见。长期的肺高压也可累及左心功能，术毕肺高压解除后左心短期内难以适应激增的前负荷，从而导致心功能不全甚至引发急性肾功能损伤[16-17]。对于合并肺动脉高压的患者，术后延长ECMO使用时间可减轻PGD、降低心力衰竭的风险。延长ECMO使用时间有助于肺动脉高压患者逐步逆转心脏重塑，减少PGD的发生，但使用时间过长可能增加出血、管路血栓及感染风险。文献报道术后最佳ECMO延续应用时间为3~8 d[18]。日本一项回顾性研究认为，肺动脉高压的患者术后可以延长使用中心ECMO并延迟关胸，但该策略会增加出血风险[19]。目前，术后ECMO的最佳延长使用时间仍有待更多数据支持。本组6例患者术毕经评估完成不同ECMO模式之间的转换，切换过程操作简单。患者术后心肺功能恢复良好，均在短期内成功撤除ECMO。

综上所述，VV-A模式在肺移植术中具有重要

的临床应用价值，尤其对于病情复杂和危重的患者，可显著提高手术安全性。本研究样本量较小，尚未观察到该模式插管相关的潜在风险，但混合模式ECMO置管换管相对复杂，需要多学科协作并综合评估。此外，本研究为单中心回顾性分析，未设对照组，随访时间仅30 d，结论外推需谨慎。未来需更大样本量的前瞻性研究进一步验证。

利益冲突声明：

所有作者声明无利益冲突。

Conflict of Interests：

All authors declare no conflict of interests.

作者贡献声明：

蒋华驰承担了本研究的实施工作，负责数据采集、结果分析及论文初稿的撰写；葛非凡与黄一峰协助完成了数据收集与规范化整理；王桂龙参与了研究方案的优化及讨论部分的起草；刘峰和陈静瑜共同提出了研究思路并设计了整体方案。

Authors' Contributions：

Jiang Huachi performed the study implementation, collected the data, analyzed the results, and wrote the initial draft of the manuscript. Ge Feifan and Huang Yifeng assisted with data acquisition and data curation. Wang Guilong contributed to the refinement of the study protocol and the drafting of the discussion section. Liu Feng and Chen Jingyu conceptualized and designed the overall research framework.

[参考文献]

[1] 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

[2] Da Nobrega Oliveira R E N, Passos F S, Pessoa B M. Extracorporeal membrane oxygenation *vs* cardiopulmonary bypass in lung transplantation: an updated meta-analysis [J]. Gen Thorac Cardiovasc Surg, 2025, 73(3): 137-146

[3] Pervaiz Butt S, Kakar V, Abdulaziz S, et al. Enhancing lung transplantation with ECMO: a comprehensive review of mechanisms, outcomes, and future considerations[J]. J Extra Corpor Technol, 2024, 56(4): 191-202

[4] Li J Y, Long B, Xie W J, et al. Outcomes of extracorporeal membrane oxygenation cannulation strategy in lung transplantation: a retrospective cohort study[J]. Asian J Surg, 2025, 48(1): 213-220

[5] Fernandez R, Ius F, Reyes J E M, et al. Outcomes of central versus peripheral arterial cannulation for intraoperative extracorporeal membrane oxygenation support in lung transplantation[J]. J Heart Lung Transplant, 2026, 45(2): 242-250

[6] Simons J, Mees B, MacLaren G, et al. Evolution of distal limb perfusion management in adult peripheral venoarterial extracorporeal membrane oxygenation with femoral artery cannulation[J]. Perfusion, 2024, 39(1_suppl): 23S-38S

[7] Shah P R, Boisen M L, Winger D G, et al. Extracorporeal support during bilateral sequential lung transplantation in patients with pulmonary hypertension: risk factors and outcomes[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2017, 31(2): 418-425

[8] Toubat O, Usman A A, Gregorio P, et al. Current intraoperative mechanical circulatory support strategies for bilateral lung transplantation surgery[J]. JTCVS Tech, 2025, 31: 210-223

[9] Lu S, Wang P, Zhang X Q, et al. The superiority of veno-arterial over veno-venous extracorporeal membrane oxygenation for operative support of lung transplantation[J]. BMC Pulm Med, 2025, 25(1): 30

[10] De Piero M E, Alessandri F, Mariani S, et al. Conversion from venovenous to venoarterial or hybrid extracorporeal membrane oxygenation: analysis from the extracorporeal life support organization registry [J]. Crit Care Med, 2026, 54(3): 532-547

[11] Shin I, Ryu H, Hou Y, et al. Mortality and complications in hybrid extracorporeal membrane oxygenation: a meta-analysis of initial use versus transition [J]. ASAIO J, 2025, 71(5): 363-369

[12] 王大鹏，徐忠平，王海翔，等. 静脉-动脉-静脉体外膜氧合在肺移植围手术期29例单中心应用体会[J]. 中国体外循环杂志，2025，23（3）：219-224
Wang D P, Xu Z P, Wang H X, et al. Veno-arterial-venous extracorporeal membrane oxygenation in the perioperative management of lung transplantation: a single-center experience with 29 cases[J]. Chinese Journal of Extracorporeal Life Support, 2025, 23(3): 219-224

[13] Marazzato J, Eikermann M, Di Biase L. Management of atrial arrhythmias after lung transplant[J]. JACC Clin Electrophysiol, 2023, 9(8 Pt 3): 1824-1835

[14] 刘梦杨，周延然，彭桂林，等. 间质性肺病行二次肺移植的临床特点分析[J]. 器官移植，2025，16（6）：890-897
Liu M Y, Zhou Y R, Peng G L, et al. Clinical characteristics analysis of interstitial lung disease undergoing second lung transplantation[J]. Organ Transplantation, 2025, 16(6): 890-897

[15] Delgado L M, Do Sacramento Silva J L, Da Nobrega Oliveira R E N, et al. Central versus peripheral veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation during lung transplantation: a systematic review and meta-analysis[J]. JHLT Open, 2026, 12: 100502

（下转第1703页）

in non-thrombolysed ischemic stroke patients with mild symptoms and large artery occlusion [J]. Front Neurol, 2019, 10: 722-729

[15] Jiang L, Chen Y C, Zhang H, et al. FLAIR vascular hyperintensity in acute stroke is associated with collateralization and functional outcome [J]. EurRadiol, 2019, 29(9): 4879-4888

[16] Legrand L, Turc G, Edjlali M, et al. Benefit from revascularization after thrombectomy according to FLAIR vascular hyperintensities-DWI mismatch [J]. Eur Radiol, 2019, 29(10): 5567-5576

[17] Boullet M, Marnat G, Boyer A, et al. FLAIR vascular hyperintensities/DWI mismatch predicts penumbra in proximal middle cerebral artery occlusion [J]. Stroke, 2026, 57(4): 982-991

[18] Sakuta K, Saji N, Aoki J, et al. Decrease of hyperintense vessels on fluid-attenuated inversion recovery predicts good outcome in t-PA patients [J]. Cerebrovasc Dis, 2016, 41(3-4): 211-218

[19] Xu X Q, Shen G C, Ma G, et al. Prognostic value of post-treatment fluid-attenuated inversion recovery vascular hyperintensity in ischemic stroke after endovascular thrombectomy [J]. EurRadiol, 2022, 32(12): 8067-8076

[20] Albers G W, Marks M P, Kemp S, et al. Thrombectomy for stroke at 6 to 16 hours with selection by perfusion imaging [J]. N Engl J Med, 2018, 378(8): 708-718

[21] Yang P F, Zhang Y W, Zhang L, et al. Endovascular thrombectomy with or without intravenous alteplase in acute stroke [J]. N Engl J Med, 2020, 382(21): 1981-1993

[22] Maruyama D, Yamada T, Murakami M, et al. FLAIR vascular hyperintensity with DWI for regional collateral flow and tissue fate in recanalized acute middle cerebral artery occlusion [J]. Eur J Radiol, 2021, 135: 109490

[23] Ni W J, Shen G C, Ma G, et al. Association of posttreatment hyperperfusion on arterial spin labeling with fluid-attenuated inversion recovery vascular hyperintensity in patients with acute ischemic stroke after endovascular therapy [J]. Cerebrovasc Dis Extra, 2026, 16(1): 54-62

[24] Broocks G, Kniep H, Schramm P, et al. Patients with low Alberta Stroke Program Early CT Score (ASPECTS) but good collaterals benefit from endovascular recanalization [J]. J Neurointerv Surg, 2020, 12(8): 747-752

[25] Shang W J, Chen H B, Shu L M, et al. The association between FLAIR vascular hyperintensity and stroke outcome varies with time from onset [J]. Am J Neuroradiol, 2019, 40(8): 1317-1322

[26] Bani-Sadr A, Escande R, Mechtouff L, et al. Vascular hyperintensities on baseline FLAIR images are associated with functional outcome in stroke patients with successful recanalization after mechanical thrombectomy [J]. Diagn Interv Imaging, 2023, 104(7-8): 337-342

[27] Wang E L, Wu C J, Yang D D, et al. Association between fluid-attenuated inversion recovery vascular hyperintensity and outcome varies with different lesion patterns in patients with intravenous thrombolysis [J]. Stroke Vasc Neurol, 2021, 6(3): 449-457

（收稿：2026-07-06；修回：2026-09-15；录用：2026-09-16）
（本文编辑：唐　震）

（上接第1695页）

[16] Benazzo A, Bajorek L, Morscher A, et al. Early implementation of renal replacement therapy after lung transplantation does not impair long-term kidney function in patients with idiopathic pulmonary arterial hypertension [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2022, 163(2): 524-535

[17] Protti I, Van Steenwijk M P J, Meani P, et al. Left ventricular unloading in extracorporeal membrane oxygenation: a clinical perspective derived from basic cardiovascular physiology [J]. Curr Cardiol Rep, 2024, 26(7): 661-667

[18] Hartwig M, Van Berkel V, Bharat A, 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

[19] Kawashima M, Ijiri N, Konoeda C, et al. Extended use of central veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation in lung transplantation for patients with pulmonary arterial hypertension [J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2025, 67(8): ezaf256

（收稿：2026-08-22；修回：2026-09-19；录用：2026-09-26）
（本文编辑：蒋　莉）