

经胸腔镜心脏瓣膜手术后低氧血症风险预测模型的建立

高翔 李玥 钱靖^{通讯作者}

广西医科大学第一附属医院

DOI:10.32629/bmtr.v8i2.18881

[摘要] 目的：探讨经胸腔镜心脏瓣膜术后中重度低氧血症的危险因素及预防策略，并构建风险预测模型。方法：回顾性分析2023年1月至2023年12月在我院经胸腔镜行心脏瓣膜手术治疗的患者，借助单因素及多因素 Logistic 回归分析方法筛选中重度低氧血症患者的相关危险因素并构建风险预测模型。结果：本次研究共216例行经胸腔镜心脏瓣膜手术患者，其中术后中重度低氧血症患者共65(30.09%)例。两组间性别、体质指数(BMI)、手术时长、谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)、肌酸激酶同工酶(CK-MB)的基线信息差异有统计学意义($P < 0.05$)。单因素分析显示BMI(OR=1.18, 95%CI 1.03~1.36)，体外循环时间(OR=1.01, 95%CI 1.01~1.01)，手术时间(OR=1.01, 95%CI 1.01~1.01)，ALT(OR=1.02, 95%CI 1.01~1.04)，降钙素原(PCT)(OR=1.02, 95%CI 1.01~1.04)与经胸腔镜心脏瓣膜手术后低氧血症有关。多因素 logistic 回归分析显示，BMI、PCT及手术时间为经胸腔镜瓣膜术后患者中重度低氧血症独立危险因素。基于上述因素建立的列线图模型，该模型预测术后中重度低氧患者的AUC值为0.71(95%CI: 0.62-0.80)。结论：BMI增加以及手术时间延长均为经胸腔镜瓣膜术后患者中重度低氧血症的独立危险因素，基于上述因素构建的预测模型能定量、简便地评估经胸腔镜心脏瓣膜术后出现中重度低氧血症的风险。

[关键词] 心脏术后；低氧血症；危险因素；预测模型

中图分类号：R654.2 文献标识码：A

Establishment of a Risk Prediction Model for Hypoxemia After Thoracoscopic Cardiac Valve Surgery

Xiang Gao, Yue Li, Jing Qian^{Corresponding Author}

The First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University

[Abstract] Objective: To identify the risk factors associated with moderate-to-severe hypoxemia following thoracoscopic cardiac valve surgery and to develop a predictive nomogram for clinical use. Methods: A retrospective cohort study was conducted on consecutive patients who underwent thoracoscopic cardiac valve surgery at our institution between January and December 2023. Moderate-to-severe hypoxemia was defined as a PaO_2 / FiO_2 ratio < 200 mmHg within 48 h post-operatively. Univariable and multivariable logistic regression analyses were employed to determine independent risk factors, which were subsequently integrated into a nomogram. Model discrimination was quantified by the area under the receiver-operating characteristic curve (AUC). Results: Among 216 eligible patients, 65 (30.09%) developed post-operative moderate-to-severe hypoxemia. Baseline characteristics differed significantly between the hypoxemic and non-hypoxemic groups with respect to sex, operative duration, AST, ALT, CK-MB, and BMI ($P < 0.05$). Univariable analysis revealed associations between hypoxemia and BMI (OR = 1.18; 95% CI, 1.03 - 1.36), cardiopulmonary bypass time (OR = 1.01; 95% CI, 1.01 - 1.01), operative time (OR = 1.01; 95% CI, 1.01 - 1.01), ALT (OR = 1.02; 95% CI, 1.01 - 1.04), and procalcitonin (OR = 1.02; 95% CI, 1.01 - 1.04). Multivariable logistic regression identified elevated BMI (adjusted OR = 1.21; 95% CI, 1.05 - 1.39) and prolonged operative time (adjusted OR = 1.01; 95% CI, 1.00 - 1.01) as independent predictors. The nomogram incorporating these variables demonstrated an AUC of 0.71 (95% CI, 0.62 - 0.80), indicating acceptable

discriminative ability. Conclusions: Increased BMI and longer operative duration are independent risk factors for moderate-to-severe hypoxemia after thoracoscopic valve surgery. The proposed nomogram offers a simple, quantitative tool for pre-operative risk stratification and may guide preventive strategies in this setting.

[Key words] Post-cardiac surgery; Hypoxemia; Risk factors; Risk prediction model

引言

随着微创外科的发展,微创心脏手术(minimally invasive cardiac surgery, MICS)取得了巨大的进步和创新^[1]。MICS通常指通过侵入性较小的切口而不是完全正中胸骨切开术进行的心脏手术,主要包括微创手术、视频辅助入路、完全胸腔镜入路(无机器人辅助)和机器人辅助手术^[2]。MICS有改善切口美观、减少疼痛、缩短恢复时间等优点^[3],但仍有很多问题引起临床关注^[4-5]。以经胸腔镜瓣膜置换术为例,该术式通常以右侧经胸小切口为手术路径,术中需要单肺通气以完成手术,因此可能导致患者出现单侧肺损伤从而引起低氧血症。有研究报道该类术后出现呼吸衰竭的发生率可达2.3%^[2],部分严重者甚至出现单侧复张性肺水肿^[5-7]。低氧血症不但会对患者的术后康复进程产生影响、延长住院时长、增添医疗负担,严重时可危及患者生命。因此,术前识别低氧血症的相关风险因素并建立有效的预测模型,将有助于实现个体化的风险评估、优化围术期管理策略,并在术后开展针对性预防与干预。本研究通过对微创心脏术后相关风险因素的剖析以及构建风险预测模型,期望能为优化手术流程、提升手术成效和改善患者预后提供一定的理论依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本研究纳入2023年1月至2023年12月于广西医科大学第一附属医院经胸腔镜行心脏瓣膜手术治疗的216例患者,以术后返回监护室24小时内的最低的动脉血氧分压(PaO₂)和吸入氧浓度分数(FiO₂)计算出所有动脉血气的氧合指数(PaO₂/FiO₂)来判断氧合情况,根据柏林诊断进行低氧分级^[8]。65例患者术后发生中重度低氧血症(PaO₂/FiO₂ < 200 mmHg)的患者设为低氧组,151例 PaO₂/FiO₂ ≥ 200 mmHg 的患者设为对照组。纳入标准如下:(1)接受微创心脏瓣膜手术的患者。(2)术后有明确氧合相关指标检测记录。排除标准如下:(1)术前存在严重肺部疾病(如严重慢性阻塞性肺疾病、特发性肺纤维化等)影响术后氧合评估的。(2)同期进行其他可能严重影响氧合的重大手术。(3)术后因非手术相关原因早期死亡或自动出院,无法准确评估术后低氧血症情况的。(4)临床资料严重缺失,无法进行有效分析的。

1.2 临床资料收集

通过查阅病历、检查检验报告等方式收集患者个人信息,

包括性别、术前实验室指标、左室射血分数、体外循环时间、主动脉阻断时间、手术时间、晶体胶体输注比例、术后中心静脉压、术后动脉血乳酸值。

1.3 列线图预测工具的训练和验证

此研究中,216例患者按照7:3的比例被随机分配到两组。其中训练集有151名患者,其中49例出现低氧,验证集有65名患者,16例患者出现低氧。首先运用单因素与多因素 Logistic 向后向逐步回归法识别出显著的风险因素(P ≤ 0.05)来构建列线图模型,然后通过 ROC 曲线分析来评判其可靠性。模型针对低氧血症的预测精准性由 ROC 曲线下面积(Area under curve, AUC)予以确定。运用校准图以及 Hosmer-Lemeshow 检验来确认列线图的准确性。此外,通过决策分析曲线(decision curve analysis, DCA)评估在该数据集集中不同概率阈值下列线图模型的净收益。

1.4 统计学方法

本次研究采用 R 4.3.0 统计分析软件,其中正态分布的连续数据采用 Mean ± SD 表示,两组间的比较采用两独立样本的 t 检验;偏态分布的连续数据采用 M(Q₁, Q₃)表示,采用两独立样本的秩和检验;分类变量采用 n (%)表示,采用卡方检验或 Fisher 确切概率法,组间比较以 P < 0.05 认为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者的基线资料对比

本次研究共216人,其中对照组有151人,占比69.91%,观察组有65人,占比30.09%。两组间的性别、手术时长、AST、ALT、CK-MB、BMI的基线资料差异有统计学意义(P < 0.05),而是否吸烟、年龄、白蛋白、术中晶体胶体输注比例、Lac、CVP、WBC、TB、BUN、Cr、CK、hs-cTn、BNP、PCT、CRP、体外循环时间、主动脉阻断时间差异无统计学意义(P > 0.05)(表1)。

表1 患者基线特征

变量	总例数 (n = 216)	对照组 (n = 151)	中重度 低氧组 (n = 65)	统计量	P 值
年龄 (n, %)				χ ² =0.11	0.74
<60 岁	180 (83.33)	125 (82.78)	55 (84.62)		
≥60 岁	36 (16.67)	26 (17.22)	10 (15.38)		
性别 (n, %)				χ ²	0.009

女	99 (45.83)	78 (51.66)	21 (32.31)	=6.85	
男	117 (54.17)	73 (48.34)	44 (67.69)		
吸烟 (n, %)					
否	166 (76.85)	118 (78.15)	48 (73.85)	χ^2 =0.47	0.492
是	50 (23.15)	33 (21.85)	17 (26.15)		
BMI	23.11 (21.10, 24.80)	22.86 (20.83, 24.22)	24.22 (21.93, 26.03)	Z=-3.61	<.001
LVEF%	67.00 (62.00, 72.00)	67.00 (62.00, 72.00)	68.00 (61.00, 71.00)	Z=-0.48	0.632
生化指标					
WBC	14.11 (11.68, 16.73)	14.03 (11.75, 17.16)	14.41 (11.41, 16.33)	Z=-0.26	0.797
TB	26.45 (18.75, 35.65)	26.20 (18.30, 35.40)	27.90 (20.00, 38.50)	Z=-0.74	0.46
AST*	63.00 (50.75, 77.25)	62.00 (50.00, 72.00)	70.00 (52.00, 90.00)	Z=-2.54	0.011
ALT*	21.00 (15.00, 29.00)	19.00 (15.00, 27.00)	24.00 (18.00, 41.00)	Z=-3.11	0.002
ALB	37.92 ± 5.52	38.03 ± 5.22	37.65 ± 6.21	t=0.47	0.641
BUN*	6.41 (5.17, 7.62)	6.36 (5.17, 7.51)	6.67 (5.47, 7.75)	Z=-1.00	0.318
Cr*	68.00 (54.00, 83.00)	68.00 (51.00, 81.50)	71.00 (60.00, 87.00)	Z=-1.50	0.134
CK*	1091.00 (735.50, 1555.50)	1056.00 (703.00, 1468.50)	1229.00 (816.25, 1649.75)	Z=-1.95	0.051
CKMB*	65.00 (48.00, 80.00)	62.00 (45.50, 76.00)	72.00 (50.00, 84.25)	Z=-2.35	0.019
Hsctn*	481.00 (294.00, 746.45)	467.10 (289.00, 735.80)	514.00 (347.20, 751.60)	Z=-1.19	0.236
pro-BNP*	699.50 (355.85, 1359.25)	711.00 (378.90, 1407.00)	647.70 (339.50, 1187.50)	Z=-0.50	0.614
PCT*	8.25 (4.39, 17.81)	7.90 (4.11, 14.75)	10.14 (4.71, 31.83)	Z=-1.71	0.087
CRP*	41.55 (22.90, 71.28)	39.20 (22.70, 68.05)	51.60 (23.40, 85.40)	Z=-1.29	0.196
Lac*	2.20 (1.50, 3.70)	2.30 (1.60, 3.50)	2.10 (1.40, 4.30)	Z=-0.16	0.875
CVP*	10.00 (8.00, 12.00)	10.00 (8.00, 12.00)	11.00 (8.75, 13.00)	Z=-1.93	0.054
术中相关指标					
体外循环时间	149.50 (122.00, 178.00)	148.00 (121.50, 175.50)	164.00 (126.00, 194.00)	Z=-1.63	0.104
主动脉阻断时间	116.00 (86.00, 140.50)	114.00 (86.00, 137.00)	120.50 (86.50, 153.50)	Z=-1.35	0.178

手术时间	340.00 (306.50, 391.50)	335.00 (305.25, 380.00)	359.00 (318.00, 415.00)	Z=-2.57	0.01
晶胶比例	0.83 (0.62, 1.00)	0.83 (0.71, 1.04)	0.83 (0.45, 0.91)	Z=-1.86	0.063

注：血尿素 (BUN)、血肌酐 (Cr)、白细胞计数 (WBC)、总胆红素 (TB)、谷草转氨酶 (AST)、谷丙转氨酶 (ALT)、白蛋白 (ALB)、肌酸激酶 (CK)、肌酸激酶同工酶 (CK-MB)、高敏肌钙蛋白 (hs-cTn)、脑利钠肽前体 (pro-BNP)、降钙素原 (PCT)、C 反应蛋白 (CRP)。t: t 检验, Z: Mann-Whitney 检验, χ^2 : 卡方检验; SD: 标注差, M: 均数, Q_1 : 第 1 四分位数, Q_3 : 第 3 四分位数; *为计量资料不符合正态分布时, 使用非参数检验, 中位数 (四分位数间距) [M (Q₁, Q₃)] 表示

2.2 经胸腔镜瓣膜术后患者中重度低氧血症的单因素及多因素 logistic 回归分析

在本研究中, 通过单因素和多因素 Logistic 回归分析评估了所有患者的临床变量 (表 2)。单因素分析结果显示, BMI (OR=1.18, 95%CI 1.03~1.36)、体外循环时间 (OR=1.01, 95%CI 1.01~1.01)、手术时间 (OR=1.01, 95%CI 1.01~1.01)、ALT (OR=1.02, 95%CI 1.01~1.04)、PCT (OR=1.02, 95%CI 1.01~1.04) 与中重度低氧血症显著相关。多因素分析进一步表明, BMI (OR=1.18, 95%CI 1.02~1.36)、PCT (OR=1.01, 95%CI 1.00~1.04) 和手术时间 (OR=1.01, 95%CI 1.01~1.01) 是中重度低氧血症的独立危险因素。

通过单变量和多变量 Logistic 回归分析得出 BMI、手术时长以及 PCT 水平是关键独立预测因子。

表 2 单+多因素 logistic 回归结果

变量	单因素					多因素				
	β	S.E	Z	P	OR (95%CI)	β	S.E	Z	P	OR (95%CI)
性别										
女					1.00 (Reference)					
男	0.48	0.36	1.32	0.187	1.61 (0.79 ~ 3.26)					
BMI	0.17	0.07	2.33	0.020	1.18 (1.03 ~ 1.36)	0.17	0.07	2.26	0.024	1.18 (1.02 ~ 1.36)
吸烟										
否					1.00 (Reference)					
是	-0.52	0.43	-1.21	0.227	0.59 (0.26 ~ 1.38)					
年龄										
<60 岁					1.00 (Reference)					
≥60 岁	-0.02	0.47	-0.05	0.958	0.98 (0.39 ~ 2.45)					
体外循环	0.01	0.00	2.30	0.021	1.01 (1.01 ~ 1.01)					
阻断时间	0.01	0.00	1.82	0.069	1.01 (1.00 ~ 1.01)					

变量	单因素					多因素				
	β	S.E	Z	P	OR (95%CI)	β	S.E	Z	P	OR (95%CI)
手术时间	0.01	0.00	3.11	0.002	1.01 (1.01 ~ 1.01)	0.01	0.00	2.60	0.009	1.01 (1.01 ~ 1.01)
晶胶比	0.07	0.14	0.52	0.605	1.08 (0.82 ~ 1.42)					
Lac	0.10	0.08	1.29	0.196	1.11 (0.95 ~ 1.30)					
CVP	0.11	0.06	1.87	0.061	1.12 (0.99 ~ 1.25)					
术前 HGB	0.00	0.01	0.08	0.935	1.00 (0.98 ~ 1.02)					
WBC	-0.01	0.04	-0.28	0.780	0.99 (0.91 ~ 1.07)					
TB	0.01	0.01	0.80	0.421	1.01 (0.99 ~ 1.03)					
术后 HGB	0.00	0.01	0.07	0.941	1.00 (0.98 ~ 1.02)					
AST	0.00	0.00	1.14	0.256	1.00 (1.00 ~ 1.01)					
ALT	0.02	0.01	2.11	0.035	1.02 (1.01 ~ 1.04)					
ALB	-0.01	0.03	-0.42	0.672	0.99 (0.92 ~ 1.05)					
BUN	0.00	0.00	0.59	0.552	1.00 (1.00 ~ 1.01)					
Cr	0.01	0.01	1.08	0.279	1.01 (0.99 ~ 1.02)					
CK	0.00	0.00	0.75	0.451	1.00 (1.00 ~ 1.00)					
CKMB	0.00	0.00	0.92	0.358	1.00 (1.00 ~ 1.00)					
Hscn	0.00	0.00	0.96	0.336	1.00 (1.00 ~ 1.00)					
pro-BNP	0.00	0.00	0.50	0.619	1.00 (1.00 ~ 1.00)					
PCT	0.02	0.01	2.34	0.019	1.02 (1.01 ~ 1.04)	0.02	0.01	1.95	0.051	1.02 (1.00 ~ 1.04)
CRP	-0.00	0.00	-0.22	0.827	1.00 (1.00 ~ 1.00)					
EF%	0.01	0.02	0.28	0.778	1.01 (0.97 ~ 1.05)					

2.3 经胸腔镜瓣膜术后患者中重度低氧血症风险列线图模型的建立

通过单变量和多变量 Logistic 回归分析确定了 BMI、手术时长以及 PCT 水平均被认定为风险因素（表 2）。随后建立了包含这些预测因子的模型，并以列线图的形式展示（图 1）。每个预测因子的分数根据列线图上的特定刻度标定，与其相应的风险因素相关联。这些分数的总和产生一个总分，用于估计低氧血症发生的可能性。总分范围为 0 到 160，相关风险水平从 0.1 到 0.9 不等。本质上，较高的总分表示微创瓣膜术后患者有更高的低氧血症风险。

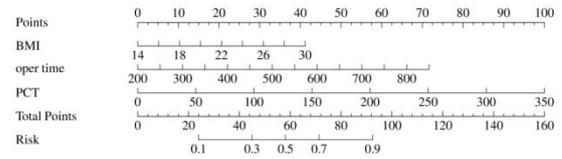


图 1 列线图

2.4 列线图的验证

在这项研究中，列线图在训练集的 AUC 值为 0.71（95% CI: 0.62-0.80）（如图 2A 所示），在验证集的 AUC 为 0.73（95% CI: 0.57-0.89）（如图 2B 所示），表明模型具有中等的区分能力。校准曲线显示预测概率与实际观察值拟合良好，曲线与理想线（对角线）较为接近，提示模型具有较高的预测一致性（图 3A、3B）。通过 Hosmer-Lemeshow (HL) 检验，训练集的卡方值为 8.45，验证集的卡方值为 4.91，P 值分别为 0.39 和 0.77，表明模型的拟合良好。此外，DCA 分析强调了列线图在不同概率阈值下对发生低氧血症风险的临床预测价值（图 4A 和 4B）。

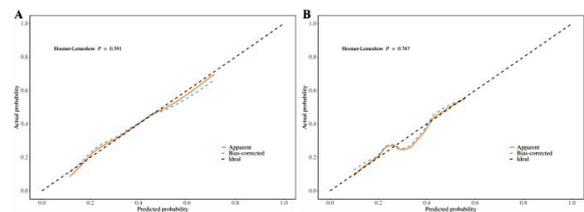


图 2 模型的预测性能。训练队列（A）中的受试者工作特征（ROC）曲线图；验证队列（B）中的 ROC 曲线图；AUC，ROC 下的面积。

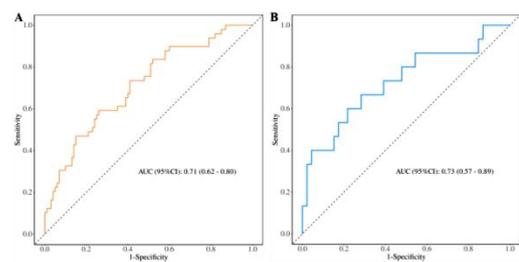


图 3 训练及验证队列的校准曲线图。（A）为训练队列；（B）为验证队列。

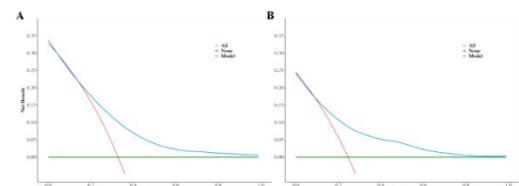


图 4 训练队列（A）和验证队列（B）对微创瓣膜术后患者低氧血症发生风险的决策曲线分析

3 讨论

低氧血症是微创瓣膜术后较常见且潜在危害较大的并发症, 早期识别高危患者对于改善预后至关重要。本研究通过单变量和多变量 Logistic 回归分析, 确定了 BMI 以及手术时长以及降钙素原 (PCT) 水平可作为术后低氧血症的独立预测因素。

已有多项研究表明, BMI 与术后低氧血症之间存在显著关联, 并且较高的 BMI 是术后低氧血症的独立危险因素^[9-11]。例如, 一项对 88 名斯坦福 A 型急性主动脉夹层患者的研究分析发现, BMI 升高是斯坦福 A 型急性主动脉夹层患者术后低氧血症的危险因素^[12]。类似结果也在其他研究中得到证实^[13-14]。本研究发现 BMI 是预测低氧血症的重要因素, 与以上研究结论一致, 提示 BMI 在术前评估中具有重要预测价值。其机制可能与肥胖患者在手术过程中和术后恢复期间的生理变化有关, 如肺功能受限、通气不足等^[15]。此外, 有研究指出随着肥胖患者脂肪组织的扩张, 脂肪细胞与血管之间的距离增加, 降低了氧气张力, 导致低氧, 低于生理水平的氧气促进了肥大脂肪细胞分泌促炎细胞因子和脂肪因子。肥大的脂肪细胞可以长到 150—200 μm 的直径, 超过了 100—200 μm 的典型氧气扩散极限, 因此肥胖成为多种疾病状态下低氧的危险因素之一^[16]。因此, 在术前规划与术后管理中, 应对 BMI 较高的患者的监测, 以降低术后低氧血症的风险并及早干预高危患者。

手术时长与心脏术后低氧血症之间存在一定的关联。在胸腔镜心脏手术中, 体外循环 (CPB) 后单肺通气 (OLV) 期间发生低氧血症的危险因素分析显示, 手术时长是影响低氧血症发生的一个重要因素^[17]。在一项纳入 3,853 名心脏瓣膜手术患者的研究中, 经过多因素 logistic 回归分析, 确定 7 个因素与术后重度低氧血症 的发生显著相关, 包括 BMI、CPOD、肾功能不全、WBC 计数、血清球蛋白、手术类型和 CPB 时间^[18]。此外, 在冠状动脉旁路移植术 (CABG) 相关研究中也提出, 手术时间延长是导致术后低氧血症的高危因素之一^[19]。本研究结果显示, 手术时间越长, 术后发生低氧血症的风险越高, 提示在微创瓣膜术中, 长时间的胸腔镜操作及单肺通气可能干扰术后肺功能的恢复。然而, 尽管部分研究将 CPB 时间视为影响因素之一, 但在本研究中两组患者间 CPB 时间差异不具有统计学意义, 提示该因素在微创路径下的作用仍待进一步探讨。

降钙素原 (PCT) 是一种在感染和炎症状态下由甲状腺旁腺细胞分泌的蛋白质, PCT 水平常用于作为全身炎症反应和感染的标志物^[20], 有研究表明在心脏直视手术后, PCT 水平的升高与并发症的发生率、机械通气时间、ICU 留治时间及病死率呈正相关^[21]。PCT 和痰涂片联合应用有助于

Stanford A 型主动脉夹层手术后呼吸机相关性肺炎的早期诊断^[22]。术后感染或炎症状态可能引发全身性的代谢改变, 影响患者的氧合能力, 因此在该研究中 PCT 的升高被认为是术后低氧血症的潜在预测因子。

本研究构建的预测模型在训练集和验证集中均表现出良好的预测能力, 训练组的 AUC 值为 0.71, 验证组为 0.73, 表明模型具有中等的区分能力。校准曲线显示模型预测概率与实际发生率拟合良好, Hosmer-Lemeshow 检验亦支持模型拟合度较高。此外, 进一步的 DCA 表明, 该模型在不同风险阈值下均具有较高的净收益, 具备一定的临床应用价值, 具有用于辅助术后低氧高风险患者的早期识别与干预的潜力。然而, 本研究也存在一定的局限性。首先, 本研究是单中心回顾性分析, 还需要进一步通过多中心、大样本的前瞻性研究来验证本模型的普适性和外部有效性。此外, 虽然模型展示了良好的预测能力, 但由于数据样本较小, 模型仍需进一步优化, 未来可结合更多的生物标志物进行深入研究, 以提高其预测精度。

总之, 本研究开发的模型为微创瓣膜患者术后低氧血症的风险预测提供了一定的帮助, 能够识别高风险患者, 采取早期干预措施, 减少术后低氧血症的发生率。

【参考文献】

- [1]BECKMANN A, MEYER R, LEWANDOWSKI J, et al. German Heart Surgery Report 2022: The Annual Updated Registry of the German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery[J]. Thorac Cardiovasc Surg, 2023,71(5):340-355.
- [2]HUA K, ZHAO Y, DONG R, et al. Minimally Invasive Cardiac Surgery in China: Multi-Center Experience[J]. Med Sci Monit, 2018,24:421-426.
- [3]HA B, USMAN A A, AUGUSTIDES J G. Minimally Invasive Cardiac Surgery—Identifying Opportunities for Further Improvement in the Quality of Postoperative Patient Recovery[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2020,34(12):3231-3233.
- [4]KEYL C, SIEPE M. Unilateral lung injury after minimally invasive cardiac surgery: more questions than answers[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2016,49(2):505-506.
- [5]ZUBAIR M H, SMITH J M. Updates in Minimally Invasive Cardiac Surgery for General Surgeons[J]. Surg Clin North Am, 2017,97(4):889-898.
- [6]IRISAWA Y, HIRAOKA A, TOTSUGAWA T, et al. Re-expansion pulmonary oedema after minimally invasive cardiac surgery with right mini-thoracotomy[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2016,49(2):500-505.

- [7]TAMURA T, ITO T, YOKOTA S, et al. Incidence of reexpansion pulmonary edema in minimally invasive cardiac surgery[J]. Nagoya J Med Sci, 2019,81(4):647-654.
- [8]Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition. JAMA. 2012. 307(23): 2526-33.
- [9]Song XC, Nie S, Xiao JL, et al. Risk factors and long-term prognosis for postoperative hypoxemia in patients with acute type A aortic dissection: A retrospective observational study. Medicine (Baltimore). 2022. 101(50): e32337.
- [10]Wang D, Ding X, Su Y, et al. Incidence, Risk Factors, and Outcomes of Severe Hypoxemia After Cardiac Surgery. Front Cardiovasc Med. 2022. 9: 934533.
- [11]Luo X, Ying Y, Yin L, Chang P. Analysis of risk factors for hypoxemia in PACU for patients undergoing thoracoscopic lung cancer resection based on logistic regression model. BMC Anesthesiol. 2025. 25(1): 174.
- [12]Wang X, Ma J, Lin D, et al. The risk factors of postoperative hypoxemia in patients with Stanford type A acute aortic dissection. Medicine (Baltimore). 2023. 102(33): e34704.
- [13]YU W, LIANG Y, GAO J, et al. Study on risk factors and treatment strategies of hypoxemia after acute type a aortic dissection surgery[J]. J Cardiothorac Surg, 2024,19(1):273.
- [14]SHENG W, LE S, SONG Y, et al. Preoperative Nomogram and Risk Calculator for Postoperative Hypoxemia and Related Clinical Outcomes Following Stanford Type A Acute Aortic Dissection Surgery[J]. Front Cardiovasc Med, 2022,9:851447.
- [15]张瑛杰, 韩劲松, 孙彪, 等. 肥胖患者行非体外循环冠状动脉旁路移植术后低氧血症危险因素分析[J]. 中国心血管病研究, 2022,20(10):908-913.
- [16]MIRABELLI M, MISITI R, SICILIA L, et al. Hypoxia in Human Obesity: New Insights from Inflammation towards Insulin Resistance—A Narrative Review[J]. Int J Mol Sci, 2024,25(18)
- [17]江雪艳, 丁士骞, 姜兆磊, 等. 微创冠状动脉旁路移植术后早期严重低氧血症的高危因素研究[J]. 中国心血管病研究, 2022,20(10):904-907.
- [18]DING X, CHENG D, SUN B, et al. Nomogram and risk calculator for severe hypoxemia after heart valve surgery[J]. Front Cardiovasc Med, 2022,9:972449.
- [19]张良燕, 唐帅, 张秀华, 等. 麻醉后恢复室患者低氧血症发生率及高危因素的回溯性分析[J]. 基础医学与临床, 2020,40(09):1242-1246.
- [20]SCHUETZ P, BEISHUIZEN A, BROYLES M, et al. Procalcitonin (PCT)-guided antibiotic stewardship: an international experts consensus on optimized clinical use[J]. Clin Chem Lab Med, 2019,57(9):1308-1318.
- [21]李小芳, 曹永科, 程国栋, 等. 降钙素原对心脏直视手术预后的评估价值[J]. 中国临床研究, 2016,29(04):469-471+475.
- [22]DENG H, WU X, PENG B. Early Predictive Value of Infectious Markers for Ventilator-associated Pneumonia after Stanford Type A Aortic Dissection Surgery[J]. Rev Cardiovasc Med, 2025,26(2):26002.

作者简介:

高翔 (1997-), 男, 汉族, 湖北随州, 硕士研究生, 广西医科大学第一附属医院, 住院医师, 研究方向为肺癌、食管癌、心脏大血管基础与临床研究。

基金项目:

广西壮族自治区卫生健康委员会自筹经费科研课题 (Z-A20220468)。