

DOI:10. 12138/j. issn. 1671—9638. 20256898

· 论 著 ·

肺移植受者术后医院感染 Nomogram 预测模型的构建与验证

仇桑桑¹, 许琴芬¹, 邵君飞², 黄琴红¹, 吴波³, 胡春晓³, 陈静瑜^{3,4}

(1. 南京医科大学无锡医学中心 无锡市人民医院 南京医科大学附属无锡人民医院感染管理处, 江苏 无锡 214023; 2. 南京医科大学无锡医学中心 无锡市人民医院 南京医科大学附属无锡人民医院院长室, 江苏 无锡 214023; 3. 南京医科大学无锡医学中心 无锡市人民医院 南京医科大学附属无锡人民医院肺移植中心, 江苏 无锡 214023; 4. 浙江大学医学院附属第二医院肺移植科, 浙江 杭州 310009)

[摘 要] 目的 探讨肺移植受者(LTRs)术后医院感染发生的危险因素, 构建列线图(nomogram)预测模型。方法 回顾性分析 2019 年 1 月—2023 年 12 月无锡市人民医院接受肺移植手术的患者临床资料, 分为训练集($n=506$)和验证集($n=218$)。通过 LASSO 回归筛选独立危险因素, 纳入多因素 logistic 回归, 构建 nomogram 预测模型。采用受试者工作特征(ROC)曲线、Hosmer-Lemeshow 拟合优度和决策曲线评价模型区分度、校准度和临床适用度。结果 共 506 例 LTRs, 201 例发生医院感染, 发病率为 39.72%。感染部位以下呼吸道为主, 病原体以革兰阴性杆菌(鲍曼不动杆菌)为主。最终筛选出年龄大、使用体外膜肺氧合(ECMO)、双肺移植、手术时长>3 h、连续发热日数长、血常规异常次数多和联合使用抗菌药物日数长为肺移植术后医院感染的独立危险因素。ROC 曲线分析结果显示, 训练集的曲线下面积(AUC)为 0.74(95%CI:0.70~0.78), 验证集为 0.71(95%CI:0.64~0.78)。Hosmer-Lemeshow 测试结果显示, 预测的医院感染概率和实际医院感染概率间差异无统计学意义($P>0.05$)。临床决策曲线结果表明, 模型在 7%~71%的阈值概率值下具临床收益。结论 本研究构建的 nomogram 预测模型可有效评估 LTRs 术后感染风险, 模型稳定, 具有较高的临床应用价值, 可为术后感染防控提供科学参考。

[关 键 词] 肺移植受者; 手术后感染; 医院感染; nomogram 预测模型; LASSO 回归; 多因素 logistic 回归; 预测模型验证

[中国分类号] R181.3⁺2

Construction and validation of nomogram predictive model for postoperative healthcare-associated infection in lung transplant recipients

QIU Sangsang¹, XU Qinfen¹, SHAO Junfei², HUANG Qin hong¹, WU Bo³, HU Chunxiao³, CHEN Jingyu^{3,4}(1. Department of Infection Management, Wuxi Medical Center of Nanjing Medical University, Wuxi People's Hospital, The Affiliated Wuxi People's Hospital of Nanjing Medical University, Wuxi 214023, China; 2. Office of the Hospital Director, Wuxi Medical Center of Nanjing Medical University, Wuxi People's Hospital, The Affiliated Wuxi People's Hospital of Nanjing Medical University, Wuxi 214023, China; 3. Center for Lung Transplantation, Wuxi Medical Center of Nanjing Medical University, Wuxi People's Hospital, The Affiliated Wuxi People's Hospital of Nanjing Medical University, Wuxi 214023, China; 4. Department of Lung Transplantation, The Second Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310009, China)

[Abstract] Objective To explore the risk factors for healthcare-associated infection (HAI) in lung transplant re-

[收稿日期] 2024-08-20

[基金项目] 江苏省科技重点研发计划社会发展基金项目(BE2022697);江苏省医院协会医院管理创新研究基金项目(JSYGY3-2023-326)

[作者简介] 仇桑桑(1989-),女(汉族),江苏省无锡市人,主治医师,主要从事医院感染管理及耐药菌感染控制研究。

[通信作者] 许琴芬 E-mail: 840800600@qq.com

cipients (LTRs), and construct a predictive nomogram model. **Methods** Clinical data of patients who underwent lung transplant in Wuxi People's Hospital from January 2019 to December 2023 were analyzed retrospectively. The patients were divided into a training set ($n = 506$) and a validation set ($n = 218$). Independent risk factors were screened through LASSO regression, and multivariate logistic regression was included to construct a nomogram prediction model. The discrimination, calibration, and clinical applicability of the model were evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curves, *Hosmer-Lemeshow* goodness-of-fit, and decision curves. **Results** Among the 506 LTRs, 201 developed HAIs, with an incidence of 39.72%. The major infection site was lower respiratory tract, and the major pathogen were Gram-negative bacilli (*Acinetobacter baumannii*). Older age, use of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO), double-lung transplant, surgery duration >3 hours, long duration of continuous fever, frequent abnormal blood routine examination, and long duration of combined use of antimicrobial agents were identified as independent risk factors for HAI after lung transplant. The ROC curve analysis results showed that the areas under the curve (AUCs) of the training set and the validation set were 0.74 (95%CI: 0.70–0.78) and 0.71 (95%CI: 0.64–0.78), respectively. The *Hosmer-Lemeshow* test results showed that there was no statistically significant difference between the predictive and actual probability of HAI ($P>0.05$). The clinical decision curve results indicated that the model had clinical benefits at a threshold probability value of 7%–71%. **Conclusion** The nomogram prediction model constructed in this study can effectively evaluate the risk of postoperative infection in LTRs. The model is stable and has high clinical application value, providing scientific reference for postoperative infection prevention and control.

[**Key words**] lung transplant recipient; postoperative infection; healthcare-associated infection; nomogram predictive model; LASSO regression; multivariate logistic regression; predictive model validation

肺移植(lung transplant, LT)是终末期肺病的最佳治疗手段,广泛应用于慢性阻塞性肺疾病、特发性肺纤维化和囊性纤维化等疾病^[1]。尽管 LT 可显著提高患者生存率并改善其生活质量,但术后感染和慢性肺移植功能障碍依然是影响术后肺移植受者(lung transplant recipients, LTRs)长期生存的重要因素^[2]。

LT 术后早期医院感染的风险较高,主要归因于长期免疫抑制治疗、机械通气支持以及侵入性操作等^[3]。感染的发生不仅延长住院时间,增加医疗费用,还显著提高并发症和死亡风险^[4-5]。因此,建立有效的预测模型用于评估 LT 术后医院感染风险,帮助临床医生早期识别高危患者、制定个性化防控措施,具有重要的临床意义。

目前,虽然已有多种方法用于评估医院感染的风险,但仍存在模型复杂、临床应用困难等局限性^[6-7]。列线图(nomogram)作为一种基于统计回归模型的图形化工具,因其直观性和实用性,广泛应用于个体化风险预测^[8-9]。

本研究旨在基于回顾性数据,构建一个预测 LTRs 术后医院感染风险的 nomogram 模型,为临床提供有效的参考工具。

1 对象与方法

1.1 研究对象 本研究选择 2019 年 1 月—2023

年 12 月在无锡市人民医院肺移植中心接受 LT 手术的 812 例 LTRs 作为研究对象。纳入标准:(1)术前未发生感染或无感染征;(2)感染观察期为术后 30 d,包括出院后随访。(3)年龄 >16 周岁。排除标准:(1)术后 48 h 内发生感染;(2)病历资料不完整。最终纳入 724 例 LTRs 数据用于模型构建及验证,按 7:3 比例随机划分,分别归入训练集($n = 506$)和验证集($n = 218$)(图 1)。本研究经南京医科大学附属无锡人民医院伦理委员会审批通过(批号:KY24136)。

1.2 医院感染的判定 感染组患者的诊断符合《医院感染诊断标准(2001 版)》^[10]相关标准,且必须病原菌培养阳性。每例医院感染判定均由医院感染管理专职人员与临床医生实时沟通并共同确认。

1.3 资料收集 从杏林医院感染实时监控系统中提取所有研究对象的临床资料,包括年龄、性别、术前肺纤维化、住院日数、术后住院日数、手术方式、手术时间、体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)使用、术后发热时间、供体气管咽拭子培养、联合使用抗菌药物日数、血常规异常次数、降钙素原异常次数、尿常规异常次数、呼吸机使用日数、中心静脉插管日数、导尿管插管日数。所有连续性变量均计算至患者发生医院感染日期以前。

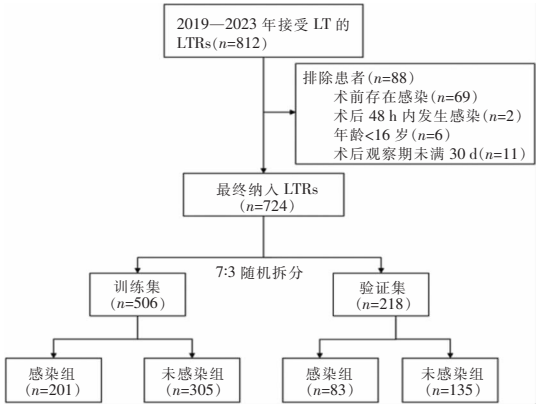


图 1 研究对象筛选流程图

Figure 1 Screening flow chat of the studied objects

1.4 统计分析 应用 R 软件 4.2.1 建立数据库并进行统计分析。计量资料以中位数(四分位数)[$M(P_{25}, P_{75})$]表示, 组间比较采用 *Mann-Whitney U*

检验。计数资料以例(%)表示, 组间比较采用 χ^2 检验。采用最小绝对收缩和选择算子(LASSO)回归筛选医院感染发生的危险因素; 将筛选出的危险因素纳入多因素 logistic 回归分析, 构建医院感染 nomogram 预测模型。采用受试者工作特征(ROC)曲线评价模型的区分度。采用 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验评价模型的校准度, 并绘制校准曲线。绘制预测模型临床决策曲线以评估模型的临床适用度。 $P \leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况 训练集与验证集 LTRs 在医院感染、年龄、性别、肺纤维化方面比较, 差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。见表 1。

表 1 训练集和验证集 LTRs 一般资料比较

Table 1 Comparison of general information between the training set and validation set of LTRs

变量	全体 (n = 724)	训练集 (n = 506)	验证集 (n = 218)	χ^2/U	P
年龄[M (P_{25}, P_{75}), 岁]	56.00(47.00, 63.00)	54.00(46.25, 63.00)	57.00(48.00, 64.00)	56.409.016	0.627
性别[例(%)]				0.366	0.545
女	141(19.48)	102(20.16)	39(17.89)		
男	583(80.52)	404(79.84)	179(82.11)		
肺纤维化[例(%)]				0.843	0.359
否	468(64.64)	333(65.81)	135(61.93)		
是	256(35.36)	173(34.19)	83(38.07)		
医院感染[例(%)]				0.112	0.738
否	440(60.77)	305(60.28)	135(61.93)		
是	284(39.23)	201(39.72)	83(38.07)		

2.2 医院感染发生情况 训练集中 506 例患者共发生 201 例医院感染, 医院感染发病率为 39.72%。感染部位中, 91.54% 为下呼吸道感染, 其中 72.14% 为肺部感染, 19.40% 为呼吸机相关肺炎(VAP)。血流感染发病率为 4.98%, 其中 3.98% 为败血症, 1.00% 为导管相关血流感染(CLABSI)。手术部位感染发病率为 2.49%, 其中 1.49% 为表浅切口感染, 1.00% 为器官腔隙感染。此外, 1.00% 的患者出现其他部位感染。共检出医院感染病原体 223 株, 不同感染部位医院感染病原体分布情况见表 2。

2.3 LASSO 回归筛选变量 应用 R 软件中的 glmnet 包对 15 个变量(年龄、住院日数、术后住院

日数、手术方式、手术时长、ECMO 使用、术后发热时间、咽拭子培养、联合使用抗菌药物日数、血常规异常次数、降钙素原异常次数、尿管常规异常次数、呼吸机使用时间、中心静脉插管日数、导尿管插管日数)进行 LASSO 回归筛选, 并进行 10 重交叉验证。在保证拟合度的同时纳入最少变量, 以得到最精简的预测模型, 因此本研究选取 lambda.1se 作为最佳 λ 值, 经 LASSO 回归筛选后的变量分别是年龄、ECMO 使用、手术方式、手术时长、咽拭子培养、血常规异常次数、降钙素原异常次数、连续发热日数、联合使用抗菌药物日数、中心静脉插管日数(图 2)。

表 2 不同感染部位医院感染病原体分布情况[株(%)]

Table 2 Distribution of HAI pathogens in different infection sites (No. of isolates [%])

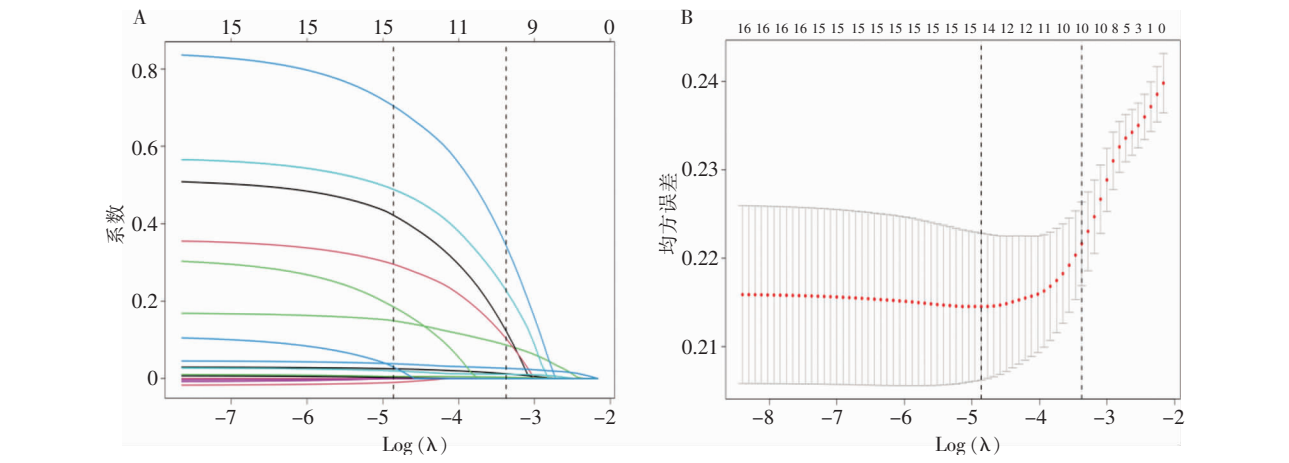
病原菌	下呼吸道	血液	手术部位	其他部位
革兰阴性菌	184(82.51)	3(1.34)	2(0.90)	2(0.90)
鲍曼不动杆菌	77(34.53)	1(0.45)	2(0.90)	0(0)
铜绿假单胞菌	35(15.69)	1(0.45)	0(0)	0(0)
肺炎克雷伯菌	29(13.00)	1(0.45)	0(0)	0(0)
嗜麦芽窄食单胞菌	27(12.10)	0(0)	0(0)	1(0.45)
黏质沙雷菌	3(1.34)	0(0)	0(0)	0(0)
大肠埃希菌	3(1.34)	0(0)	0(0)	0(0)
奇异变形杆菌	2(0.90)	0(0)	0(0)	1(0.45)
其他	8(3.59)	0(0)	0(0)	0(0)
革兰阳性菌	11(4.93)	6(2.69)	3(1.34)	0(0)
金黄色葡萄球菌	5(2.24)	2(0.90)	2(0.90)	0(0)
凝固酶阴性葡萄球菌	0(0)	3(1.34)	0(0)	0(0)
屎肠球菌	1(0.45)	0(0)	1(0.45)	0(0)
粪肠球菌	1(0.45)	1(0.45)	0(0)	0(0)
按蚊伊丽莎白金菌	2(0.90)	0(0)	0(0)	0(0)
其他	2(0.90)	0(0)	0(0)	0(0)
真菌	11(4.93)	1(0.45)	0(0)	0(0)
白念珠菌	3(1.34)	1(0.45)	0(0)	0(0)
曲霉	3(1.34)	0(0)	0(0)	0(0)
热带念珠菌	2(0.90)	0(0)	0(0)	0(0)
光滑念珠菌	2(0.90)	0(0)	0(0)	0(0)
近平滑念珠菌	1(0.45)	0(0)	0(0)	0(0)
合计	206(92.38)	10(4.48)	5(2.24)	2(0.90)

2.4 预测模型构建 以是否发生医院感染为因变量,以 LASSO 回归筛选出的 10 个预测变量为自变量进行多因素 logistic 回归分析,采用 Backward 法建立模型。结果显示,年龄大、连续发热日数长、使用 ECMO、双肺移植、手术时长>3 h、血常规异常次数多和联合使用抗菌药物日数长为 LTRs 发生医院感染的独立危险因素(均 $P<0.05$),见表 3。应用 rms 包绘制 nomogram 图(图 3),并直观地评估患者术后发生医院感染的风险。每个患者的相关危险因素在顶端分数线上取值,通过垂直线下拉对应各自的得分,所有因素得分相加得出总分,在总分线对应的风险刻度上读取患者发生医院感染的概率。

2.5 预测模型验证 分别采用训练集和验证集对该模型进行内部评价和验证。

2.5.1 区分度评价 应用 R 软件中的 pROC 包绘制 ROC 曲线以评估模型的区分度,结果显示,训练集曲线下面积(area under the curve, AUC)为 0.74(95%CI:0.70~0.78),灵敏度为 70.13%,特异度为 69.20%(图 4A);验证集 AUC 为 0.71(95%CI:0.64~0.78),灵敏度为 78.27%,特异度为 57.84%(图 4B),提示模型能较好地区分发生医院感染与非医院感染的 LTRs。

2.5.2 校准度评价 应用 R 软件中的 rms 包进行 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验评价模型校准度,绘制校准曲线。检验结果显示,训练集 $P=0.980$,验证集 $P=0.326$,模型的拟合度良好,同时与理想曲线相差较小(图 5)。此外,Brier 评分训练集为 0.20,验证集为 0.21,均<0.25,表示模型的预测能力较强。



注:A 为 $\log(\lambda)$ 值 LASSO 回归系数,B 为 $\log(\lambda)$ 值与模型误差,2 条虚线分别表示 $\lambda_{\min}$ 及 λ_{1se} , $\lambda_{\min}$ 表示模型误差最小时的 λ 值, λ_{1se} 表示模型减去一个标准误差范围内的 λ 值。

图 2 LASSO 回归危险因素变量筛选

Figure 2 Variable screening for LASSO regression risk factors

表 3 LTRs 发生医院感染的多因素 logistic 回归分析
Table 3 Multivariate logistic regression analysis on HAI in LTRs

预测变量	β	S_b	OR(95%CI)	Z	P
年龄(岁)	0.031	0.008	1.031(1.016~1.047)	4.068	<0.001
连续发热日数	0.167	0.062	1.181(1.050~1.338)	2.715	0.007
使用 ECMO	0.856	0.209	2.354(1.568~3.567)	4.089	<0.001
手术方式为双肺移植	0.593	0.221	1.809(1.178~2.802)	2.687	0.007
手术时长>3 h	0.544	0.242	1.722(1.076~2.785)	2.247	0.025
血常规异常次数	0.042	0.015	1.042(1.013~1.074)	2.847	0.004
联合使用抗菌药物日数	0.008	0.003	1.008(1.001~1.014)	2.324	0.020
咽拭子培养阳性	0.390	0.208	1.477(0.982~2.222)	1.877	0.061

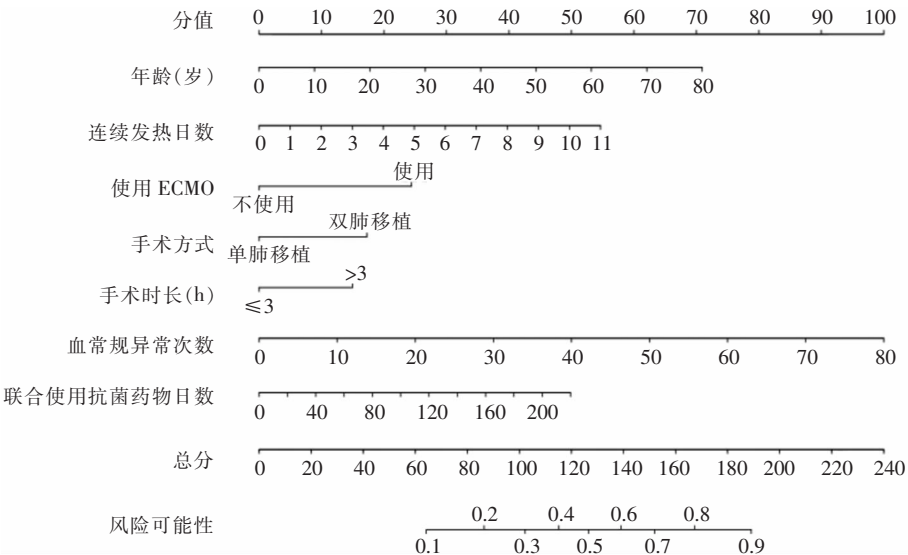
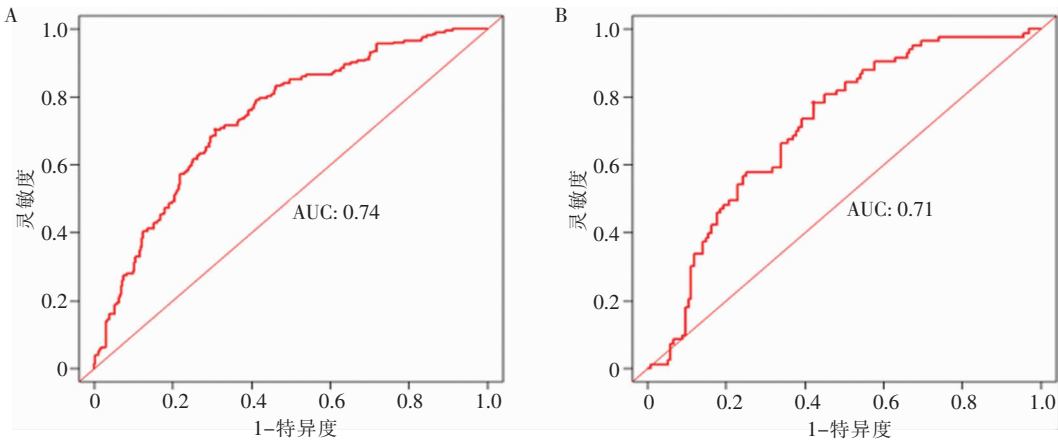
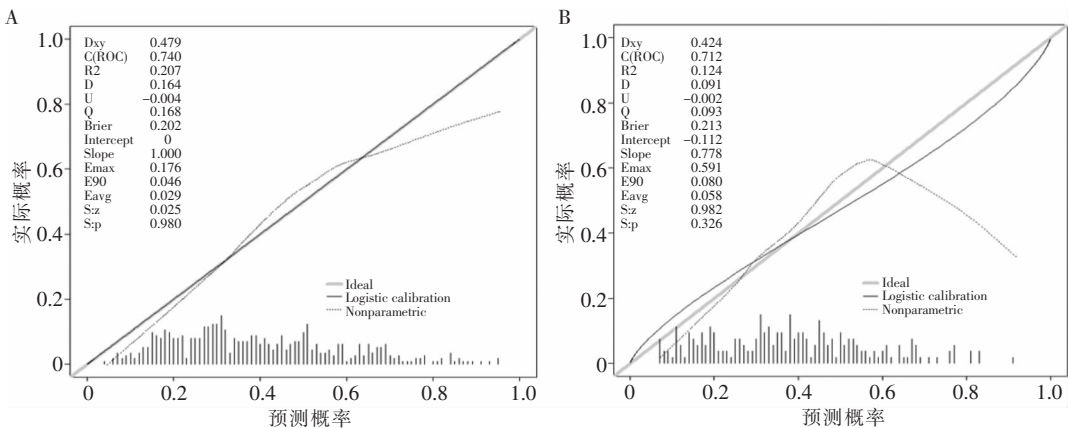


图 3 LTRs 医院感染风险 nomogram 图
Figure 3 Nomogram prediction model for HAI risk in LTRs



注:A 为训练集,B 为验证集。

图 4 LTRs 医院感染预测模型 ROC 曲线
Figure 4 ROC curve of prediction model for HAI in LTRs



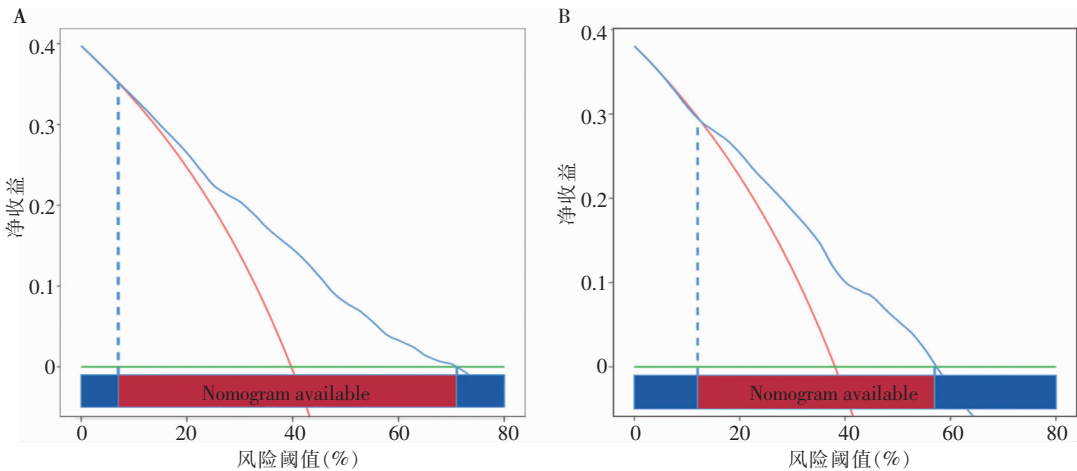
注:A 为训练集,B 为验证集。

图 5 LTRs 医院感染预测模型校准曲线

Figure 5 Calibration curve of prediction model for HAI in LTRs

2.5.3 临床决策评价 应用 R 软件中的 rmda 包绘制临床决策曲线,以评估模型的临床适用度。结果显示,训练集临界概率值在 7%~71% 区域内,验

证集临界概率值在 12%~58% 区域内,使用该模型的 LTRs 可获得较高的临床收益和临床应用价值(图 6)。



注:A 为训练集,B 为验证集。

图 6 LTRs 医院感染预测模型决策曲线

Figure 6 Decision curve of prediction model for HAI in LTRs

3 讨论

医院感染是全球范围内的重要公共卫生问题,全球住院患者的医院感染发病率为 5%~15%,这一数值在不同国家和地区有所差异^[11-12],而在实体器官移植患者中,尤其是 LT 患者中,其医院感染发病率远高于一般住院人群^[2]。根据国际心肺移植协会(International Society for Heart and Lung Transplantation, ISHLT)的数据,LT 术后感染是 LTRs 术后 30 d~1 年的主要死亡原因,占 35%^[13]。术后感染发病率约为 70%,其中肺是主要感染部位^[14]。

中国肺脏移植注册系统(China Lung Transplant Registry, CLTR)显示,LTRs 术后感染发病率约为 68.3%^[15]。

LTRs 术后感染的高风险主要有以下几个因素^[16-19]:(1)肺暴露在外环境中,感染风险大幅提升;(2)长期免疫抑制治疗,降低患者免疫防御能力;(3)机械通气支持带来 VAP 风险;(4)气道自体屏障受损,导致病原体易于定植;(5)抗菌药物耐药性(AMR)增加,使得治疗难度和复杂性上升。

在排除了术前已存在的感染病例以及术后仅有临床诊断但缺乏病原学依据的病例后,本研究 506 例 LTRs 中,共 201 例发生医院感染,医院感染发病

率为 39.72%。在 2019 年以后的新型冠状(新冠)病毒感染疫情期间,公立医院强化了多方面的感染控制措施,包括严格的个人防护用品(PPE)使用、环境消毒、空气质量监控、访客限制及隔离管理等,不仅有效遏制了新冠病毒的传播,还减少了其他病原体的医院内传播^[20-21]。LTRs 不同感染部位分离的医院感染病原体前三位分别为鲍曼不动杆菌、铜绿假单胞菌和肺炎克雷伯菌,与国内外相关研究^[20]结果一致。

本研究通过 LASSO 回归和 logistic 回归,筛选出年龄大、连续发热日数长、使用 ECMO、双肺移植、手术时长>3 h、血常规异常次数多和联合使用抗菌药物日数长等独立危险因素,反映了患者体质、手术复杂性和术后管理对感染的影响。基于这些因素构建的 nomogram 模型具有较好的预测能力。临床医生可以根据患者的特征计算其感染风险,从而制定个性化的治疗方案^[22]。年龄大是 LT 术后感染的独立危险因素($OR = 1.031, 95\%CI: 1.016 \sim 1.047, P < 0.001$),在老年患者中尤其显著。患者随着年龄增长,免疫功能减弱,器官功能衰退,对手术创伤和感染的耐受性下降,导致感染风险增加。研究^[23]表明,老年患者术后更易发生下呼吸道和血流感染。连续发热日数反映了体内长期的炎症反应,是 LT 术后感染的独立危险因素($OR = 1.181, 95\%CI: 1.050 \sim 1.338, P < 0.05$)。LTRs 由于长期使用免疫抑制药物,病原体清除能力下降,可能导致与严重细菌或真菌感染相关的长时间发热,提示潜在合并感染及多重耐药菌感染^[24-25]。ECMO 的使用显著增加了术后感染风险($OR = 2.354, 95\%CI: 1.568 \sim 3.567, P < 0.05$)。ECMO 在处理心肺功能不全时发挥关键作用,但也带来感染风险,如置入大口径导管增加了细菌入侵机会,延长重症监护病房住院及机械通气时间,降低了抗感染效果^[26]。尽管有研究^[27]指出 ECMO 在手术期间替代心肺旁路(CPB)能改善短期结果,其感染风险仍需权衡。序贯式双肺移植是国际公认的最常用手术方式,其手术复杂性增加了感染风险($OR = 1.809, 95\%CI: 1.178 \sim 2.802, P < 0.05$)。手术涉及多个气管吻合口和较长的手术时间,术后对免疫抑制药物的高需求也进一步提高了感染概率^[28-30]。手术时间延长亦是独立危险因素($OR = 1.722, 95\%CI: 1.076 \sim 2.785, P < 0.05$),暴露时间延长增加了感染源侵入的机会,复杂手术操作也增加了术后并发症风险^[17]。血常规异常提示患者的高应激状态和免疫反应不足,血常规异常次数多增加感染风险($OR = 1.042, 95\%CI: 1.013 \sim 1.074,$

$P < 0.05$)^[31]。

联合抗菌药物使用日数延长也显著增加多重耐药菌感染的机会($OR = 1.008, 95\%CI: 1.001 \sim 1.014, P < 0.05$)。过度使用抗菌药物破坏正常菌群,导致耐药菌定植。术前主动筛查,使用精准的病原体检测技术如宏基因组测序(mNGS)可减少不必要的抗菌药物使用,降低耐药菌感染风险^[32]。

本研究存在一定局限性。首先,数据来自单一医院和华东地区,影响其外推性和适用性;其次,仅涵盖术后早期感染,未能反映术后数月或一年后的感染情况;第三,模型未在外部数据集中验证,其普适性和稳健性尚需进一步研究。

综上所述,本研究基于 LASSO 和 logistic 回归模型构建的 nomogram 预测模型区分度和校准度良好,能够有效预测 LT 术后感染风险,具有应用价值。未来研究应基于多中心和大样本进行验证,以提高模型的稳健性和应用广度,从而为临床实践提供可靠支持。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

[参 考 文 献]

- [1] von Dossow V, Costa J, D'Ovidio F, et al. Worldwide trends in heart and lung transplantation: guarding the most precious gift ever[J]. Best Pract Res Clin Anaesthesiol, 2017, 31(2): 141 - 152.
- [2] Dettori M, Riccardi N, Canetti D, et al. Infections in lung transplanted patients: a review[J]. Pulmonology, 2024, 30(3): 287 - 304.
- [3] Huh K, Jeong SJ, Kim YJ, et al. Nationwide survey of infection prevention protocols in solid organ transplantation in South Korea[J]. Korean J Transplant, 2022, 36(3): 212 - 220.
- [4] Hu CX, Chen WH, He JX, et al. Lung transplantation in China between 2015 and 2018[J]. Chin Med J (Engl), 2019, 132(23): 2783 - 2789.
- [5] 阎颖, 张泉然, 王亚莉, 等. 中国肾移植受术术后医院感染危险因素文献的方法学与报告质量评价[J]. 中国感染控制杂志, 2020, 19(4): 328 - 334.
Yan Y, Zhang XR, Wang YL, et al. Methodology and report quality evaluation on risk factors for healthcare-associated infection after renal transplant in China[J]. Chinese Journal of Infection Control, 2020, 19(4): 328 - 334.
- [6] Huang JF, Lin JS, Zheng ZW, et al. Risk factors and prognosis of airway complications in lung transplant recipients: a systematic review and Meta-analysis[J]. J Heart Lung Transplant, 2023, 42(9): 1251 - 1260.
- [7] Moraes JLS, Oliveira RA, Samano MN, et al. A retrospective cohort study of risk factors for surgical site infection following

- lung transplant[J]. *Prog Transplant*, 2020, 30(4): 329–334.
- [8] Park SY. Nomogram: an analogue tool to deliver digital knowledge[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2018, 155(4): 1793.
- [9] van Smeden M, Reitsma JB, Riley RD, et al. Clinical prediction models: diagnosis versus prognosis[J]. *J Clin Epidemiol*, 2021, 132: 142–145.
- [10] 中华人民共和国卫生部. 医院感染诊断标准(试行)[J]. *中华医学杂志*, 2001, 81(5): 314–320.
Ministry of Health of the People's Republic of China. Diagnostic criteria for nosocomial infections (Proposed) [J]. *National Medical Journal of China*, 2001, 81(5): 314–320.
- [11] World Health Organization. Improving infection prevention and control at the health facility: interim practical manual supporting implementation of the WHO guidelines on core components of infection prevention and control programmes[M]. (2019–01–22) [2024–06–22]. <https://iris.who.int/handle/10665/279788>.
- [12] 白舸, 王砚丽, 刘瑞芳, 等. 综合医院感染控制联络护士的职责及相关影响因素[J]. *中国感染控制杂志*, 2024, 23(2): 242–249.
Bai G, Wang YL, Liu RF, et al. Responsibilities and influencing factors of infection control liaison nurses in general hospitals[J]. *Chinese Journal of Infection Control*, 2024, 23(2): 242–249.
- [13] Chambers DC, Perch M, Zuckermann A, et al. The international thoracic organ transplant registry of the international society for heart and lung transplantation: thirty-eighth adult lung transplantation report-2021; focus on recipient characteristics [J]. *J Heart Lung Transplant*, 2021, 40(10): 1060–1072.
- [14] Park MS. Medical complications of lung transplantation[J]. *J Chest Surg*, 2022, 55(4): 338–356.
- [15] 胡春晓, 陈静瑜. 影响肺移植预后的并发症及危险因素[J]. *中华器官移植杂志*, 2023, 44(11): 641–644.
Hu CX, Chen JY. Complications and risk factors affecting prognosis of lung transplantation[J]. *Chinese Journal of Organ Transplantation*, 2023, 44(11): 641–644.
- [16] George PM, Patterson CM, Reed AK, et al. Lung transplantation for idiopathic pulmonary fibrosis [J]. *Lancet Respir Med*, 2019, 7(3): 271–282.
- [17] Walti LN, Ng CF, Mohiuddin Q, et al. Hospital-acquired and ventilator-associated pneumonia early after lung transplantation: a prospective study on incidence, pathogen origin, and outcome[J]. *Clin Infect Dis*, 2024, 79(4): 1010–1017.
- [18] Righi I, Barone I, Rosso L, et al. Immunopathology of lung transplantation: from infection to rejection and vice versa[J]. *Front Immunol*, 2024, 15: 1433469.
- [19] Dominguez F, Blodget E. Multidrug-resistant bacteria in lung transplantation[J]. *Curr Opin Organ Transplant*, 2020, 25(4): 348–350.
- [20] McCort M, MacKenzie E, Pursell K, et al. Bacterial infections in lung transplantation[J]. *J Thorac Dis*, 2021, 13(11): 6654–6672.
- [21] 仇桑桑, 许琴芬, 黄琴红, 等. 多学科综合诊疗模式在肺移植受者多重耐药菌感染防控的应用[J]. *器官移植*, 2024, 15(3): 443–448.
Qiu SS, Xu QF, Huang QH, et al. Application of multi-disciplinary team mode in prevention and control of multidrug resistant organism infection in lung transplant recipients[J]. *Organ Transplantation*, 2024, 15(3): 443–448.
- [22] Fernandes LM, Pêgo-Fernandes PM. New challenges for lung transplantation in the era of COVID-19[J]. *Sao Paulo Med J*, 2022, 140(1): 1–4.
- [23] Xuan CH, Gu JX, Xu ZP, et al. A novel nomogram for predicting prolonged mechanical ventilation in lung transplantation patients using extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 11692.
- [24] Bahakel H, Waghmare A, Madan RP. Impact of respiratory viral infections in transplant recipients[J]. *J Pediatric Infect Dis Soc*, 2024, 13 (Suppl 1): S39–S48.
- [25] Gagliotti C, Morsillo F, Moro ML, et al. Infections in liver and lung transplant recipients: a national prospective cohort [J]. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*, 2018, 37(3): 399–407.
- [26] Ait Hssain A, Vahedian-Azimi A, Ibrahim AS, et al. Incidence, risk factors and outcomes of nosocomial infection in adult patients supported by extracorporeal membrane oxygenation: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Crit Care*, 2024, 28(1): 158.
- [27] Kim K, Leem AY, Kim SY, et al. Complications related to extracorporeal membrane oxygenation support as a bridge to lung transplantation and their clinical significance[J]. *Heart Lung*, 2022, 56: 148–153.
- [28] Blitzer D, Copeland H, Roe D, et al. Long term survival after lung transplantation: a single center experience[J]. *J Card Surg*, 2020, 35(2): 273–278.
- [29] Chang SH, Chan J, Patterson GA. History of lung transplantation[J]. *Clin Chest Med*, 2023, 44(1): 1–13.
- [30] Congedi S, Peralta A, Muraro L, et al. Gram-negative bacterial colonizations before bilateral lung transplant. The impact of ‘targeted’ versus ‘standard’ surgical prophylaxis[J]. *BMC Infect Dis*, 2024, 24(1): 307.
- [31] Di Nardo M, Tikkanen J, Husain S, et al. Postoperative management of lung transplant recipients in the intensive care unit [J]. *Anesthesiology*, 2022, 136(3): 482–499.
- [32] Zhang XQ, Lei Y, Tan XL, et al. Optimization of early antimicrobial strategies for lung transplant recipients based on metagenomic next-generation sequencing[J]. *Front Microbiol*, 2022, 13: 839698.
- (本文编辑:翟若南)
- 本文引用格式:**仇桑桑, 许琴芬, 邵君飞, 等. 肺移植受者术后医院感染 Nomogram 预测模型的构建与验证[J]. *中国感染控制杂志*, 2025, 24(5): 674–681. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20256898.
- Cite this article as:** QIU Sangsang, XU Qinfen, SHAO Junfei, et al. Construction and validation of nomogram predictive model for postoperative healthcare-associated infection in lung transplant recipients[J]. *Chin J Infect Control*, 2025, 24(5): 674–681. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20256898.