·其他肝病·

DOI: 10.12449/JCH260218

肝移植术后并发急性肾损伤的危险因素及预测模型构建

李梦茹[1], 张 旭[1], 徐 钧[2]

1 山西医科大学医学科学院, 太原 030001

2 山西医科大学第一医院肝胆外科及肝脏移植中心, 太原 030001

通信作者: 徐钧, junxuty@163.com (ORCID: 0000-0003-3755-9660)

摘要: 目的 探讨肝移植术后发生急性肾损伤(AKI)的影响因素,构建并验证其风险预测模型,为临床早期识别高危患者和干预提供依据。**方法** 采用单中心、回顾性研究方法,收集2020年3月—2025年6月于山西医科大学第一医院肝脏移植中心行肝移植手术的162例患者的临床资料。根据改善全球肾脏病预后组织共识的AKI诊断标准,按照术后7 d内AKI的发生情况,将患者分为AKI组(n=69)和非AKI组(n=93)。符合正态分布的计量资料组间比较采用成组t检验;非正态分布的计量资料组间比较采用Mann-Whitney U检验;计数资料两组间比较采用χ^2检验或Fisher确切概率法。采用单因素差异分析筛选与肝移植术后AKI相关的因素,多因素Logistic回归筛选出独立危险因素,并建立列线图模型,采用Bootstrap法重复抽样1 000次,对模型进行内部验证,将数据集按照7∶3随机分为训练集(n=113)和验证集(n=49),通过受试者操作特征曲线、校准曲线和决策曲线分析评估预测模型的区分度、校准度和临床适用性。**结果** 肝移植术后AKI的独立危险因素包括体重指数[比值比(OR)=1.281,95%置信区间(CI):1.037~1.582,P=0.022]、血肌酐(OR=1.097,95%CI:1.020~1.181,P=0.013)、术中出血量(OR=1.005,95%CI:1.002~1.009,P=0.004)和冷缺血时间(OR=0.984,95%CI:0.976~0.991,P<0.001)。根据上述因素构建列线图预测模型,受试者操作特征曲线下面积(AUC)为0.964(95%CI:0.931~0.997),最佳截断值为0.319,灵敏度为0.971,特异度为0.903。在训练集中,列线图的AUC为0.969(95%CI:0.933~0.971);验证集中的AUC为0.941(95%CI:0.855~0.944),校准曲线显示预测发生率和实际发生率具有较好的一致性,决策曲线分析显示模型具有良好的临床净获益。**结论** 体重指数、血肌酐、冷缺血时间和术中出血量是肝移植术后发生AKI的独立危险因素,基于此构建的列线图预测模型表现良好,对肝移植术后AKI的发生有较好的预测价值。

关键词: 肝移植; 急性肾损伤; 列线图

基金项目: 国家自然科学基金(82470693); 山西省重点实验室项目(202204010931008); 山西省中央引导地方科技发展资金项目(YDZJSX2021B012); 山西省重点研发计划(202302130501013)

Risk factors for acute kidney injury after liver transplantation and establishment of a predictive model

LI Mengru[1], *ZHANG Xu*[1], *XU Jun*[2]

1. Academy of Medical Sciences, Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China; 2. Department of Hepatobiliary Surgery and Liver Transplant Center, The First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China

Corresponding author: XU Jun, junxuty@163.com (ORCID: 0000-0003-3755-9660)

Abstract: Objective To investigate the risk factors for acute kidney injury (AKI) after liver transplantation, and to establish and validate a risk prediction model, and to provide a basis for early identification of high-risk patients and intervention in clinical practice. **Methods** A single-center retrospective study was conducted, and clinical data were collected from 162 patients who received liver transplantation in Liver Transplantation Center of The First Hospital of Shanxi Medical University from March 2020 to June 2025. The patients were divided into AKI group with 69 patients and non-AKI group with 93 patients according to the diagnostic criteria for AKI established by the Kidney Disease: Improving Global Outcomes organization and the presence or absence of AKI within 7 days after surgery. The independent-samples t test was used for comparison of normally distributed

continuous data between groups, while the Mann-Whitney *U* test was used for comparison of non-normally distributed continuous data between groups, and the chi-square test or the Fisher's exact test was used for comparison of categorical data between groups. The univariate differential analysis was used to obtain the factors associated with AKI after liver transplantation, and the multivariate logistic regression analysis was used to identify the independent risk factors and establish a nomogram model; the Bootstrap method with 1 000 repeated samples was used to perform internal validation of the model. The dataset was randomly divided into a training set and a validation set at a ratio of 7∶3, and the receiver operating characteristic (ROC) curve, the calibration curve, and decision curve analysis (DCA) were used to assess the discriminatory ability, calibration, and clinical applicability of the predictive model. **Results** Body mass index (BMI) (odds ratio [*OR*]=1.281, 95% confidence interval [*CI*]: 1.037—1.582, *P*=0.022), serum creatinine (*OR*=1.097, 95%*CI*: 1.020—1.181, *P*=0.013), intraoperative blood loss (*OR*=1.005, 95%*CI*: 1.002—1.009, *P*=0.004), and cold ischemia time (*OR*=0.984, 95%*CI*: 0.976—0.991, *P*<0.001) were independent risk factors for the development of AKI after liver transplantation. The nomogram prediction model established based on the above factors had an area under the ROC curve (AUC) of 0.964 (95%*CI*: 0.931—0.997), with an optimal cutoff value of 0.319, a sensitivity of 0.971, and a specificity of 0.903. In the training set (*n*=113), the nomogram had an AUC of 0.969 (95% *CI*: 0.933—0.971), while in the validation set (*n*=49), the nomogram had an AUC of 0.941 (95%*CI*: 0.855—0.944). The calibration curve showed good consistency between the predicted incidence rate and the actual incidence rate, and DCA showed that it had good net clinical benefit. **Conclusion** BMI, serum creatinine, cold ischemia time, and intraoperative blood loss are independent risk factors for the development of AKI after liver transplantation, and the nomogram prediction model established based on these factors performs well and has a good value in predicting the development of AKI after liver transplantation.

Key words: Liver Transplantation; Acute Kidney Injury; Nomograms

Research funding: National Natural Science Foundation of China (82470693); Shanxi Provincial Key Laboratory Project (202204010931008); Shanxi Central Guidance Local Science and Technology Development Fund Project (YDZJSX2021B012); Shanxi Key Research and Development Program (202302130501013)

肝移植是肝功能衰竭和特定恶性肿瘤病例的首选治疗方法[1]。近年来,肝移植术后生存率逐渐提高,但术后并发症依然威胁肝移植结局[2]。急性肾损伤(acute kidney injury,AKI)作为肝移植术后危重并发症之一,可能迁延转化为慢性肾损伤、肾衰竭,降低患者生存质量,影响远期预后[3-5]。因此,对肝移植患者进行准确的术前风险评估,及早识别AKI高危患者,干预可控的危险因素尤为重要。目前,国内外已针对器官移植术后并发AKI展开了较多研究[6-7],但大多未能进一步构建预测模型。因此,本研究回顾性研究近年肝移植数据,分析影响肝移植术后发生AKI的危险因素,据此建立预测模型,并对其预测性能进行评价,以期为早期识别和预防高危患者、及时优化临床管理策略提供参考,具有较高的临床价值。

1 资料与方法

1.1 *研究对象* 回顾性分析2020年3月—2025年6月在山西医科大学第一医院肝脏移植中心行肝移植手术的162例患者的病例资料。纳入标准:(1)因终末期肝病等疾病入院并接受肝移植手术;(2)年龄≥18岁。排除标准:(1)实施二次肝移植;(2)施行劈离式肝移植;(3)施行多器官联合移植;(4)术中及术后72 h内死亡;(5)临床资料严重缺失。

1.2 *资料收集* 根据相关文献和临床经验,收集患者术前、围手术期和术后的临床资料。(1)基线资料和术前资料:人口统计学资料和既往病史、原发病类型、实验室检查;(2)术中资料:手术时长、无肝期时间、冷缺血时间、供肝血供恢复-胆道吻合时间、术中输血量、术中出血量和术中尿量;(3)术后资料:术后肝功能指标、术后是否合并感染和是否使用万古霉素。其中,基线血肌酐(serum creatinine,SCr)及术前实验室指标为肝移植手术麻醉诱导前最近一次的检测结果。受者临床资料均从医院电子病历系统中收集。

1.3 *分组依据* 根据改善全球肾脏病预后组织推荐标准[8],符合以下任一条件即可诊断为AKI:(1)48 h内SCr增高≥26.5 μmol/L;(2)确认或推测7 d内SCr增高值为基础值的1.5倍或以上;(3)尿量<0.5 $mL\cdot kg^{-1}\cdot h^{-1}$并持续6 h以上。鉴于本研究中利尿剂在术后的广泛使用,因此仅使用前2个条件进行诊断。根据术后7 d内是否发生AKI,将入选患者分为AKI组和非AKI组。

1.4 *统计学方法* 应用SPSS 27.0及R语言4.5.0软件进

行数据的统计学处理和绘图。符合正态分布的计量资料用$\bar{x}\pm s$表示，两组间比较采用成组t检验；非正态分布的计量资料以$M(P_{25}\sim P_{75})$表示，两组间比较采用Mann-Whitney U检验；计数资料两组间比较采用χ^2检验或Fisher确切概率法检验。将单因素分析中差异具有统计学意义的变量纳入Logistic多因素回归分析，得出相应的独立危险因素，预测价值采用受试者操作特征曲线（receiver operator characteristic curve，ROC曲线）分析，计算曲线下面积（area under the curve，AUC）、约登指数、最佳截断值、敏感度、特异度及95%置信区间（confidence interval，*CI*）等指标，评估模型对肝移植后发生AKI的预测效能。基于相关危险因素构建预测模型，绘制ROC曲线并计算AUC，评价模型的区分度。将入选患者以计算机随机化法按7∶3的比例分为训练集（n=113）和验证集（n=49）；通过Bootstrap自抽样方法重复抽样1 000次，绘制校准曲线，以评价模型的校准度；构建决策曲线分析（decision curve analysis，DCA），以评估列线图模型的预测效能和临床适应性；验证集数据用于模型内部验证。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料 本研究最终纳入162例肝移植受者，AKI患病率为42.59%（69/162）。体重指数（body mass index，BMI）、肝性脑病、血红蛋白、SCr、总白蛋白、活化部分凝血活酶时间、冷缺血时间、术中出血量、术后感染在AKI组和非AKI组之间的差异均有统计学意义（P值均<0.05）（表1）。

2.2 多因素Logistic回归分析 将单因素分析中具有统计学意义的9个变量纳入多因素Logistic回归分析，结果显示，BMI[比值比（odds ratio，*OR*）=1.281，95%*CI*：1.037～1.582）、SCr（*OR*=1.097，95%*CI*：1.020～1.181）、术中出血量（*OR*=1.005，95%*CI*：1.002～1.009）和冷缺血时间（*OR*=0.984，95%*CI*：0.976～0.991）是肝移植术后并发AKI的独立危险因素（P值均<0.05），同时其方差膨胀因子均<5，表明不存在多重共线性（表2）。

2.3 ROC曲线的分析 BMI、SCr、冷缺血时间和术中出血量的AUC分别为0.718（0.635～0.801）、0.764（0.690～0.838）、0.737（0.660～0.815）、0.887（0.835～0.941）（图1），进一步计算约登指数得出最佳截断值分别为25.65 kg/m^2、62.6 μmol/L、215 min、950 mL。运用多因素Logistic回归分析中有统计学意义的变量建立预测模型，结果显示，该模型的AUC为0.964（95%*CI*：0.931～0.997），当截断值为0.319时，灵敏度为0.971，特异度为0.903，提示该模型具有较高的预测价值。

2.4 列线图的建立 将多因素Logistic回归分析中筛选出的独立危险因素作为独立预测因子建立列线图（图2）。在该模型中，每个危险因素都有对应的评分，将所有危险因素的得分相加得到总分值，总分值越高代表肝移植术后发生AKI的风险越高，所对应的发病概率即为模型所预测的肝移植受者术后个体化的AKI发病风险。

2.5 列线图模型的评价和内部验证 该模型在训练集和验证集上的AUC分别是0.969（95%*CI*：0.933～0.971）、0.941（95%*CI*：0.855～0.944）（图3），说明模型具有较好的区分度，且相较于单个变量，联合预测模型的稳定性更好，预测能力更强。分别绘制校准曲线进一步评估模型的准确度，结果表明模型的预测值与实际观测值具有较好的一致性（图4）。此外，采用DCA评估预测模型在患者接受治疗不足和过度治疗风险偏好范围内的益处[9]，训练集和验证集的DCA结果显示，无论是哪一种阈值，本研究所提出的列线图模型都具有较高准确度，表现出良好的临床适用性（图5）。

3 讨论

本研究成功构建了一个肝移植术后并发AKI的风险预测模型。结果显示，该模型在训练集和验证集中均表现出较好的预测性能，对肝移植患者的术前评估和术中管理具有重要意义，并为后续研究提供了重要参考。在纳入研究的162例肝移植手术患者中，69例并发AKI，发生率为42.59%，与既往文献报道的发病率范围相符[10-11]。AKI是肝移植术后的常见并发症[12]，已被多项研究证实与心力衰竭、动脉粥样硬化性心血管事件和全因死亡风险升高密切相关[13]。AKI的高发生率及严重后果，凸显了对肝移植患者进行肾脏健康干预的重要性。

在本研究认为，BMI、SCr、冷缺血时间及术中出血量是肝移植术后并发AKI的独立危险因素，这与既往文献报道一致[7,10,14-18]。该结果强调了在评估中纳入BMI的重要性。有研究指出，脂肪因子在肾脏急性缺血/再灌注损伤的发病机制中发挥重要作用[19]。脂肪因子可激活NK-κB通路并增加促炎因子的表达，从而使中性粒细胞、T细胞和巨噬细胞浸润到肾脏组织中。此外，肥胖作为代谢综合征和终末器官损伤的危险因素之一，会增加糖尿病、高脂血症和心血管疾病的发生风险，直接或间接增加肝移植术后AKI的发生概率[20]。因此，在肝移植患者的管理中，应重视BMI的管理和干预。

术中出血量是另一项重要预测因素。术中出血过多，不仅会影响手术进程、延长手术时间、增加感染风

表1 肝移植术后AKI的单因素分析

Table 1 Univariate analysis of AKI after liver transplantation

指标	总计（n=162）	AKI组（n=69）	非AKI组（n=93）	统计值	P值
性别[例（%）]				χ^2=0.146	0.702
男	122（75.3）	53（76.8）	69（74.2）		
女	40（24.6）	16（23.2）	24（25.8）		
年龄[例（%）]				χ^2=0.463	0.496
<60岁	124（76.5）	51（74.0）	73（78.5）		
≥60岁	38（23.5）	18（26.0）	20（21.5）		
BMI（kg/m^2）	24.07±4.19	25.89±4.49	22.71±3.37	t=−5.141	<0.001
原发疾病类型[例（%）]				χ^2=7.452	0.114
免疫性	28（17.2）	12（17.4）	16（17.2）		
肿瘤性	29（17.9）	8（11.6）	21（22.6）		
病毒性	67（41.4）	36（52.2）	31（33.3）		
酒精性	24（14.9）	9（13.0）	15（16.1）		
其他	14（8.6）	4（5.8）	10（10.8）		
肝性脑病[例（%）]	26（16）	16（23.2）	10（10.8）	χ^2=4.546	0.033
糖尿病[例（%）]	30（18.5）	15（21.7）	15（16.1）	χ^2=0.826	0.363
高血压[例（%）]	27（16.7）	12（17.4）	15（16.1）	χ^2=0.045	0.831
吸烟史[例（%）]	59（36.4）	23（33.3）	36（38.7）	χ^2=0.494	0.482
饮酒史[例（%）]	60（37.0）	24（34.8）	36（38.7）	χ^2=0.262	0.609
RBC（×10^{12}/L）	3.30（2.63～3.81）	2.97（2.46～3.66）	3.38（2.86～3.94）	Z=−1.734	0.083
WBC（×10^9/L）	3.22（2.20～5.10）	3.30（2.30～5.40）	3.00（2.20～4.90）	Z=−0.552	0.581
PLT（×10^9/L）	54.00（37.50～89.25）	52.00（38.00～75.50）	57.00（36.00～94.00）	Z=−0.654	0.513
HGB（g/L）	97.50（82.00～114.25）	94.00（78.50～107.00）	102.00（85.00～117.00）	Z=−2.451	0.014
SCr（μmol/L）	62.20（52.00～77.00）	73.20（62.00～88.65）	56.20（47.50～66.75）	Z=−5.733	<0.001
TBil（μmol/L）	48.30（29.85～93.23）	51.90（33.95～141.30）	44.20（22.75～81.10）	Z=−1.567	0.117
DBil（μmol/L）	20.55（9.53～50.23）	24.10（11.80～57.30）	20.00（6.75～47.85）	Z=−1.482	0.138
TP（g/L）	57.30（44.44～66.53）	54.10（37.65～63.65）	59.20（50.45～67.40）	Z=−2.124	0.034
AST（U/L）	38.00（28.00～59.25）	38.00（28.50～55.00）	38.00（27.50～61.00）	Z=−0.320	0.749
ALT（U/L）	27.00（18.00～46.25）	25.00（18.00～40.00）	28.00（18.00～47.50）	Z=−0.622	0.534
PT（s）	18.25（15.80～20.93）	18.60（16.10～21.60）	17.80（15.60～20.50）	Z=−1.414	0.157
APTT（s）	36.75（32.58～45.43）	39.80（33.00～50.70）	35.20（32.30～40.70）	Z=−2.358	0.018
INR	1.55（1.30～1.87）	1.63（1.34～1.91）	1.47（1.27～1.84）	Z=−1.846	0.065
无肝期时间（min）	55（40～67）	67（42～67）	50（40～67）	Z=−1.492	0.136
冷缺血时间（min）	180（170～210）	185（180～360）	180（165～185）	Z=−5.282	<0.001
供肝血供恢复-胆道吻合时间（min）	40（40～60）	40（40～60）	40（10～250）	Z=−0.982	0.326
无肝期尿量（min）	200（60～500）	500（55～500）	150（65.5～500）	Z=−0.499	0.618
术中输注红细胞（mL）	12（8～18）	14（10～18）	12（8～18）	Z=−1.463	0.143
术中输注血浆（mL）	1 000（0～2 000）	1 000（0～1 900）	1 000（0～2 000）	Z=−0.565	0.572
术中出血量（mL）	1 000（800～1 200）	1 200（1 050～1 500）	800（650～1 000）	Z=−8.465	<0.001
术后AST峰值（U/L）	862.50（371.25～1 454.75）	986.00（370.00～1 893.50）	804.00（369.50～1 209.50）	Z=−1.501	0.133
术后ALT峰值（U/L）	493.00（269.00～737.50）	531.00（263.50～846.00）	422.00（274.00～657.50）	Z=−1.501	0.133
术后感染[例（%）]	40（24.7）	29（42.0）	11（11.8）	χ^2=19.430	<0.001
术后使用万古霉素[例（%）]	28（17.3）	14（20.3）	14（15.1）	χ^2=0.760	0.383

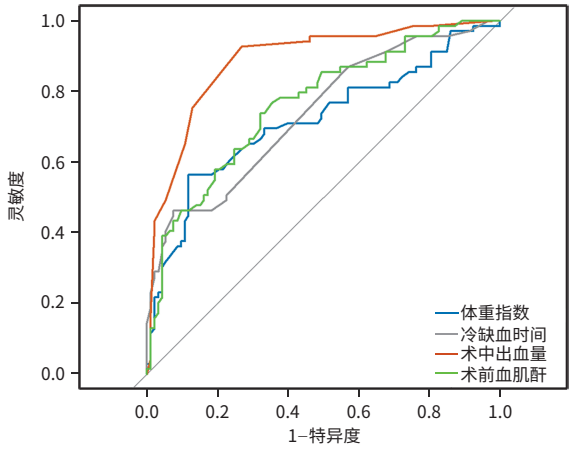
注：AKI，急性肾损伤；BMI，体重指数；RBC，红细胞；WBC，白细胞；PLT，血小板；HGB，血红蛋白；SCr，血肌酐；TBil，总胆红素；DBil，直接胆红素；TP，总蛋白；AST，天冬氨酸氨基转移酶；ALT，丙氨酸氨基转移酶；PT，凝血酶原时间；APTT，活化部分凝血活酶时间；INR，国际标准化比值。

表2　肝移植术后AKI的多因素Logistic分析

Table2　Multivariate Logistic analysis of AKI after liver transplantation

变量	β值	*SE*	*Wald*	*P*值	*OR*	95%*CI*
BMI	0.248	0.108	5.278	0.022	1.281	1.037～1.582
肝性脑病	1.435	0.805	3.180	0.075	4.200	0.867～20.33
HGB	−0.001	0.004	0.109	0.742	0.999	0.992～1.006
APTT	0.007	0.046	0.024	0.876	1.007	0.921～1.101
SCr	0.093	0.037	6.159	0.013	1.097	1.020～1.181
TP	−0.032	0.040	0.657	0.418	0.968	0.896～1.047
冷缺血时间	−0.016	0.004	18.067	<0.001	0.984	0.976～0.991
术中出血量	0.005	0.002	8.273	0.004	1.005	1.002～1.009
术后感染	−1.058	1.797	21.347	0.055	0.347	0.118～1.023

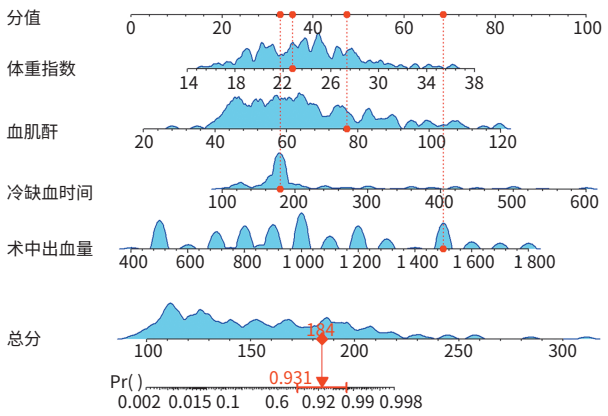
注：AKI，急性肾损伤；BMI，体重指数；HGB，血红蛋白；APTT，活化部分凝血活酶时间；SCr，血肌酐；TP，总蛋白；*OR*，比值比；*CI*，置信区间。



注：AKI，急性肾损伤；ROC曲线，受试者操作特征曲线。

图1　肝移植术后AKI的ROC曲线

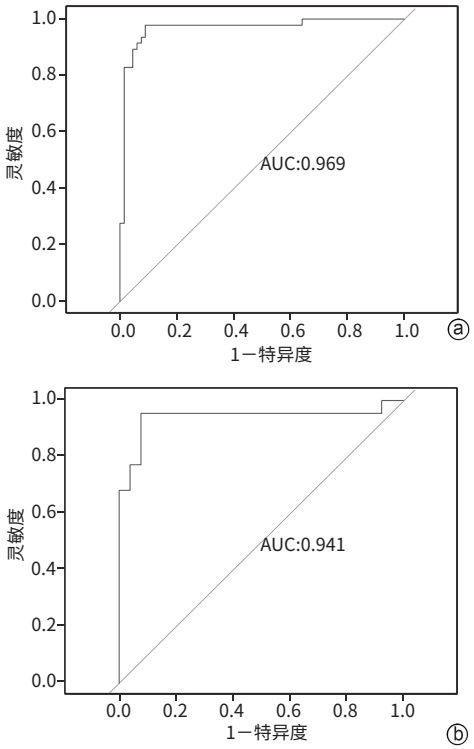
Figure 1　ROC curve for AKI after liver transplantation



注：AKI，急性肾损伤。

图2　肝移植术后AKI的列线图预测模型

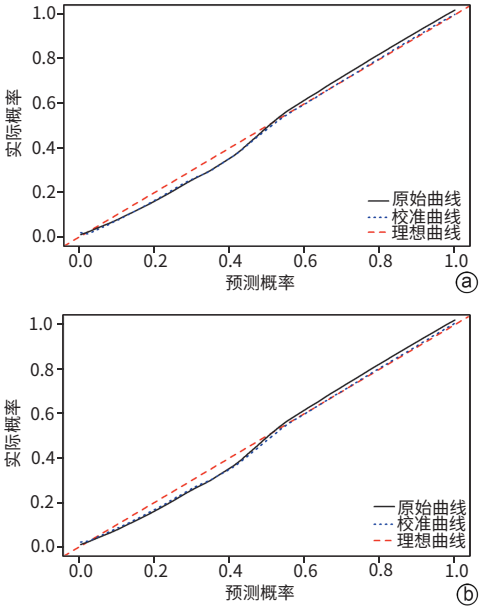
Figure 2　Nomogram prediction model for AKI after liver transplantation



注：a，训练集；b，验证集。AKI，急性肾损伤；ROC曲线，受试者操作特征曲线。

图3　肝移植术后AKI的列线图在训练集和验证集中的ROC曲线

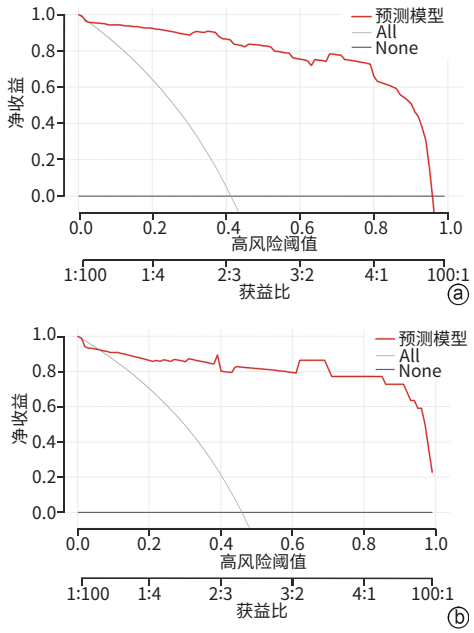
Figure 3　The ROC curves for AKI after liver transplantation in the training set and validation set



注：a，训练集；b，验证集。AKI，急性肾损伤。

图4　肝移植术后AKI的列线图在训练集和验证集中的校准曲线

Figure 4　Calibration curves for postoperative AKI after liver transplantation in the training set and validation set



注：a，训练集；b，验证集。AKI，急性肾损伤；DCA，决策曲线分析。

图5　肝移植术后AKI列线图预测模型的DCA

Figure 5　DCA curve analysis of the prediction model for postoperative AKI in liver transplantation

险，还可能对术后恢复产生不良影响[21]。有研究显示，手术期间血流动力学稳定会降低肝移植术后AKI的发生率[22]。终末期肝病患者往往合并术前血管血容量不足，使其更容易发生肾脏灌注降低[23]。肝移植患者术中大量失血会导致肾脏血流灌注不足，可在短时间内造成肾功能发生显著变化。此外，血流动力学不稳定会导致移植物释放有毒成分，其中包括白细胞介素6和肿瘤坏死因子α等促炎细胞因子。这些细胞因子会引发炎性反应，对肾组织，尤其是肾小管造成损伤，进一步增加AKI的发生风险[24]。此外，大量出血可导致循环不稳定，减少心脏的血流量回流，可能会发生肾静脉淤血、肾灌注降低和不同程度的肾损伤[25]。为了减少术中出血量的肾脏损害，应在术前对患者凝血功能进行全面评估，并制订详细的手术计划，尽量减少手术创伤和出血风险。

术前SCr与肝移植术后AKI的发生显著相关。相关研究认为，术前肾功能可预测肝移植术后AKI的发生率[26]。术前SCr水平代表患者既往肾功能水平，而术前肾损伤在肝移植术后AKI的发展中发挥重要作用。因此，针对术前SCr水平较高的患者，其术后AKI风险指数通常会显著增加。SCr作为终末期肝病模型评分的组成部分，是肝移植术后AKI发生的更强变量[17]。对于术前SCr较高的患者，应重点评估其病因和严重程度，积极调整给药剂量和频率，以改善其肾功能；同时，避免使用肾毒性药物，如非甾体抗炎药，以防止急性肾小管坏死加重；对于影像学检查，应谨慎使用造影剂，以避免造影剂加剧肾损伤。

此外，冷缺血时间也被认为是肝移植术后发生AKI的独立危险因素，这与既往研究结果一致[18]。相关研究认为，缩短冷缺血时间可以降低肝脏同种异体移植物功能障碍和相关肾损伤的风险，而无缺血肝移植对术后患者肾功能有保护作用[12,27]。肝脏暴露于缺血的时间越长，活性氧、超氧阴离子、过氧化氢和次黄嘌呤的水平越高。从病理生理学机制分析，较长的冷缺血时间引起细胞缺血、炎症反应、氧化应激、免疫反应及诱导细胞凋亡等途径，可能造成肾损伤。因此，优化冷缺血时间的管理对于降低肝移植术后AKI的发生率具有重要意义。本研究结果显示，AKI组的冷缺血时间最长为600 min，平均时间为185（180～360）min，相较于既往研究的时间较短，这可能源于本中心实施肝移植供体大部分来自本中心捐献患者，避免了经外院器官评估、获取、灌注及运输等环节，缩短了器官冷保存时间。

本研究初步建立了肝移植术后发生AKI的风险预测模型，以列线图预测各因素对肝移植术后发生AKI的影响，实现不良事件风险的个体化评估。通过该模型，能够早期识别肝移植术后发生AKI的高风险患者，并对其进行必要干预，及时采取相应预防措施，实施靶向和个体化治疗。与此同时，应注意在肝移植术前优化肾功能和肝功能，确保手术过程中维持足够的肾灌注。同时，术中应缩短无肝期时间，减少出血量，以降低AKI的发生率[28]。如果在肝移植术后发生AKI，则应选择减少持续肾毒性作用的免疫抑制方案，以恢复肾脏功能，提高患者远期生存质量[29]。

本研究仍存在一定局限性：（1）本研究为单中心回顾性研究，样本量相对较小，可能存在选择偏倚，也未进行外部验证；（2）本研究针对成人肝移植进行分析，研究对象具有选择性，对于小儿肝移植需进行进一步探索研究。

综上所述，AKI是肝移植术后常见的并发症，会对患者的预后和远期生活质量造成不利影响。BMI、SCr、术中出血量和冷缺血时间是肝移植术后并发AKI的独立危险因素，基于此构建的列线图预测模型具有可视化以及易于获取研究指标等优点，可以在手术结束后即刻使用，便于在临床应用推广；且模型表现良好，能够有效预测肝移植术后AKI的发生，帮助临床医师提前识别AKI高危患者，具有良好的临床指导和应用价值。

伦理学声明：本研究方案于2023年12月22日经由山西医科大学第一医院医学伦理委员会审批通过，伦理批号：KYLL-2023-271。

利益冲突声明：本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明：李梦茹负责收集数据，论文框架，绘制图表，论文撰写；张旭负责收集数据和整理，统计学分析；徐钧负责拟定写作思路，指导撰写文章并最后定稿。

参考文献：

[1] AGOSTINI C, BUCCIANTI S, RISALITI M, et al. Complications in post-liver transplant patients[J]. J Clin Med, 2023, 12(19): 6173. DOI: 10.3390/jcm12196173.

[2] TERRAULT NA, FRANCOZ C, BERENGUER M, et al. Liver transplantation 2023: Status report, current and future challenges[J]. Clin Gastroenterol Hepatol, 2023, 21(8): 2150-2166. DOI: 10.1016/j.cgh.2023.04.005.

[3] CHEN PF, CHEN MJ, CHEN L, et al. Risk factors for severe acute kidney injury post complication after total arch replacement combined with frozen elephant trunk, in acute type A aortic dissection[J]. Cardiovasc Diagn Ther, 2022, 12(6): 880-891. DOI: 10.21037/cdt-22-313.

[4] LUO CC, ZHONG YL, QIAO ZY, et al. Development and validation of a nomogram for postoperative severe acute kidney injury in acute type A aortic dissection[J]. J Geriatr Cardiol, 2022, 19(10): 734-742. DOI: 10.11909/j.issn.1671-5411.2022.10.003.

[5] WANG ZG, GE M, WANG ZY, et al. Identification of risk factors for postoperative stage 3 acute kidney injury in patients who received surgical repair for acute type A aortic dissection[J]. BMC Surg, 2022, 22(1): 75. DOI: 10.1186/s12893-022-01526-x.

[6] HUANG JY, CHEN JJ, YANG J, et al. Prediction models for acute kidney injury following liver transplantation: A systematic review and critical appraisal[J]. Intensive Crit Care Nurs, 2025, 86: 103808. DOI: 10.1016/j.iccn.2024.103808.

[7] SAKAI T. Acute kidney injury after adult liver transplantation-Doesn´t intraoperative management matter?[J]. Liver Transpl, 2022, 28(7): 1131-1132. DOI: 10.1002/lt.26469.

[8] KHWAJA A. KDIGO clinical practice guidelines for acute kidney injury[J]. Nephron Clin Pract, 2012, 120(4): c179-c184. DOI: 10.1159/000339789.

[9] PIOVANI D, SOKOU R, TSANTES AG, et al. Optimizing clinical decision making with decision curve analysis: Insights for clinical investigators[J]. Healthcare, 2023, 11(16): 2244. DOI: 10.3390/healthcare11162244.

[10] KALISVAART M, SCHLEGEL A, UMBRO I, et al. The impact of combined warm ischemia time on development of acute kidney injury in donation after circulatory death liver transplantation: Stay within the golden hour[J]. Transplantation, 2018, 102(5): 783-793. DOI: 10.1097/TP.0000000000002085.

[11] THONGPRAYOON C, KAEWPUT W, THAMCHAROEN N, et al. Incidence and impact of acute kidney injury after liver transplantation: A meta-analysis[J]. J Clin Med, 2019, 8(3): 372. DOI: 10.3390/jcm8030372.

[12] DURAND F, FRANCOZ C, ASRANI SK, et al. Acute kidney injury after liver transplantation[J]. Transplantation, 2018, 102(10): 1636-1649. DOI: 10.1097/TP.0000000000002305.

[13] THANAPONGSATORN P, CHAIKOMON K, LUMLERTGUL N, et al. Comprehensive versus standard care in post-severe acute kidney injury survivors, a randomized controlled trial[J]. Crit Care, 2021, 25(1): 322. DOI: 10.1186/s13054-021-03747-7.

[14] KOLLMANN D, NEONG SF, ROSALES R, et al. Renal dysfunction after liver transplantation: Effect of donor type[J]. Liver Transpl, 2020, 26(6): 799-810. DOI: 10.1002/lt.25755.

[15] de HAAN JE, HOORN EJ, de GEUS HRH. Acute kidney injury after liver transplantation: Recent insights and future perspectives[J]. Best Pract Res Clin Gastroenterol, 2017, 31(2): 161-169. DOI: 10.1016/j.bpg.2017.03.004.

[16] PACHECO MP, CARNEIRO-D´ALBUQUERQUE LA, MAZO DF. Current aspects of renal dysfunction after liver transplantation[J]. World J Hepatol, 2022, 14(1): 45-61. DOI: 10.4254/wjh.v14.i1.45.

[17] GUO DD, WANG HF, LAI XY, et al. Development and validation of a nomogram for predicting acute kidney injury after orthotopic liver transplantation[J]. Ren Fail, 2021, 43(1): 1588-1600. DOI: 10.1080/0886022X.2021.2009863.

[18] ZHANG DL, LIU ZW, BI JF, et al. Risk factors for the incidence and severity of acute kidney injury after liver transplantation[J]. Turk J Gastroenterol, 2021, 32(1): 82-87. DOI: 10.5152/tjg.2020.19592.

[19] OH J, RABB H. Adiponectin: An enlarging role in acute kidney injury[J]. Kidney Int, 2013, 83(4): 546-548. DOI: 10.1038/ki.2012.479.

[20] TARGHER G, CHONCHOL M, ZOPPINI G, et al. Risk of chronic kidney disease in patients with non-alcoholic fatty liver disease: Is there a link?[J]. J Hepatol, 2011, 54(5): 1020-1029. DOI: 10.1016/j.jhep.2010.11.007.

[21] RAJA K, PANACKEL C. Post liver transplant renal dysfunction-evaluation, management and immunosuppressive practice[J]. J Clin Exp Hepatol, 2024, 14(2): 101306. DOI: 10.1016/j.jceh.2023.101306.

[22] WU ZP, WANG Y, HE L, et al. Development of a nomogram for the prediction of acute kidney injury after liver transplantation: A model based on clinical parameters and postoperative cystatin C level[J]. Ann Med, 2023, 55(2): 2259410. DOI: 10.1080/07853890.2023.2259410.

[23] ZHANG YH, YANG D, LIU ZF, et al. An explainable supervised machine learning predictor of acute kidney injury after adult deceased donor liver transplantation[J]. J Transl Med, 2021, 19(1): 321. DOI: 10.1186/s12967-021-02990-4.

[24] CATALÁN R, JIMÉNEZ-CEJA JV, RINCÓN-PEDRERO R, et al. Factors associated with development of acute kidney injury after liver transplantation[J]. Rev Invest Clin, 2022, 74(2): 090-096. DOI: 10.24875/RIC.21000496.

[25] HIZOMI ARANI R, ABBASI MR, MANSOURNIA MA, et al. Acute kidney injury after liver transplant: Incidence, risk factors, and impact on patient outcomes[J]. Exp Clin Transplant, 2021, 19(12): 1277-1285. DOI: 10.6002/ect.2021.0300.

[26] MOURA AF, MOURA-NETO JA, DE MELO RIBEIRO B, et al. Post-liver transplant kidney dysfunction: Incidence of acute kidney injury and chronic kidney disease and risk factors related to chronic kidney disease development[J]. Diseases, 2025, 13(5): 144. DOI: 10.3390/diseases13050144.

[27] ZHAO Q, HUANG JB, QIN MT, et al. Protective value of ischemia-free liver transplantation on post-transplant acute kidney injury[J]. JHEP Rep, 2025, 7(4): 101339. DOI: 10.1016/j.jhepr.2025.101339.

[28] GONG XY, DU GS, LI HP, et al. Analysis of risk factors for acute kidney injury after liver transplantation[J]. Chin J Med Offic, 2025, 53(12): 1303-1305, 1309. DOI: 10.16680/j.1671-3826.2025.12.25.
宫学宇, 杜国盛, 李怀朋, 等. 肝移植术后发生急性肾损伤危险因素分析[J]. 临床军医杂志, 2025, 53(12): 1303-1305, 1309. DOI: 10.16680/j.1671-3826.2025.12.25.

[29] CHIU PF, LIN PR, TSAI CC, et al. The impact of acute kidney injury with or without recovery on long-term kidney outcome in patients undergoing living liver transplantation[J]. Nephrol Dial Transplant, 2023, 38(8): 1817-1822. DOI: 10.1093/ndt/gfad005.

收稿日期：2025-08-22；**录用日期：**2025-12-18
本文编辑：林姣

引证本文：LI MR, ZHANG X, XU J. Risk factors for acute kidney injury after liver transplantation and establishment of a predictive model[J]. J Clin Hepatol, 2026, 42(2): 380-386.
李梦茹, 张旭, 徐钧. 肝移植术后并发急性肾损伤的危险因素及预测模型构建[J]. 临床肝胆病杂志, 2026, 42(2): 380-386.