DOI:10.12138/j.issn.1671－9638.20263287

·论著·

维持性血液透析导管相关感染风险预测模型构建与验证:一项回顾性队列研究

郭紫晴[1],云 震[1],张 冰[2],王顺彩[3],吴松杰[4],谈宜斌[4],茅一萍[2]
(1. 徐州医科大学第二附属医院重症医学科,江苏 徐州 221002; 2. 徐州医科大学附属医院感染管理科,江苏 徐州 221006; 3. 青海省人民医院感染管理科,青海 西宁 810007; 4. 武汉大学中南医院感染管理科,湖北 武汉 430000)

[摘 要] **目的** 分析血液透析导管相关感染危险因素,构建风险预测模型,实现对血液透析导管相关感染高风险患者的早期识别。**方法** 回顾性分析 2020 年 1 月—2024 年 6 月徐州医科大学附属医院 330 例维持性血液透析(MHD)患者,以确定导管相关感染危险因素,构建预测模型并进行内部验证,同时选取 2022 年 1 月—2024 年 6 月武汉大学中南医院及青海省人民医院 MHD 置管患者进行外部验证。以受试者工作特征曲线下面积和 *Hosmer-Lemeshow* 拟合优度检验评价模型区分度和校准度,以决策曲线评价模型实用性,并绘制列线图模型。**结果** 研究显示,导管感染史($OR = 2.837$, $P = 0.022$)、非首次置管($OR = 3.682$, $P = 0.001$)、置管部位(股静脉)($OR = 3.124$, $P = 0.015$)、置管时间长($OR = 1.012$, $P = 0.006$)、糖尿病($OR = 3.397$, $P < 0.001$)为 MHD 患者血液透析导管相关感染独立危险因素,清蛋白升高($OR = 0.903$, $P = 0.001$)为保护因素。该模型在训练组、内部验证组及外部验证组均具有良好的区分度和校准度。**结论** 本研究构建的血液透析导管相关感染风险预测模型具有良好的预测效能,可作为临床筛查血液透析导管相关感染患者的风险评估工具,为血液透析导管相关感染防控提供参考。

[关 键 词] 血液透析;中心静脉导管相关感染;风险预测模型;预防与控制;列线图
[中图分类号] R197.32

Development and validation of a risk prediction model for catheter-related infections in maintenance hemodialysis: a retrospective cohort study

GUO Ziqing[1], *YUN Zhen*[1], *ZHANG Bing*[2], *WANG Shuncai*[3], *WU Songjie*[4], *TAN Yibin*[4], *MAO Yiping*[2] (1. *Intensive Care Unit, the Second Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University, Xuzhou* 221002, *China*; 2. *Department of Infection Management, the Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University, Xuzhou* 221006, *China*; 3. *Department of Infection Management, Qinghai Provincial People's Hospital, Xining* 810007, *China*; 4. *Department of Infection Management, Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan* 430000, *China*)

[**Abstract**] **Objective** To identify risk factors for hemodialysis catheter-related infections through retrospective analysis and construct a risk prediction model to enable early identification of patients at high risk for such infections. **Methods** A retrospective analysis was conducted on 330 maintenance hemodialysis (MHD) patients at the Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University from January 2020 to June 2024 to identify risk factors for catheter-related infections. A predictive model was constructed, and internal validation was performed. Patients receiving MHD catheterization from January 2022 to June 2024 at Zhongnan Hospital of Wuhan University and

[收稿日期] 2025－12－04
[基金项目] "感·动中国"医疗机构感染预防与控制科研项目(GY2023023-A)
[作者简介] 郭紫晴(1999－),女(汉族),安徽省宿州市人,硕士研究生在读,主要从事医院感染管理相关研究。
[通信作者] 茅一萍 E-mail:385524376@qq.com

Qinghai Provincial People's Hospital were selected for external validation. The discriminative ability and calibration of the model were assessed using the area under the receiver operating characteristic curve and the Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit test, respectively. Clinical utility was evaluated by decision curve analysis, and a nomogram model was developed. **Results** This study revealed that history of previous catheter infections (OR = 2.837, P = 0.022), non-first catheterization (OR = 3.682, P = 0.001), catheterization site (femoral vein) (OR = 3.124, P = 0.015), catheterization duration (OR = 1.012, P = 0.006), and diabetes (OR = 3.397, P<0.001) were independent risk factors for catheter-related infections in MHD patients, while albumin (OR = 0.903, P = 0.001) served as a protective factor. The model demonstrated good discriminative ability and calibration across the training set, the internal validation set, and the external validation set. **Conclusion** The nomogram prediction model has good predictive performance, which can be used as a risk assessment tool for clinical screening of patients with catheter-related infections, and provides a reference for the prevention and control of hemodialysis (CRI).

[**Key words**] hemodialysis; central venous catheter-related infections; risk prediction model; prevention and control; nomogram

据报道,全球慢性肾病患病率高达 9.5%,患病人数已超过 8.5 亿[1-2]。维持性血液透析(maintenance hemodialysis, MHD)是终末期肾病患者重要的肾脏替代治疗方式[3]。中心静脉导管(central venous catheter, CVC)包括隧道式导管(tunneled central catheter, TCC)和非隧道式导管(non-tunneled central catheter, NCC),是血液透析患者广泛使用的血管通路,可即插即用,但相较于其他血管通路,感染风险较高。美国国家医疗安全网络透析事件监测报告[4]显示,血流感染患者中 75.6%的患者为血管通路相关血流感染,其中近 70%的血管通路相关血流感染与中心静脉导管相关。研究[5]显示,我国血液透析患者中心静脉导管感染(catheter-related infections, CRI)发病率仍处于较高水平。本研究中心 2023 年 MHD 血管通路相关感染监测数据显示,CVC 患者占 24.39%,在所有血管通路感染中占比超过 80%。由此可见,CRI 防控管理仍具有一定的挑战性,开发适用的 CRI 风险预测模型可协助临床识别高风险患者,从而针对性采取防控措施。研究[6]表明,既往研究构建的 CRI 风险预测模型总体实用性良好,但大多预测模型仅进行了内部验证,缺乏模型外部验证。为此,本研究进行了一项回顾性队列研究,以确定 MHD 置管患者 CRI 的危险因素,构建风险预测模型并进行内部及外部验证,为早期识别 CRI 高风险患者提供参考。

1 对象与方法

1.1 研究对象 选取 2020 年 1 月—2024 年 6 月徐州医科大学附属医院门诊血液透析中心 MHD 置管患者,以 7∶3 的比例随机分为训练组和内部验证组,分别用于模型构建及内部验证。为验证模型的外推性,选择 2022 年 1 月—2024 年 6 月我国中部地区代表性医院武汉大学中南医院、西部地区代表性医院青海省人民医院两所门诊血液透析中心 MHD 置管患者作为外部验证对象。本研究中 3 所医院均拥有血液透析感染事件信息化监测系统。研究对象纳入标准:(1)纳入医院门诊血液透析中心 MHD 治疗≥3 个月;(2)年龄≥18 岁;(3)同意并自愿参与本研究。排除标准:(1)同时接受腹膜透析的患者;(2)患有血液及免疫系统疾病,肿瘤或存在严重感染的患者,病情不稳定,有随时恶化的风险;(3)基线资料缺失比率大于 15%的患者。本研究伦理批号:XYFY 2023-KL427-01。

1.2 样本量估算 本研究共纳入 CRI 相关因素 25 个,根据经验法则[7]样本量至少为自变量个数的 10 倍,考虑 10%的无效率,初步估算样本量至少 278 例。本研究中心共纳入置管患者 330 例。参考既往研究[8],模型外部验证样本量至少为 100 例,最终外部验证组纳入患者 111 例。

1.3 诊断标准 导管相关感染包括局部感染和中心静脉导管相关血流感染(central line-associated bloodstream infection, CLABSI)。导管相关局部感染主要表现为置管部位局部皮肤出现脓液、发红或肿胀加剧。参照《血管导管相关感染预防与控制指南(2021 版)》,CLABSI 诊断标准为外周静脉血培养阳性,或从导管尖端和外周血培养出相同种类、相同药敏结果的致病菌,且排除其他感染[9]。由于在血培养留取之前大多数患者已进行了抗菌药物治疗,因此当患者血培养为阴性但临床怀疑感染,且存

在以下症状：发热＞37.5 ℃，或寒战，或精神状态改变，或出现新的透析前低血压（收缩压＜90 mmHg），并由临床医生诊断为 CLABSI 时，也纳入本次研究。本研究遵循 21 d 原则，即同一患者两次相同类型的血液透析感染事件的发生间隔必须不少于 21 d，否则不被记录为新的感染事件[4]。

1.4 数据收集 基于血液透析感染事件信息化监测系统，结合医院电子病历信息系统及实验室检验结果查询系统收集患者基线资料，包括患者一般资料、透析相关因素、合并症及实验室检验指标。其中患者一般资料、透析相关因素、合并症记录患者置管期间的资料，实验室检验指标记录患者置管前最近的一次检验结果，资料收集过程中由双人核对无误后录入 Excel 表格。外部验证组患者资料由本研究小组两名成员共同收集并定期检查数据收集情况，对有疑问的数据进行标注后返回复核。

1.5 统计分析 应用 SPSS 25.0 进行统计分析，连续性变量呈正态分布用均数 ± 标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，非正态分布用中位数和四分位数[$M(P_{25}, P_{75})$]表示，分类变量以频数（百分比）[n（%）]表示。为避免变量遗漏，将单因素分析 $P<0.1$ 的变量纳入 Logistic 回归模型进行多因素分析，以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。以受试者工作特征曲线下面积（AUC）和 *Hosmer-Lemeshow* 拟合优度检验评价模型区分度和校准度，AUC＞0.7 表示模型预测效能较理想[10]，采用 R 4.4.1 构建列线图模型，绘制校准曲线及决策曲线分析（DCA）曲线。本研究设计遵循《个体预后或诊断的多变量预测模型透明报告》声明[11]。

2 结果

2.1 患者基线资料 2020 年 1 月—2024 年 6 月徐州医科大学附属医院符合纳入和排除标准的患者共 330 例，以 7∶3 的比例随机分为训练组和内部验证组，训练组患者 231 例，内部验证组患者 99 例。训练组中，CLABSI 患者 18 例，发病率为 0.48‰，局部感染患者 57 例，发病率为 1.53‰。内部验证组，CLABSI 患者 8 例，发病率为 0.5‰，局部感染患者 27 例，发病率为 1.70‰。训练组和内部验证组两组患者基线资料比较，差异均无统计学意义（均 $P>0.05$），见表 1。

外部验证组患者 111 例，包括武汉大学中南医院 50 例，青海省人民医院 61 例，其中，CLABSI 患者 11 例，发病率为 0.66‰；局部感染患者 6 例，发病率为 0.36‰。训练组与外部验证组两组患者基线资料比较，CRI 发病率、置管类型、置管部位、透析频率及清蛋白水平差异均具有统计学意义（$P<0.05$），见表 2。

2.2 CRI 危险因素分析 训练组单因素分析有统计学意义的变量纳入多因素 Logistic 回归模型，结果显示存在导管感染史（$OR=2.837$，$P=0.022$）、非首次置管（$OR=3.682$，$P=0.001$）、置管部位（股静脉）（$OR=3.124$，$P=0.015$）、置管时间长（$OR=1.012$，$P=0.006$）、糖尿病（$OR=3.397$，$P<0.001$）为 MHD 患者 CRI 独立危险因素，清蛋白升高（$OR=0.903$，$P=0.001$）为保护因素。见表 3、4。

2.3 CRI 风险预测模型的构建与验证 Logistic 回归方程模型：logit(P) = 1.611 + 1.043×存在导管感染史 + 1.303×非首次置管 + 1.139×置管部位（股静脉）+ 0.012×置管时间（周）+ 1.223×糖尿病 − 0.102×清蛋白。绘制列线图预测模型，见图 1。将每个预测因子对应的分数相加即为总分，总分对应的风险值代表患者发生 CRI 的概率。

训练组 AUC 值为 0.805（95% *CI*：0.743～0.867），约登指数最大值为 0.548，灵敏度为 0.747，特异度为 0.801；内部验证组 AUC 值为 0.841（95% *CI*：0.761～0.920），约登指数最大值为 0.607，灵敏度为 0.857，特异度为 0.750；外部验证 AUC 值为 0.800（95% *CI*：0.682～0.918），约登指数最大值为 0.578，灵敏度为 0.706，特异度为 0.872。见图 2。3 组 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验结果均 $P>0.05$。该模型在训练组、内部验证组及外部验证组均具有良好的区分度和校准度，校准曲线见图 3。DCA 曲线显示 CRI 发生的概率阈值：训练组为＞8%、内部验证组为 7%～78%、外部验证组为 4%～45%，通过此模型干预比不进行任何干预及全体干预可获得更高的效益。见图 4。

表 1　训练组与内部验证组患者基线资料比较

Table 1　Comparison of baseline characteristics between the training and internal validation sets

变量	训练组(n = 231)	内部验证组(n = 99)	$\chi^2/Z/t$	P
发生 CRI[例(%)]			1.137	0.610
是	75(32.5)	35(35.4)		
否	156(67.5)	64(64.6)		
性别[例(%)]			0.896	0.655
男	146(63.2)	60(60.6)		
女	85(36.8)	39(39.4)		
年龄[岁,例(%)]			0.904	0.679
<60	132(57.1)	59(59.6)		
≥60	99(42.9)	40(40.4)		
身体质量指数[kg/m^2,例(%)]			1.130	0.752
≤28	208(90.0)	88(88.9)		
>28	23(10.0)	11(11.1)		
原发病类型[例(%)]			1.038	0.902
非糖尿病肾病	188(81.4)	80(80.8)		
糖尿病肾病	43(18.6)	19(19.2)		
置管类型[例(%)]			0.962	0.878
TCC	75(32.5)	33(33.3)		
NCC	156(67.5)	66(66.7)		
置管部位[例(%)]			0.975	0.944
颈静脉	200(86.6)	86(86.9)		
股静脉	31(13.4)	13(13.1)		
透析频率[次/周,例(%)]			0.850	0.547
3	173(74.9)	71(71.7)		
2	58(25.1)	28(28.3)		
置管时间(周)	10(4,15)	10(6,17)	1.000	0.978
透析龄(月)	32(12,48)	25(11,45)	0.999	0.687
非首次置管[例(%)]			1.223	0.474
是	50(21.6)	25(25.3)		
否	181(78.4)	74(74.7)		
存在导管感染史[例(%)]			0.560	0.142
是	35(15.2)	9(9.1)		
否	196(84.8)	90(90.9)		
高血压[例(%)]			0.533	0.069
是	208(90.0)	82(82.8)		
否	23(10.0)	17(17.2)		
糖尿病[例(%)]			1.587	0.057
是	86(37.2)	48(48.5)		
否	145(62.8)	51(51.5)		
病毒性肝炎[例(%)]			1.382	0.316
是	32(13.9)	18(18.2)		
否	199(86.1)	81(81.8)		
白细胞计数(×10^9/L)	6.1(5.0,8.2)	6.0(4.5,7.6)	0.959	0.305
血小板计数(×10^9/L)	175(139,221)	174(131,234)	1.000	0.822
血红蛋白(g/L)	96.1±21.2	98.0±20.9	1.004	0.446
清蛋白(g/L)	38.3(33.4,41.4)	39.0(35.3,42.6)	0.993	0.522
血肌酐(μmol/L)	606(452,814)	581(434,772)	1.000	0.988
血尿素氮(mmol/L)	20.4(15.3,24.7)	20.4(13.0,26.5)	1.000	1.000
甲状旁腺激素(pg/mL)	208.9(111.2,356.5)	205.4(93.3,319.7)	1.000	0.563
血钙(mmol/L)	2.1(2.0,2.2)	2.1(2.0,2.1)	0.952	0.642
血磷(mmol/L)	1.7(1.3,2.0)	1.6(1.1,2.1)	1.001	0.997
血钠(mmol/L)	138.0(135.7,140.4)	137.9(135.5,140.1)	0.963	0.200
血钾(mmol/L)	4.5±0.7	4.5±0.8	1.026	0.871

表 2 训练组与外部验证组患者基线资料比较

Table 2 Comparison of baseline characteristics between the training and external validation sets

变量	训练组(n = 231)	外部验证组(n = 111)	$\chi^2/Z/t$	P
发生 CRI[例(%)]			0.376	0.001
是	75(32.5)	17(15.3)		
否	156(67.5)	94(84.7)		
性别[例(%)]			1.309	0.253
男	146(63.2)	63(56.8)		
女	85(36.8)	48(43.2)		
年龄[岁,例(%)]			1.513	0.074
<60	132(57.1)	52(46.8)		
≥60	99(42.9)	59(53.2)		
身体质量指数[kg/m^2,例(%)]			0.609	0.268
≤28	208(90.0)	104(93.7)		
>28	23(10.0)	7(6.3)		
原发病类型[例(%)]			1.546	0.112
非糖尿病肾病	188(81.4)	82(73.9)		
糖尿病肾病	43(18.6)	29(26.1)		
置管类型[例(%)]			2.538	<0.001
TCC	75(32.5)	61(55.0)		
NCC	156(67.5)	50(45.0)		
置管部位[例(%)]			0.438	0.004
颈静脉	200(86.6)	82(73.9)		
股静脉	31(13.4)	29(26.1)		
透析频率[次/周,例(%)]			4.981	<0.001
3	173(74.9)	104(93.7)		
2	58(25.1)	7(6.3)		
置管时间(周)	10(4,15)	14(6,23)	1.101	0.702
透析龄(月)	32(12,48)	20(5,38)	1.006	0.070
非首次置管[例(%)]			0.748	0.330
是	50(21.6)	19(17.1)		
否	181(78.4)	92(82.9)		
存在导管感染史[例(%)]			1.384	0.279
是	35(15.2)	22(19.8)		
否	196(84.8)	89(80.2)		
高血压[例(%)]			0.535	0.062
是	208(90.0)	92(82.9)		
否	23(10.0)	19(17.1)		
糖尿病[例(%)]			1.107	0.667
是	86(37.2)	44(39.6)		
否	145(62.8)	67(60.4)		
病毒性肝炎[例(%)]			0.483	0.078
是	32(13.9)	8(7.2)		
否	199(86.1)	103(92.8)		
白细胞计数(×10^9/L)	6.1(5.0,8.2)	6.2(4.7,7.4)	1.033	0.378
血小板计数(×10^9/L)	175(139,221)	166(122,209)	1.003	0.071
血红蛋白(g/L)	96.1±21.2	92.8±21.8	1.007	0.190
清蛋白(g/L)	38.3(33.4,41.4)	34.4(30.0,38.4)	1.113	<0.001
血肌酐(μmol/L)	606(452,814)	637(455,845)	1.000	0.590
血尿素氮(mmol/L)	20.4(15.3,24.7)	18.8(12.3,25.3)	1.007	0.582
甲状旁腺激素(pg/mL)	208.9(111.2,356.5)	277.9(145.0,360.0)	0.999	0.144
血钙(mmol/L)	2.1(2.0,2.2)	2.2(2.0,2.3)	1.027	0.715
血磷(mmol/L)	1.7(1.3,2.0)	1.6(1.2,2.1)	0.836	0.205
血钠(mmol/L)	138.0(135.7,140.4)	138.0(135.2,140.0)	1.015	0.485
血钾(mmol/L)	4.5±0.7	4.5±0.8	1.048	0.758

表 3　MHD 置管患者 CRI 的危险因素单因素分析结果

Table 3　Results of univariate analysis of risk factors for CRI in catheterized MHD patients

变量	CRI 患者(n = 75)	非 CRI 患者(n = 156)	χ^2/Z	P
性别[例(%)]			0.888	0.683
男	46(61.3)	100(64.1)		
女	29(38.7)	56(35.9)		
年龄[岁,例(%)]			1.161	0.598
<60	41(54.7)	91(58.3)		
≥60	34(45.3)	65(41.7)		
身体质量指数[kg/m^2,例(%)]			2.062	0.103
≤28	64(85.3)	144(92.3)		
>28	11(14.7)	12(7.7)		
原发病类型[例(%)]			3.008	0.001
非糖尿病肾病	52(69.3)	136(87.2)		
糖尿病肾病	23(30.7)	20(12.8)		
置管类型[例(%)]			0.558	0.047
TCC	31(41.3)	44(28.2)		
NCC	44(58.7)	112(71.8)		
置管部位[例(%)]			2.187	0.045
颈静脉	60(80.0)	140(89.7)		
股静脉	15(20.0)	16(10.3)		
透析频率[次/周,例(%)]			1.092	0.778
3	57(76.0)	116(74.4)		
2	18(24.0)	40(25.6)		
置管时间(周)	10(4,15)	8(3,11)	1.012	0.001
透析龄（月）	32(12.5,48.0)	29.5(14.0,43.0)	1.006	0.053
非首次置管[例(%)]			4.053	<0.001
是	29(38.7)	21(13.5)		
否	46(61.3)	135(86.5)		
存在导管感染史[例(%)]			3.418	0.001
是	20(26.7)	15(9.6)		
否	55(73.3)	141(90.4)		
高血压[例(%)]			1.110	0.826
是	68(90.7)	140(89.7)		
否	7(9.3)	16(10.3)		
糖尿病[例(%)]			3.531	<0.001
是	43(57.3)	43(27.6)		
否	32(42.7)	113(72.4)		
病毒性肝炎[例(%)]			0.789	0.573
是	9(12.0)	23(14.7)		
否	66(88.0)	133(85.3)		
白细胞计数(×10^9/L)	6.1(5.0,8.1)	6.0(4.8,7.8)	1.008	0.761
血小板计数(×10^9/L)	185.6(139,220)	173(139,219)	1.000	0.901
血红蛋白(g/L)	96(82,110)	97(83,111)	0.992	0.214
清蛋白(g/L)	38.3(33.5,41.4)	40.3(35.9,43.1)	0.893	<0.001
血肌酐(μmol/L)	606.0(452.5,812.5)	652.0(468.0,851.0)	0.999	0.123
血尿素氮(mmol/L)	20.4(15.3,24.7)	20.4(14.5,26.1)	0.984	0.357
甲状旁腺激素(pg/mL)	208.9(111.5,356.1)	204.4(99.2,340.3)	1.000	0.728
血钙(mmol/L)	2.1(1.9,2.2)	2.1(2.0,2.2)	0.563	0.236
血磷(mmol/L)	1.7(1.3,2.0)	1.7(1.4,2.1)	0.835	0.483
血钠(mmol/L)	138.0(135.8,140.4)	138.4(136.0,140.8)	0.931	0.049
血钾(mmol/L)	4.5(4.0, 4.9)	4.5(3.9,5.0)	1.169	0.418

表 4　MHD 置管患者 CRI 危险因素多因素 Logistic 回归分析结果

Table 4　Results of multivariate logistic regression analysis for CRI risk factors

变量	β	S_b	$Wald\ \chi^2$	OR(95%CI)	P
存在导管感染史	1.043	0.456	5.231	2.837(1.161～6.933)	0.022
非首次置管	1.303	0.382	11.667	3.682(1.743～7.779)	0.001
置管部位(股静脉)	1.139	0.468	5.923	3.124(1.248～7.820)	0.015
置管时间	0.012	0.004	7.441	1.012(1.003～1.021)	0.006
糖尿病	1.223	0.342	12.775	3.397(1.737～6.643)	＜0.001
清蛋白	－0.102	0.031	10.914	0.903(0.849～0.959)	0.001
常量	1.611	1.169	1.899	－	－

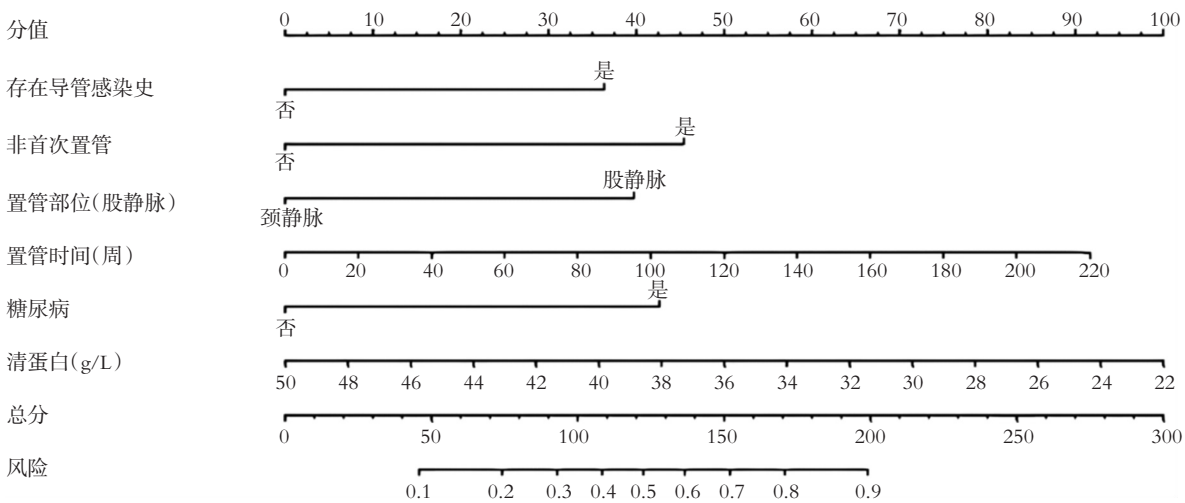


图 1　MHD 患者 CRI 列线图风险预测模型

Figure 1　Nomogram risk prediction model for CRI in MHD patients

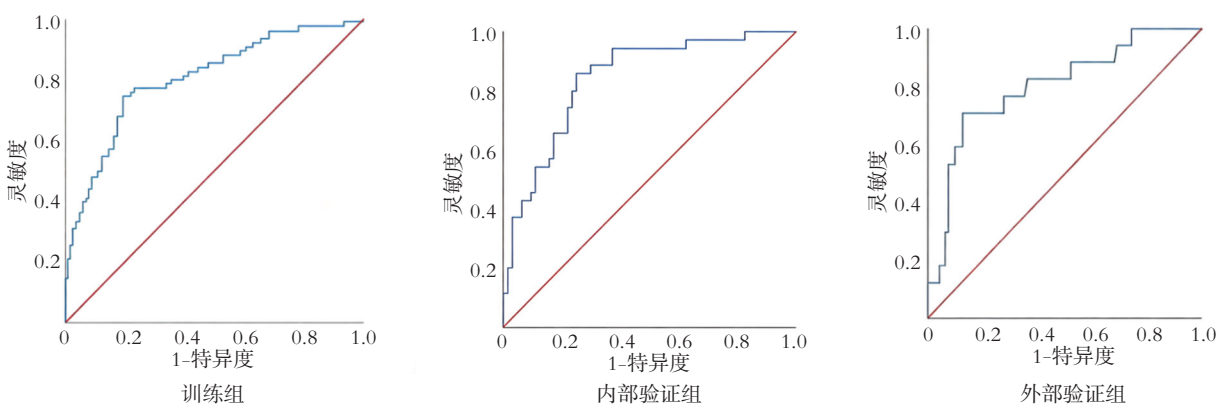


图 2　预测模型各组 ROC 曲线

Figure 2　ROC curves for each group of the prediction model

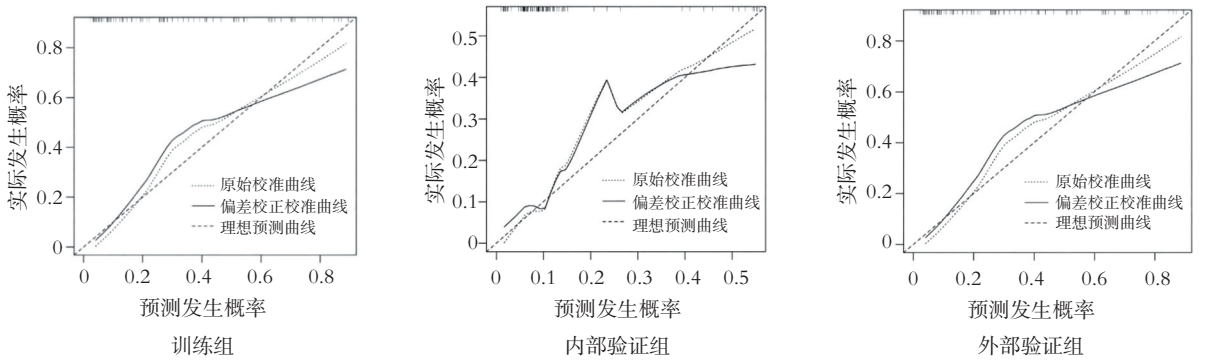


图 3　预测模型各组校准曲线

Figure 3　Calibration curves for each group of the prediction model

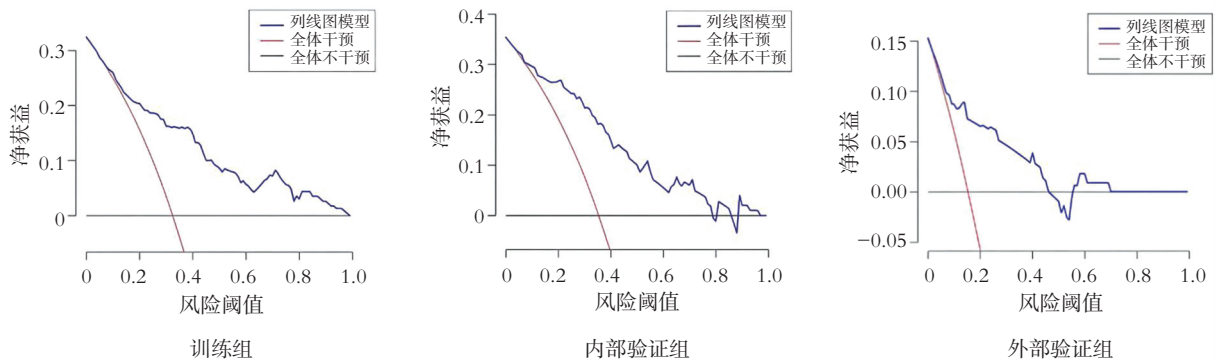


图 4　预测模型各组 DCA 曲线

Figure 4　DCA curves for each group of the prediction model

3　讨论

CVC 在血液透析患者中发挥着重要的作用，但其引发的 CRI 危害仍不可小觑。本研究中心 CRI 发病率低于既往研究[5]结果，这可能归因于信息化血液透析感染事件监测系统的使用。徐州医科大学附属医院于 2017 年已开展血液透析相关感染信息化监测，通过监测数据定期反馈，医护人员可及时发现问题并作出调整；且信息化监测技术可有效提升监测效率，降低医护人员的工作强度，提升感染管理水平，从而降低 CRI 发病率[12]。随着终末期肾病患者数量的增加，血液透析患者数量也在不断上升，面对 MHD 置管患者 CRI 发生的高风险，早期预防对于控制和降低 CRI 发病率具有重要意义。研究[13]显示，利用预测模型可更精准地识别出 CRI 的高危患者，有助于医护人员识别高风险患者并进行早期干预。本研究共分析了 25 个预测因子，结果显示，导管感染史、非首次置管、置管部位（股静脉）、置管时间长、糖尿病为 MHD 患者 CRI 独立危险因素，清蛋白升高为保护性因素，与国内研究[14]结果一致。本研究所建模型的预测效能（AUC = 0.805）与武燕等[15]报道的 0.822 相近，同处于较高水平。本研究模型在保证良好预测能力的同时，纳入了更广泛的预测变量，提升了模型的临床解释性。

本研究显示，既往存在导管感染的患者再次发生 CRI 的风险较高，这可能归因于细菌已在导管表面形成了生物膜。被生物膜包裹的细菌增强了其对免疫系统及抗菌药物的防御能力，使得细菌更难被清除。此外，患者身体抵抗力和免疫功能的下降会增加对细菌入侵的易感性，从而加重再次感染的可能性[16]。非首次置管是 CRI 的危险因素之一。本研究结果显示，非首次置管的患者发生 CRI 的风险是首次 CVC 置管患者的 3.682 倍。究其原因，CVC 置管属于侵入性操作，细菌易从导管口或置管部位入侵，从而引发局部或全身感染，反复置管必然导致细菌入侵的机会增加，与既往研究[17]结果一致。股静脉邻近会阴、肛门等高污染区域，易受排泄

物污染。此外，该处皮肤皱褶深，周围皮肤微生物定植较多，极易诱发感染[18]。

已有研究[19]证实，导管感染风险与留置时间呈正比。本研究结果同样显示，导管留置时间越长，患者经历血液透析的次数就越多，封管、换药等操作导致导管暴露于空气中的次数也相应增加，细菌通过导管移行入血的机会随之增加，最终可经血液循环诱发全身性感染[20]。合并糖尿病的慢性肾衰竭血液透析患者血糖水平较高，可引起乳酸和酮体合成增加，蛋白质合成减少，导致血液黏稠度升高，白细胞吞噬能力和趋化功能受到抑制，进而使抗体、免疫球蛋白、补体等免疫因子合成减少，机体免疫抑制较为严重，使得病原菌更易入侵，引起 CLABSI[21]。一项关于糖尿病对 MHD 患者生存率影响的研究[22]显示，无论糖尿病作为原发病还是伴发病，其生存率均低于无糖尿病的 MHD 患者。本研究与现有文献[17,23]报道的结果一致，即清蛋白为 MHD 患者的保护因素。清蛋白水平在一定程度上反映了患者的营养状态，MHD 患者清蛋白降低意味着免疫球蛋白相应下降，从而导致免疫功能紊乱，增加 CRI 风险[16,23]。本研究结果中，年龄未显示统计学差异，这可能由混杂因素或研究对象的选择偏倚所致，虽然未将高龄列为 CRI 的独立危险因素，但这并不否定其临床意义。

本研究为回顾性研究，对 CRI 相关预测变量的分析可能不够全面，如患者是否有吸烟史、急性生理与慢性健康评分，以及医护人员操作时手卫生情况等未被记录，无法纳入研究分析，这可能会对模型的预测性能产生一定影响。未来对血液透析置管患者 CRI 相关危险因素及风险预测模型的研究，需进一步扩大样本量，开展前瞻性多中心研究，纳入更全面的预测因子，以期为临床提供更准确、可靠的证据支持。

本研究基于系统性文献回顾结合小组讨论确定预测变量，利用血液透析信息化监测系统收集患者基线资料，保证了数据的可靠性，经过单因素及多因素分析，最终得到基于存在导管感染史、非首次置管、置管部位、置管时间、糖尿病及清蛋白这 6 个因素构建的 CRI 风险预测模型，该模型在训练组、内部验证组及外部验证组均具有良好的区分度、校准度、泛化能力及临床效益，可协助临床医护人员对 MHD 置管患者进行 CRI 风险评估，早期识别高风险患者并制定个体化干预措施，以期降低血液透析相关 CRI 的发病率。

作者贡献声明：郭紫晴负责研究方案设计、数据采集与整理、论文撰写与修订；云震负责数据核查与论文修订；张冰参与研究数据收集、论文修订；王顺彩、吴松杰、谈宜斌协助实验数据收集；茅一萍负责研究项目立项、实验方案整体设计与全程指导。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突。

[参 考 文 献]

[1] Thurlow JS, Joshi M, Yan GF, et al. Global epidemiology of end-stage kidney disease and disparities in kidney replacement therapy[J]. Am J Nephrol, 2021, 52(2): 98-107.

[2] GBD Chronic Kidney Disease Collaboration. Global, regional, and national burden of chronic kidney disease, 1990-2017: a systematic analysis for the global burden of disease study 2017[J]. Lancet, 2020, 395(10225): 709-733.

[3] Himmelfarb J, Vanholder R, Mehrotra R, et al. The current and future landscape of dialysis[J]. Nat Rev Nephrol, 2020, 16(10): 573-585.

[4] Nguyen DB, Shugart A, Lines C, et al. National healthcare safety network (NHSN) dialysis event surveillance report for 2014[J]. Clin J Am Soc Nephrol, 2017, 12(7): 1139-1146.

[5] 王凯，王沛，梁献慧，等. 中国河南省 14 个血液净化中心 865 例尿毒症患者血液透析导管并发症的流行病学调查[J]. 英国医学杂志(中文版)，2016，19(4)：199-207.
Wang K, Wang P, Liang XH, et al. Epidemiology of haemodialysis catheter complications: a survey of 865 dialysis patients from 14 haemodialysis centres in Henan province in China[J]. The BMJ Chinese Edition, 2016, 19(4): 199-207.

[6] Gao S, Albu E, Tuand K, et al. Systematic review finds risk of bias and applicability concerns for models predicting central line-associated bloodstream infection[J]. J Clin Epidemiol, 2023, 161: 127-139.

[7] Riley RD, Ensor J, Snell KIE, et al. Calculating the sample size required for developing a clinical prediction model[J]. BMJ, 2020, 368: m441.

[8] 刘莺歌，吴燕，曹秋君，等. 肠造口周围潮湿相关性皮肤损伤风险预测模型的构建及应用[J]. 中华护理杂志，2021，56(11)：1612-1617.
Liu YG, Wu Y, Cao QJ, et al. The development and validation of a risk prediction model for peristomal moisture-associated skin damage[J]. Chinese Journal of Nursing, 2021, 56(11): 1612-1617.

[9] Allon M, Brouwer-Maier DJ, Abreo K, et al. Recommended clinical trial end points for dialysis catheters[J]. Clin J Am Soc Nephrol, 2018, 13(3): 495-500.

[10] Hoesseini A, van Leeuwen N, Sewnaik A, et al. Key aspects

of prognostic model development and interpretation from a clinical perspective[J]. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg, 2022, 148(2): 180-186.

[11] Collins GS, Reitsma JB, Altman DG, et al. Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD): the TRIPOD statement. The TRIPOD Group[J]. Circulation, 2015, 131(2): 211-219.

[12] 高洁, 石荃, 茅一萍, 等. 基于优化的信息化监测软件开展血液透析事件监测[J]. 中国感染控制杂志, 2021, 20(9): 838-843.
Gao J, Shi Q, Mao YP, et al. Monitoring on hemodialysis events based on optimized information monitoring software [J]. Chinese Journal of Infection Control, 2021, 20(9): 838-843.

[13] 黄华勇, 罗勤, 胡雅静, 等. 中心静脉导管相关性血流感染风险预测模型的研究进展[J]. 上海护理, 2023, 23(5): 54-57.
Huang HY, Luo Q, Hu YJ, et al. Research progress on risk prediction models of catheter-related bloodstream infection[J]. Shanghai Nursing, 2023, 23(5): 54-57.

[14] 孙毅, 朱泽善, 张浩军. 血液透析患者导管相关感染危险因素及风险预测模型研究进展[J]. 中华医院感染学杂志, 2025, 35(8): 1261-1267.
Sun Y, Zhu ZS, Zhang HJ. Progress of research on risk factors for catheter-associated infections in hemodialysis patients and risk prediction model[J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2025, 35(8): 1261-1267.

[15] 武燕, 师璟, 陆伟锋, 等. 血液透析患者中心静脉导管相关性感染的危险因素及预测模型构建[J]. 中华医院感染学杂志, 2024, 34(10): 1584-1588.
Wu Y, Shi J, Lu WF, et al. Risk factors for central venous catheter-related infections in hemodialysis patients and establishment of prediction model[J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2024, 34(10): 1584-1588.

[16] Guo HJ, Zhang L, He H, et al. Risk factors for catheter-associated bloodstream infection in hemodialysis patients: a meta-analysis[J]. PLoS One, 2024, 19(3): e0299715.

[17] Lee YM, Ryu BH, Hong SI, et al. Clinical impact of early reinsertion of a central venous catheter after catheter removal in patients with catheter-related bloodstream infections[J]. Infect Control Hosp Epidemiol, 2021, 42(2): 162-168.

[18] Shahar S, Mustafar R, Kamaruzaman L, et al. Catheter-related bloodstream infections and catheter colonization among haemodialysis patients: prevalence, risk factors, and outcomes[J]. Int J Nephrol, 2021, 2021: 5562690.

[19] 滕支梅, 朱尚, 薛寒, 等. 基于倾向性评分匹配的 ICU 中心静脉导管相关血流感染危险因素[J]. 中国感染控制杂志, 2024, 23(11): 1405-1412.
Teng ZM, Zhu S, Xue H, et al. Risk factors of central line-associated bloodstream infection in the intensive care unit based on propensity score matching[J]. Chinese Journal of Infection Control, 2024, 23(11): 1405-1412.

[20] Farrington CA, Allon M. Management of the hemodialysis patient with catheter-related bloodstream infection[J]. Clin J Am Soc Nephrol, 2019, 14(4): 611-613.

[21] Donati G, Spazzoli A, Croci Chiocchini AL, et al. Bloodstream infections and patient survival with tunneled-cuffed catheters for hemodialysis: a single-center observational study[J]. Int J Artif Organs, 2020, 43(12): 767-773.

[22] Chang YT, Wu JL, Hsu CC, et al. Diabetes and end-stage renal disease synergistically contribute to increased incidence of cardiovascular events: a nationwide follow-up study during 1998-2009[J]. Diabetes Care, 2014, 37(1): 277-285.

[23] Muthukuda C, Suriyakumara V, Samarathunga T, et al. Non-tunneled haemodialysis catheter-related blood stream infections and associated factors among first time haemodialysis patients: a prospective study from a tertiary care hospital in Sri Lanka [J]. BMC Nephrol, 2024, 25(1): 280.

(本文编辑:左双燕)

本文引用格式:郭紫晴,云震,张冰,等.维持性血液透析导管相关感染风险预测模型构建与验证:一项回顾性队列研究[J].中国感染控制杂志,2026,25(8):1138-1147. DOI:10.12138/j.issn.1671-9638.20263287.

Cite this article as: GUO Ziqing, YUN Zhen, ZHANG Bing, et al. Development and validation of a risk prediction model for catheter-related infections in maintenance hemodialysis: a retrospective cohort study[J]. Chin J Infect Control, 2026, 25(8): 1138-1147. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20263287.