

超声心动图用于肺切除术围手术期并发症的监测研究进展

金彦羲, 葛明建*

重庆医科大学附属第一医院胸心外科, 重庆

收稿日期: 2026年5月25日; 录用日期: 2026年6月18日; 发布日期: 2026年6月29日

摘要

肺手术是目前全球范围内针对肺部占位性疾病有效且常用的诊疗手段。随着胸腔镜下肺切除术技术的日益成熟, 肺切除的范围与方式也日趋多样化。尽管手术技巧及术后监护水平显著提高, 但肺切除术后心血管并发症的发生率仍高达25%, 其中以围手术期心肌损伤和术后心房颤动最为常见。动物实验及临床病例分析均证实, 肺切除术后早期右心功能会发生显著改变, 主要表现为肺动脉平均压升高、右心室舒张末期容积增加, 以及右室射血分数、右室每搏输出量和右心输出量的降低。鉴于肺癌患者肺切除术后心脏结构和功能的变化难以管理, 应用超声心动图评估术后心功能变化至关重要, 对于进一步的临床观察具有重要的指导价值。

关键词

肺切除术, 超声心动图, 胸外科, 心血管

Research Progress on the Application of Echocardiography in Monitoring Perioperative Complications of Pulmonary Resection

Yanxi Jin, Mingjian Ge*

Department of Cardiothoracic Surgery, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: May 25, 2026; accepted: June 18, 2026; published: June 29, 2026

*通讯作者。

文章引用: 金彦羲, 葛明建. 超声心动图用于肺切除术围手术期并发症的监测研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(6): 2251-2256. DOI: 10.12677/acm.2026.1662447

Abstract

Lung surgery remains a globally recognized and effective diagnostic and therapeutic approach for pulmonary space-occupying diseases. With the continuous advancement of thoracoscopic techniques, the scope and methods of pulmonary resection have become increasingly diverse. Despite significant improvements in surgical precision and postoperative monitoring, the incidence of cardiovascular complications following pulmonary resection remains as high as approximately 25%, with perioperative myocardial injury and postoperative atrial fibrillation being the most prevalent. Both animal studies and clinical case analyses have confirmed that right ventricular function undergoes significant alterations in the early postoperative phase, primarily characterized by elevated mean pulmonary arterial pressure, increased right ventricular end-diastolic volume, and reduced right ventricular ejection fraction, right ventricular stroke volume, and right cardiac output. Given the challenges in managing postoperative structural and functional cardiac changes in lung cancer patients following pulmonary resection, echocardiographic assessment of cardiac function dynamics is critically important and provides essential guidance for subsequent clinical monitoring and decision-making.

Keywords

Pulmonary Resection, Echocardiography, Thoracic Surgery, Cardiovascular

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 肺切除术后心血管并发症的病理生理学

胸外科手术不仅被认为具有较高的术后呼吸系统并发症风险,同时也伴随着巨大的血流动力学挑战和心血管并发症的可能性。

在单肺通气(OLV)期间,受重力效应以及非依赖性(手术侧)肺血管阻力(PVR)增加(由缺氧性肺血管收缩、肺塌陷、手术操作及肺动脉夹闭引起)的共同影响,心输出量被重定向至通气的非手术侧肺,以维持氧合并最大限度地减少分流。Kozian 等[1]利用钨标记的单光子发射计算机断层扫描技术评估 OLV 和开胸手术猪模型的肺血流分布,观察到在 OLV 期间仅有极小比例的心输出量继续流经手术肺。这种依赖性肺血流的近乎倍增已被证实会导致 OLV 期间肺动脉压(PAP)升高 25%~35%,肺血管阻力增加 20%~50% [2] [3]。

血液动力学对这些急剧增加的后负荷情况的适应,既取决于肺循环容纳增加血流的能力(即肺血管血流储备),也取决于右心室在面对随之而来的后负荷增加时维持心输出量的能力。正如运动期间发生的那样,肺血管血流储备反映了肺循环在不过度增加 PAP 的情况下容纳增加心输出量的能力[4]。

右心室面对急剧增加后负荷时的适应能力,反映了涉及异长调节(心室容积变化)和等长调节(心室容积保持不变)的复杂自我调节反应。在对右心室压力急剧升高的初始反应中(如 OLV 机制发生时),右心室会扩张。这种扩张引起心肌拉伸,每搏输出量最初通过 Frank-Starling 机制得以维持。随后在几分钟内发生的体内自身调节(Anrep 效应)描述了反射介导的右心室收缩力内在增加,以响应增加的后负荷[5]。肺叶肺动脉夹闭后基线和 OLV 期间右心室压力-容积环的检查清楚地表明,在接受肺切除术的患者中存在这种现象[6]。

有充分证据表明, 术后存在右心室功能障碍, 且持续时间至少为 3 个月。这种功能障碍是由于术中
和术后持续发生的右心室后负荷增加引起的[7]。尽管许多患者适应良好, 但右心室收缩储备和肺血管血
流储备减少的患者可能会感到不适。术后右心室功能障碍与术后心房颤动和围手术期心肌损伤的病因有
关, 这两种常见的心血管并发症越来越受到重视, 且对术后很长一段时间都有影响[8][9]。为了响应危重
疾病或运动的生理需求, 收缩储备、血流储备或两者兼而有之可能被耗尽, 从而导致急性失代偿或长期
功能能力受损。帮助接受胸外科手术的患者适应独特的围手术期生理机能, 可能为预防心血管并发症并
提高术后长期功能能力提供新的治疗途径[10]。

2. 超声心动图的简介及其原理

超声心动图技术应用于心血管疾病的临床诊断和治疗已有 60 年历史, 现已发展成为临床心脏病学
的支柱技术之一, 也是目前唯一可应用于临床的实时、动态、连续床旁心血管系统解剖功能可视化观测技
术。它为心血管疾病的诊断和治疗提供了大量丰富的的心脏和大血管解剖及功能信息。作为一种无创性影
像学检查技术, 超声心动图在肺切除术围手术期并发症的监测中发挥着重要作用。其检查方法多样, 包
括 M 型超声、B 型超声以及多普勒超声等, 各自具有独特的应用价值。

M 型超声: 也称为超声心动描记术, 是超声心动图检查的基本模式。它通过将心脏各层组织的反射
波以运动曲线的形式显示, 从而能够精确测量心室壁的运动速度、幅度以及心脏的收缩和舒张功能等参
数。在肺切除术中, M 型超声可用于评估手术前后心脏功能的变化, 及时发现并处理可能出现的心功能
不全等并发症[11]。

B 型超声: 即二维超声心动图, 是超声心动图检查中最常用的方法之一。它利用超声波在心脏组织
中的反射和散射原理, 将心脏的形态结构以二维图像的形式呈现出来。通过 B 型超声, 医生可以清晰地
观察到心脏的解剖结构、心室壁的运动状态以及心脏内血流的分布情况等。在肺切除术中, B 型超声有
助于发现心脏结构的异常改变, 如心包积液、心室壁瘤等, 并为手术方案的制定提供重要参考。

多普勒超声: 是在二维超声心动图的基础上, 利用多普勒效应对心脏内血流进行检测和分析的一
种技术。它可以通过测量血流速度和方向, 评估心脏内血流动力学的状态。在肺切除术中, 多普勒超声
对于检测肺动脉压力、评估肺循环阻力以及判断术后是否存在肺动脉栓塞等并发症具有重要意义。此外,
多普勒超声还可以用于评估心脏的瓣膜功能, 及时发现并处理可能存在的瓣膜病变[12][13]。三维超声心
动图克服了传统二维成像的几何假设限制, 为术后心室容积和功能评估提供了更准确的方法。研究证实,
三维超声测量的右心室射血分数与心脏磁共振成像的相关性显著优于二维方法。在肺移植患者中, 三维
超声能够更早发现右心室重构的迹象, 为干预提供时间窗。

通过合理运用 M 型超声、B 型超声以及多普勒超声等检查方法, 医生可以全面评估患者的心脏功
能状态, 及时发现并处理可能出现的并发症, 从而确保手术的安全性和患者的康复。在未来的研究中, 进
一步探讨超声心动图在肺切除术中的应用技术及其优化方案, 将有助于提高手术的成功率和患者的生存
质量。

3. 肺切除术后心功能监测相关参数

肺切除术是治疗肺癌的常见手术, 可显著影响心脏功能。监测这些变化对于患者管理和康复至关重
要。各种研究探索了评估肺切除术后心脏功能的不同方法和参数。

用于心脏评估的组织多普勒成像(TDI)可以有效对肺切除术后左右心功能进行无创评估, 它可以检测
左心室和右心室尺寸、射血分数和三尖瓣压力的变化[7][11]。

超声心动图和血流动力学: 经食管超声, 尤其是使用智能算法增强时, 可以准确评估肺切除术期间

和之后的心脏功能和血流动力学。这种方法对于监测每搏输出量(SV)和心输出量较为有用[14]。

右心室功能: 右心功能和血流动力学受肺切除术(尤其是全肺切除术)的显著影响。长期研究表明, 在许多患者中观察到中度三尖瓣关闭不全, 右心尺寸和肺动脉收缩压(PASP)进行性增加[15][16]。

功能可操作性和风险评估: 肺功能测试(PFT)和心肺运动测试(CPET)对于术前评估至关重要。用力呼气容积(FEV1)、肺一氧化碳转移因子(TL, CO)和最大摄氧量($VO_2\max$)等参数有助于确定手术风险和预测术后结果[17]。

组织多普勒成像和先进的超声心动图技术为评估心脏结构和功能的变化提供了可靠的非侵入性方法。使用超声心动图进行术前功能评估对于评估手术风险和确保患者安全至关重要。

4. 肺手术前后心功能参数变化的相关研究

尽管胸外科手术后通常报告心肺并发症发生率超过 25%, 但将心血管和呼吸并发症归为一组的广泛做法使得术后心血管并发症的真实发生率难以定义。一些心血管并发症, 特别是围手术期心肌损伤和术后心房颤动, 在胸部手术后很常见, 术后心房颤动通常被认为是更常见的复合并发症之一。已有大量研究证实患者在接受肺手术前后心功能参数有着明显变化[18](见表 1)。

Table 1. Short-term (postoperative days 1~7) and long-term (3 months postoperative) effects of different extents of pulmonary resection on cardiac function parameters

表 1. 不同范围肺切除术对心功能参数的短期(术后 1~7 天)与长期(术后 3 个月)影响

| 手术类型 | 全肺切除术 | 肺叶切除术 | 亚肺叶切除术 |
|-----------------|---|--|-----------------------------------|
| 主要影响侧别 | RV 为主 | 双侧(RV > LV) | LV 为主 |
| 关键参数变化 (短期) | 显著升高: PASP ↑↑, RVEDV ↑↑ 显著降低: RVEF ↓↓, TAPSE ↓ | 升高: PASP 轻度↑ 变化: 左室舒张功能(E/A 比值)受影响, 右室应变下降 | 轻微变化: 心输出量可能轻微波动 主要影响: 左室收缩同步性 |
| 长期预后 (≥3 个月) | 改变持续存在: 持续性右心室扩张, 中度三尖瓣反流发生率增加, 部分患者出现右心衰竭征象 | 多数恢复: 右心功能参数通常在 3 个月内恢复至基线水平, 左室舒张功能障碍可能持续存在但无症状 | 迅速恢复: 血流动力学影响最小, 通常在术后 1 个月内完全恢复 |

Abbreviation: RV, 右心; LV, 左心; PASP, 肺动脉收缩压; RVEDV, 右室舒张末期容积; RVEF, 右室射血分数; TAPSE, 三尖瓣环收缩期位移。

全肺切除术后的右心室功能: 全肺切除术后右心室舒张直径和 PASP 显著增加, 提示右心功能已发生显著变化。与肺叶切除术相比, 全肺切除术右心室功能和肺功能下降更显著[19]。

中度三尖瓣关闭不全在全肺切除术后很常见, 很大一部分患者表现出三尖瓣增加返流。左心室射血分数通常在术后降低, 与全肺切除术相比, 全肺切除术后观察到的变化相比肺叶切除术更明显[20]。

有研究探讨肺切除术对肺癌患者左心功能的影响, 在相对较短的时间内, 肺叶切除术后收缩功能得以保留, 但舒张功能受到影响。左心室收缩末期容积和舒张末期容积往往在术后增加, 表明左心室功能发生变化[21]。

术后双侧心室的舒张功能受到影响, 二尖瓣和三尖瓣 E/A 比值和减速发生显著变化。右心室舒张功能比左心室舒张功能更受影响, 尤其是在前负荷增大。心电图变化: 肺切除术, 尤其是全肺切除术, 与空间 QRS-T 角增大和 QTc 间期延长有关, 这可能使患者易患术后心房颤动[22]。

右心室功能的变化可能在肺移植期间急性发生, 也可能在肺切除术期间偶尔发生。在术后期间, 右心功能的变化将取决于先前存在的肺动脉高压, 以及它是否因慢性阻塞性肺病恶化、肺炎或成人呼吸窘

迫综合征的发展而加剧。目前, 常规肺切除术是否会导致右心功能的临床显著变化仍然存在争议。部分学者认为, 术前肺动脉收缩压 $> 35 \text{ mmHg}$ 是术后并发症的独立危险因素, 而另一些研究则指出, 静态压力测量的预测价值有限, 动态功能参数(如应变率)更具临床意义。这种矛盾可能源于研究人群的异质性、测量时机的差异以及技术方法学的不同[16] [23]。

5. 小结

本综述系统阐述了超声心动图在肺切除术后心血管并发症评估中的核心价值, 揭示了这一领域的重要临床意义。通过对现有文献的深入分析, 发现超声心动图不仅是术后心脏功能监测的有效工具, 更是理解肺切除术后复杂病理生理变化的关键窗口。肺切除术后心血管并发症的发生机制具有多维度特征, 涉及右心功能障碍、肺动脉高压、左心室充盈改变等多个病理生理环节。现有研究证实, 肺切除术后患者的心功能参数会发生明显变化。超声心动图作为一种无创、实时、可重复性强的影像学检查技术, 在肺切除术围手术期的心功能监测中具有重要价值。通过 M 型、二维及多普勒超声等多种模式, 能够全面评估心脏结构、功能及血流动力学变化, 为临床医生及时发现并处理术后并发症提供可靠依据。而新兴技术如心肌应变分析、多普勒超声心动图等为精准评估提供了新的可能。另外, 不同肺切除术式对心功能的影响存在显著差异, 这要求临床医生在术前评估和术后管理中采取个体化策略。

尽管目前对肺切除术后心功能变化已有一定认识, 但仍存在争议和研究空白。例如, 右心室功能障碍的长期演变过程、不同手术方式对心功能影响的具体差异, 以及如何通过术前优化和术后干预来改善患者的心脏功能储备和长期预后, 仍需进一步探索。未来研究应集中于利用多中心前瞻性队列, 验证基于术前右心应变的风险预测模型。特别是需要建立包含应变参数、临床特征和生物标志物的综合评分系统, 以提高预测准确性。探索超声心动图引导下的目标导向治疗能否改善肺切除术后患者预后。设计随机对照试验, 比较传统管理策略与基于实时超声参数优化的治疗方案的临床结局差异。同时开展长期随访研究, 明确不同类型肺切除术后心功能恢复的自然病程, 为康复计划制定提供循证依据。

基于现有证据, 建议在临床实践中, 对高风险患者常规进行术前右心功能全面评估, 包括应变分析; 建立术后超声心动图监测的时间节点标准; 将三维超声心动图作为复杂病例的常规检查手段; 建立多学科协作的围手术期管理团队, 整合超声心动图与其他监测技术的优势。通过持续的技术创新和循证研究, 超声心动图将在改善肺切除术后患者预后方面发挥更加重要的作用, 为精准医疗时代的围手术期管理提供强有力的技术支撑。未来的研究可着重于优化超声心动图监测方案, 并将其与临床决策紧密结合, 以实现个体化的围手术期管理, 最终提高手术安全性及患者术后的生活质量。

参考文献

- [1] Kozyan, A., Schilling, T., Fredén, F., Maripuu, E., Röcken, C., Strang, C., *et al.* (2008) One-Lung Ventilation Induces Hyperperfusion and Alveolar Damage in the Ventilated Lung: An Experimental Study. *British Journal of Anaesthesia*, **100**, 549-559. <https://doi.org/10.1093/bja/aen021>
- [2] Slinger, P. (2006) Pro: Low Tidal Volume Is Indicated during One-Lung Ventilation. *Anesthesia & Analgesia*, **103**, 268-270. <https://doi.org/10.1213/01.ane.0000223701.24874.c8>
- [3] Karzai, W. and Schwarzkopf, K. (2009) Hypoxemia during One-Lung Ventilation: Prediction, Prevention, and Treatment. *Anesthesiology*, **110**, 1402-1411. <https://doi.org/10.1097/aln.0b013e31819fb15d>
- [4] Kovacs, G., Herve, P., Barbera, J.A., Chaouat, A., Chemla, D., Condliffe, R., *et al.* (2017) An Official European Respiratory Society Statement: Pulmonary Haemodynamics during Exercise. *European Respiratory Journal*, **50**, Article 1700578. <https://doi.org/10.1183/13993003.00578-2017>
- [5] von Anrep, G. (1912) On the Part Played by the Suprarenals in the Normal Vascular Reactions of the Body. *The Journal of Physiology*, **45**, 307-317. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1912.sp001553>
- [6] Brutsaert, D.L. and Paulus, W.J. (1977) Loading and Performance of the Heart as Muscle and Pump. *Cardiovascular*

- Research*, **11**, 1-16. <https://doi.org/10.1093/cvr/11.1.1>
- [7] Shelley, B., Glass, A., Keast, T., McErlane, J., Hughes, C., Lafferty, B., *et al.* (2023) Perioperative Cardiovascular Pathophysiology in Patients Undergoing Lung Resection Surgery: A Narrative Review. *British Journal of Anaesthesia*, **130**, e66-e79. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2022.06.035>
- [8] Yerebakan, C., Klopsch, C., Niefeldt, S., Zeisig, V., Vollmar, B., Liebold, A., *et al.* (2010) Acute and Chronic Response of the Right Ventricle to Surgically Induced Pressure and Volume Overload—An Analysis of Pressure-Volume Relations. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*, **10**, 519-525. <https://doi.org/10.1510/icvts.2009.221234>
- [9] McCall, P.J., Arthur, A., Glass, A., Corcoran, D.S., Kirk, A., Macfie, A., *et al.* (2019) The Right Ventricular Response to Lung Resection. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **158**, 556-565.E5. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2019.01.067>
- [10] Lederman, D., Easwar, J., Feldman, J. and Shapiro, V. (2019) Anesthetic Considerations for Lung Resection: Preoperative Assessment, Intraoperative Challenges and Postoperative Analgesia. *Annals of Translational Medicine*, **7**, 356-356. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.03.67>
- [11] Ai, D., Lasala, J., Mehran, J.R., Xu, G., Banchs, J. and Cata, J.P. (2015) Preoperative Echocardiographic Parameters of Diastolic Dysfunction Did Not Provide a Predictive Value for Postoperative Atrial Fibrillation in Lung and Esophageal Cancer Surgery. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, **29**, 1127-1130. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2015.01.012>
- [12] 中华医学会超声医学分会超声心动图学组. 中国成年人超声心动图检查测量指南[J]. 中华超声影像学杂志, 2016, 25(8): 645-666.
- [13] Lang, R.M., Badano, L.P., Mor-Avi, V., *et al.* (2016) Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *European Heart Journal—Cardiovascular Imaging*, **17**, 412.
- [14] De Castro, S., Salandini, V., Cavarretta, E., Salvador, L., Valfré, C., Caselli, S., *et al.* (2006) Epicardial Real-Time Three-Dimensional Echocardiography in Cardiac Surgery: A Preliminary Experience. *The Annals of Thoracic Surgery*, **82**, 2254-2259. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2006.04.087>
- [15] Tan, X., Tao, J., Zhang, Q., Li, X., Wang, J., Song, H., *et al.* (2024) Risk Factors and Prognostic Analysis of Right Ventricular Dysfunction after Lung Resection for NSCLC. *Frontiers in Oncology*, **14**, Article ID: 1371594. <https://doi.org/10.3389/fonc.2024.1371594>
- [16] Giustiniano, E., Nisi, F., Piccioni, F., Gambino, F., Aceto, R., Lungu, R., *et al.* (2023) Right Ventricle Response to Major Lung Resection (The River Study). *Journal of Cardiovascular Echography*, **33**, 76-82. https://doi.org/10.4103/jcecho.jcecho_17_23
- [17] Brunelli, A., Kim, A.W., Berger, K.I. and Addrizzo-Harris, D.J. (2013) Physiologic Evaluation of the Patient with Lung Cancer Being Considered for Resectional Surgery: Diagnosis and Management of Lung Cancer, 3rd ed: American College of Chest Physicians Evidence-Based Clinical Practice Guidelines. *Chest*, **143**, e166S-e190S. <https://doi.org/10.1378/chest.12-2395>
- [18] Roungeris, L., Devadze, G., Talliou, C. and Griva, P. (2024) Prediction of Postoperative Complications after Major Lung Resection: A Literature Review. *Anesthesia Research*, **1**, 146-156. <https://doi.org/10.3390/anesthres1020014>
- [19] Venuta, F., Cirino, S., *et al.* (2007) Right Ventricular Function after Pneumonectomy: A Clinical Study. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **31**, 693-697.
- [20] Foroulis, C.N., Kotoulas, C., Kakouros, S., *et al.* (2004) Study on the Late Effect of Pneumonectomy on Right Heart Pressures Using Doppler Echocardiography. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **26**, 508-514. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2004.05.036>
- [21] 王振华. 二维斑点追踪成像技术对不同范围肺切除术后早期患者左心室收缩功能的评估[J]. 甘肃中医药大学学报, 2021, 38(4): 50-54.
- [22] Cölkesen, Y., Açı, T., Findikçioğlu, A., *et al.* (2009) Tissue Doppler Evaluation of the Effects of Major Lung Resection on Cardiac Functions. *Türk Kardiyoloji Derneği Arşivi*, **37**, 317-320.
- [23] Pedoto, A. and Amar, D. (2009) Right Heart Function in Thoracic Surgery: Role of Echocardiography. *Current Opinion in Anaesthesiology*, **22**, 44-49. <https://doi.org/10.1097/aco.0b013e32831d7b72>