

膈肌功能联合临床指标预测心脏手术后患者撤机结局

郭立军¹, 张辉燕², 谷红丽³, 李琼^{2*}

1. 湖南省郴州市湘南学院附属医院临床学院, 湖南 郴州 423000

2. 湖南省郴州市第一人民医院重症医学科, 湖南 郴州 423000

3. 湖南省郴州市第一人民医院超声科, 湖南 郴州 423000

DOI:10.61369/MRP.2026090009

摘 要 : 目的 分析膈肌功能结合临床指标对心脏手术后机械通气撤机结局的预测价值。方法 2024.10—2025.4 我院行心脏手术后拟撤除机械通气患者 60 例 (前瞻性)。收集一般资料、手术相关及膈肌数据, 通过单、多因素 Logistic 回归和 ROC 曲线进行变量筛选。结果 撤机成功组与失败组间多项临床和膈肌参数存在显著差异; APACHE II 评分、收缩期膈肌厚度为独立影响因素, 其单项值对撤机均具有预测能力。结论 APACHE II 评分以及收缩期膈肌厚度可以单独预测心脏术后撤机结果, 并可将上述两种指标相结合提高准确率, 在制定撤机方案中提供更加精准化服务。

关 键 词 : 心脏手术; 机械通气; 撤机结局; 膈肌功能; 临床指标; 预测模型

Diaphragmatic Function Combined with Clinical Indicators for Predicting Weaning Outcomes in Patients After Cardiac Surgery

Guo Lijun¹, Zhang Huiyan², Gu Hongli³, Li Qiong^{2*}

1 Clinical College, Affiliated Hospital of Xiangnan University, Chenzhou City, Hunan Province, Chenzhou, Hunan 423000

2 Department of Critical Care Medicine, Chenzhou First People's Hospital, Chenzhou, Hunan 423000

3 Department of Ultrasound, First People's Hospital of Chenzhou City, Hunan Province, Chenzhou, Hunan 423000

Abstract : Objective: To analyze the predictive value of diaphragmatic function combined with clinical indicators for the outcome of mechanical ventilation weaning after cardiac surgery. Methods: From October 2024 to April 2025, a total of 60 patients undergoing cardiac surgery who were scheduled for mechanical ventilation weaning were enrolled in this prospective study. General demographic data, surgical-related parameters, and diaphragmatic measurements were collected, and variable selection was performed using univariate and multivariate logistic regression as well as ROC curves. Results: Significant differences were observed between the successful and unsuccessful weaning groups regarding multiple clinical and diaphragmatic parameters; the APACHE II score and systolic diaphragmatic thickness were identified as independent predictors, each demonstrating predictive value for weaning success. Conclusion: Both the APACHE II score and systolic diaphragmatic thickness can independently predict postoperative weaning outcomes, and combining these two parameters enhances prediction accuracy, thereby providing more precise guidance for weaning strategy formulation.

Keywords : cardiac surgery; mechanical ventilation; weaning outcome; diaphragm function; clinical indicators; predictive model

引言

机械通气是心脏手术后维持呼吸功能、保障生命体征稳定的关键性技术措施, 而撤机作为机械通气治疗的核心环节, 其时机选择直接影响患者预后^[1]。心脏手术患者因手术创伤、体外循环诱导的缺血缺氧、术后炎症反应等多重因素, 膈肌功能易受损, 且常合并基础心血管疾病, 导致撤机难度及失败风险显著高于其他机械通气人群^[2]。过早撤机可能引发再插管、肺部感染、心功能恶化等并发症, 过

基金项目:

郴州市第一人民医院院内课题 CZYY202217

郴州市第一人民医院院内项目

湘南学院院级课题 2021XJ11

作者简介: 郭立军 (1979.09—), 男, 汉族, 湖南省郴州市人, 学历: 硕士, 职称: 副主任医师, 研究方向: 神经内科及神经重症。

通讯作者: 李琼, Email: liqiong8008@sina.com

度延迟撤机则会加重膈肌废用性萎缩、延长住院时间、增加医疗成本，甚至影响远期预后^[9]。因此，筛选可靠的撤机结局预测指标并构建高效预测模型，对优化临床撤机决策、改善患者预后具有重要临床意义。

本研究通过系统分析心脏术后机械通气患者的临床资料及膈肌功能参数，筛选撤机失败的独立危险因素，构建膈肌功能与临床指标联合的综合预测模型，并评估其预测效能，旨在为临床精准预测该类患者撤机结局提供新的思路 and 依据。

一、资料与方法

前瞻性纳入 2024 年 10 月至 2025 年 4 月本院心胸外科接受心脏手术（冠状动脉旁路移植术、瓣膜置换术、先天性心脏病矫治术等）后行机械通气治疗且拟撤机的患者。纳入标准：①年龄 ≥ 18 岁；②接受瓣膜置换术、冠脉搭桥术等心脏手术；③拟撤机并完成自主呼吸试验（SBT）；④临床资料完整。排除标准：①严重胸廓畸形、膈肌麻痹或膈疝；②终末期恶性肿瘤或预计生存期 < 24 h；③严重肝肾功能衰竭、凝血功能障碍；④膈肌超声图像不清晰无法测量参数；⑤术后未控制的严重感染或大出血。共纳入 60 例患者，均经 SBT 评估撤机可行性。

（一）研究设计与伦理

本研究为前瞻性观察性研究，研究方案严格遵循《赫尔辛基宣言》原则，并获得本院机构伦理审查委员会批准（批准文号：2024010）。所有患者或其法定代理人在入组前均签署书面知情同意书。

（二）撤机结局判定标准

撤机成功：完成自主呼吸试验后顺利拔管，48 h 内无需重新插管、高流量、无创通气支持；撤机失败：拔管后 48 h 内出现呼吸衰竭相关症状（呼吸频率 > 35 次/min 或 < 8 次/min、 $\text{PaCO}_2 > 50$ mmHg 且较拔管前升高 ≥ 10 mmHg、 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 200$ mmHg），需重新插管、高流量或者无创通气支持。

（三）资料收集

收集以下资料：①基线资料：性别、年龄、BMI、基础疾病（高血压、冠心病、糖尿病等）、吸烟史、饮酒史；②手术相关指标：手术方式、停循环时间、阻断时间、手术时间；③临床指标：呼吸氧合指标（入科氧合指数、撤机评估时氧合指数、入科 PaCO_2 、呼吸频率）、血流动力学指标（心率、平均动脉压、中心静脉压）、实验室指标（入科乳酸、肌钙蛋白、BNP）及住院结局指标（机械通气时间、ICU 住院时间、术后住院时间）；④膈肌功能参数：通过超声检测膈肌移动幅度（ ΔPcm ）、膈肌收缩期厚度、膈肌舒张期厚度，计算膈肌增厚率（%）=（收缩期厚度 - 舒张期厚度）/ 舒张期厚度 $\times 100\%$ ，各参数测量 3 次取平均值^[9, 10]。

超声检测由 2 名具有 5 年以上重症超声操作经验的医师完成，采用 minary 9.0 超声诊断仪，凸阵探头（频率 3.5~5.0MHz），于右侧腋中线第 8~10 肋间定位膈肌，M 型超声测量膈肌运动幅度及厚度参数，测量过程严格遵循《重症超声临床应用指南（2021 版）》操作规范。膈肌收缩期厚度：吸气末膈肌最厚处厚度；膈肌舒张期厚度：呼气末膈肌最薄处厚度；膈肌移动幅度：呼吸周期内膈肌上下移动的最大距离；膈肌增厚率：

（收缩期厚度 - 舒张期厚度）/ 舒张期厚度 $\times 100\%$ 。

（四）统计学方法

本研究运用 IBM SPSS Statistics 开展数据分析，连续变量先行正态性检验，正态数据以均数 $\pm$ 标准差描述、组间对比选用独立样本 t 检验，非正态数据采用中位数（四分位数间距）表述、组间对比选用 Mann-Whitney U 检验；分类变量用例数（百分比）呈现，组间比较选用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。经单因素 Logistic 回归筛选撤机相关影响因素并计算 OR 与 95% CI，对有统计学意义的连续指标绘制 ROC 曲线、测算 AUC 并依托约登指数界定临界值；通过 Spearman 秩相关分析变量共线性并辅以热力图可视化，结合多项分析结果筛选变量构建多因素 Logistic 回归明确独立影响因素，所有检验为双侧检验， $P < 0.05$ 视作差异存在统计学意义。

二、结果

共纳入患者 60 例，其中撤机成功组 29 例，撤机失败组 31 例。两组在性别构成方面差异无统计学意义（ $P=0.815$ ）。撤机失败组患者年龄明显高于撤机成功组 [64.00（57.50，69.50）岁 vs 57.00（47.00，65.00）岁， $P=0.024$]，BMI 亦显著升高（ 24.20 ± 2.10 vs. 22.52 ± 2.36 ， $P=0.005$ ）。基础合并症方面，两组在高血压、冠心病、糖尿病、COPD 及中枢神经系统疾病等方面差异均无统计学意义（均 $P > 0.05$ ），但撤机失败组吸烟史比例显著高于撤机成功组（58.1% vs. 24.1%， $P=0.016$ ）。

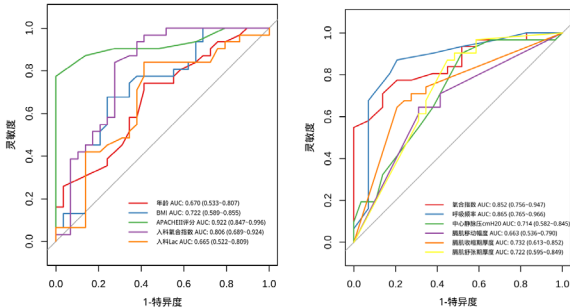


图 1 单因素组间差异显著因素对撤机成功 / 失败的 ROC 诊断价值分析

对单因素组间差异具有统计学意义的变量进一步进行 ROC 曲线分析，以评估其对撤机成功 / 失败的诊断价值（图 1）。结果显示，不同指标的诊断效能存在明显差异。整体来看，APACHE II 评分表现出最优的诊断性能，AUC 为 0.922（95%CI：0.847–0.996），在最佳截断值 14.5 时，灵敏度为 0.774，特异度达到 1.000，约登指数为 0.774，提示其对撤机结局具有较强的区分能力。与之相似，氧合相关指标亦显示出较高的诊断效能，其中撤

机评估时的氧合指数 AUC 为 0.852 (95%CI: 0.756–0.947), 内科氧合指数 AUC 为 0.806 (95%CI: 0.689–0.924), 均提示良好的预测价值。呼吸频率在本研究中同样具有较高的诊断效能, AUC 为 0.865 (95%CI: 0.765–0.966), 在最佳截断值 23.5 次 / 分时, 灵敏度为 0.871, 特异度为 0.793, 约登指数为 0.664, 显示其在反映撤机失败风险方面具有较好的综合判别能力。

膈肌功能相关指标整体呈现中等诊断效能。膈肌收缩期厚度和膈肌舒张期厚度的 AUC 分别为 0.732 (95%CI: 0.613–0.852) 和 0.722 (95%CI: 0.595–0.849, 提示其对撤机结局具有一定区分能力, 但诊断效能低于 APACHEII 评分及氧合相关指标。膈肌移动幅度的 AUC 为 0.663 (95%CI: 0.536–0.790), 诊断价值相对有限。

三、讨论

心脏手术后机械通气患者的撤机决策需综合评估患者呼吸功能、全身状况及器官功能储备, 单一指标往往难以全面反映患者撤机风险^[4, 5]。本研究通过前瞻性设计, 纳入 60 例心脏术后拟撤机患者, 系统分析临床指标与膈肌功能参数的预测价值, 明确了撤机失败的独立危险因素并构建联合预测模型, 为临床精准决策提供量化依据, 以下结合研究结果展开深度讨论。

本研究中, APACHE II 评分表现出最优的单指标诊断效能 (AUC=0.922, 95%CI: 0.847–0.996), 最佳截断值 14.5 分时特异度达 1.000, 这与既往研究中“APACHE II 评分越高, 重症患者器官功能损伤越严重、预后越差”的结论高度一致^[8, 9]。心脏术后患者因手术创伤、体外循环诱导的全身炎症反应, APACHE II 评分不仅反映基础疾病严重程度, 更整合术后多器官功能受累情况——评分每增加 1 分, 撤机失败风险升高 2.56 倍 (OR=2.56,

95%CI: 1.54–4.25, $P<0.001$), 提示该评分可作为撤机前“全身状况筛查”的核心指标, 临床中若患者评分超过 14.5 分, 需警惕撤机失败风险, 优先优化器官功能支持。

呼吸氧合相关指标同样展现出高预测价值: 撤机评估时氧合指数 (AUC=0.852) 与呼吸频率 (AUC=0.865) 的诊断效能仅次于 APACHEII 评分。其中, 氧合指数每增加 1 个单位, 撤机失败风险降低 3% ($P<0.001$), 这与心脏术后患者肺功能特点密切相关——手术操作对肺组织的牵拉、体外循环后肺水增加等因素, 均可能导致肺换气功能受损, 而氧合指数直接反映肺氧合效率, 其降低提示肺功能储备不足, 难以维持自主呼吸时的氧供需求。此外, 呼吸频率最佳截断值 23.5 次 / 分时, 灵敏度达 0.871, 提示呼吸频率加快是撤机失败的早期预警信号: 当患者自主呼吸试验中出现呼吸频率持续超过 23.5 次 / 分, 可能意味着呼吸肌代偿性做功增加, 需进一步评估膈肌功能与心功能状态, 避免过早撤机。

四、结论

APACHE II 评分与膈肌收缩期厚度是心脏术后患者撤机结局的独立影响因素, 两者联合构建的预测模型, 能同时兼顾全身疾病严重程度与局部呼吸动力储备评估, 预测准确性高且操作便捷。临床可据此对患者进行风险分层, 制定个体化撤机方案, 进而降低撤机失败率, 改善患者预后。

利益冲突: 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 李琼: 实验设计、文章撰写、经费; 谷红丽: 数据收集; 张辉艳: 数据整理; 郭立军: 数据统计分析、作图;

支持致谢感谢本次科研及论文协作过程中导师及科室同事的指导和大力支持。

参考文献

- [1] 张庚. 机械通气临床应用指南解读: 浙江省中西医结合学会急救医学专业委员会第三次学术年会暨省级继续教育学习班 [C]. 中国浙江杭州, 2007.
- [2] Parada-Gereda H M, Molano-Franco D, Peña-López L A, et al. Diaphragmatic Rapid Shallow Breathing Index for predicting successful weaning from mechanical ventilation: A systematic review and meta-analysis[J]. Australian critical care : official journal of the Confederation of Australian Critical Care Nurses, 2025, 38(5):101266.
- [3] Freitas E E C, David C M N. Assessment of success in weaning from mechanical ventilation[J]. Revista Brasileira de terapia intensiva, 2006, 18(4):351–359.
- [4] Srivastava S, Chatila W, Amoateng-Adjepong Y, et al. Myocardial ischemia and weaning failure in patients with coronary artery disease: an update[J]. Critical care medicine, 1999, 27(10):2109–2112.
- [5] 荆娟, 王丽娟, 刘通, 陈超, 贺西京. 体外膈肌起搏联合等速肌力训练对重症肺炎机械通气患者呼吸肌功能重塑及肺部感染控制的临床研究 [J]. 中国临床医生杂志, 2026, 54 (04): 464–468.
- [6] 刘世洁, 刘晓黎, 叶宁, 孔燕, 周梅菁. 有创 – 无创序贯通气联合支气管镜肺泡灌洗对慢性阻塞性肺疾病合并呼吸衰竭患者疗效及膈肌功能的影响 [J]. 中国医药, 2026, 21 (03): 340–344.
- [7] 方慧, 王刚, 饶健. 体外膈肌起搏结合氧疗在脑卒中机械通气患者中的疗效研究 [J]. 九江学院学报 (自然科学版), 2026, 41 (01): 73–78.
- [8] 王露莹, 任晨晨, 杨梦笛, 胡守喜, 杨发明. 基于多指标决策分析的针刺治疗慢性阻塞性肺疾病合并膈肌功能障碍选穴方案探析 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2026, 33 (01): 39–43.
- [9] 潘华琴, 陈燕华. EDP 联合福多司坦治疗急性加重期慢性阻塞性肺疾病患者的效果 [J]. 实用中西医结合临床, 2026, 26 (03): 20–22+62.
- [10] 周莹莹, 张乐. 宣肺平喘方联合布地奈德治疗慢性阻塞性肺疾病急性加重期患者的效果 [J]. 西北药学杂志, 2026, 41 (01): 160–166.