

DOI:10. 12138/j. issn. 1671—9638. 20256972

· 论 著 ·

神经外科术后耐碳青霉烯类肠杆菌目感染患者住院期间预后列线图预测模型的构建及验证

江佳艳¹, 施丹丹¹, 尹贤哲¹, 刘银梅¹, 王俊杰²
(上海市第十人民医院 1. 院内感染与疾病控制处; 2. 重症医学科, 上海 200072)

[摘 要] 目的 探讨神经外科术后耐碳青霉烯类肠杆菌目(CRE)医院感染患者预后的影响因素,构建并验证列线图预测模型。方法 收集 2018—2023 年上海市某三级医院神经外科术后发生 CRE 感染的患者资料,根据预后分为死亡组和生存组,采用 LASSO 回归和多因素 COX 回归分析筛选独立危险因素并构建列线图模型,基于 Bootstrap 内部验证法绘制受试者工作特征(ROC)曲线、校准曲线、决策曲线(DCA)评价模型效果。结果 共纳入患者 241 例,其中生存组 221 例,死亡组 20 例。LASSO 和 COX 回归分析结果显示,性别、住院日数>30 d、单核细胞百分比(MONO%)降低、肌酐(Cr)升高是神经外科术后 CRE 医院感染患者发生死亡的独立危险因素。依此建立神经外科术后 CRE 患者死亡风险列线图预测模型,模型验证结果显示,30 d 时,校准曲线趋近于理想曲线,ROC 曲线下面积为 0. 981(95%CI:0. 947~1. 000),DCA 曲线显示死亡风险阈值分别超过 8. 36%时,有较高的净获益值。结论 基于 LASSO-COX 回归分析建立的神经外科术后 CRE 医院感染患者住院期间预后列线图预测模型具有较好的拟合优度及预测效能,有助于为临床及早筛查高风险患者并采取干预措施提供参考。

[关 键 词] 耐碳青霉烯类肠杆菌目; 手术后感染; 神经外科; 预后; 预测模型; 列线图

[中图分类号] R181. 3⁺ 2

Construction and validation of a nomogram prediction model for prognosis during hospitalization in patients with carbapenem-resistant *Enterobacterales* infection after neurosurgical procedure

JIANG Jiayan¹, SHI Dandan¹, YIN Xianzhe¹, LIU Yinmei¹, WANG Junjie² (1. Department of Infection and Disease Control; 2. Department of Critical Care Medicine, Shanghai Tenth People's Hospital, Shanghai 200072, China)

[Abstract] Objective To explore the factors affecting the prognosis of patients with carbapenem-resistant *Enterobacterales* (CRE) healthcare-associated infection (HAI) after neurosurgical procedure, construct and validate a nomogram prediction model. Methods Data of patients with CRE infection after neurosurgical procedure in a tertiary hospital in Shanghai from 2018 to 2023 were collected, patients were divided into death group and survival group based on prognosis. LASSO regression and multivariate COX regression analysis were adopted to screen independent risk factors and construct nomogram prediction model. Receiver operating characteristic (ROC) curve, calibration curve, and decision curve analysis (DCA) were drawn based on Bootstrap internal validation method to evaluate the effectiveness of the model. Results A total of 241 patients were included in analysis, with 221 in the survival group and 20 in the death group. The LASSO and COX regression analysis results showed that gender, length of hospital stay >30 days, decreased monocyte percentage (MONO%), and elevated creatinine (Cr) were independent risk factors for death in patients with CRE HAI after neurosurgical procedure. The nomogram prediction model for

[收稿日期] 2025 - 03 - 10
[基金项目] 上海申康医院发展中心资助项目(SHDC2024CRI035)
[作者简介] 江佳艳(1995 -),女(汉族),江苏省南通市人,硕士研究生在读,主要从事多重耐药菌感染预防与控制研究。
[通信作者] 刘银梅 E-mail: meixiang312@163. com

risk of death in CRE patients after neurosurgical procedure was established based on these findings. The model validation results showed that at the 30th day, the calibration curve approached the ideal curve, the area under the ROC curve was 0.981 (95%CI: 0.947–1.000), the DCA curve showed that when the threshold of risk of death exceeded 8.36%, there was a higher net benefit value. **Conclusion** The nomogram prediction model for prognosis during hospitalization in CRE HAI patients after neurosurgical procedure constructed based on LASSO-COX regression analysis has good goodness of fit and predictive performance, which can provide reference for early screening of high-risk patients and implementation of intervention measures in clinical practice.

[Key words] carbapenem-resistant *Enterobacterales*; postoperative infection; neurosurgery; prognosis; prediction model; nomogram

神经外科多以脑部肿瘤、脑血管病变患者为主，是临床危重症患者较多的科室之一，多采用手术治疗以提高患者生存率^[1]；然而，研究^[2-3]显示，我国神经外科术后医院感染率为 5%~28%，以呼吸机相关肺炎、颅内感染为主要类型，其中耐碳青霉烯类肠杆菌目（carbapenem-resistant *Enterobacterales*, CRE）检出率逐年增高，其感染率已达 20%~30%^[4]，治疗难度日渐加大，易导致免疫力缺乏或低下患者住院时间延长及病死率增加，从而严重影响患者预后。既往研究多分析建立术后 CRE 感染的预测模型，从而为及早识别神经外科术后 CRE 感染高危因素，采取针对性措施以降低感染率提供依据；但 CRE 医院感染病死率已从 24% 上升至 70%^[5]，而目前已发表预测模型较少关注术后 CRE 感染对患者预后的影响。列线图预测模型以回归模型为基础，将纳入的危险因素对结局事件的贡献度进行可视化以用于直观预测事件发生概率，现已广泛用于预测临床风险事件^[6]。本研究旨在构建神经外科术后 CRE 感染预后的列线图预测模型，以便为早期识别不良预后患者，采取个性化防治措施，降低患者病死率提供参考。

1 对象与方法

1.1 研究对象 选取上海市某三级医院 2018—2023 年神经外科术后 CRE 感染患者为研究对象，并根据预后分为死亡组和生存组。纳入标准：(1)接受颅脑外科手术治疗；(2)年龄≥18 岁；(3)符合《医院感染诊断标准(试行)》^[7]中的相关诊断标准，经菌株鉴定及药敏试验确定为 CRE，CRE 判定标准为对亚胺培南、美罗培南、多利培南 3 种碳青霉烯类抗生素至少 1 种耐药的肠杆菌目细菌；(4)入院>48 h。排除临床资料不全导致变量数据缺失过多的患者。

1.2 研究方法 参考既往文献及临床经验，通过医院信息管理系统回顾性收集患者资料，包括(1)基本信息：年龄、性别、入院及出院日期、转入及转出重症监护病房(ICU)日期、入院诊断(颅脑肿瘤、脑血管病、颅脑外伤、神经系统功能性疾病等)、基础疾病(高血压、糖尿病、心血管疾病、肺部疾病)；(2)手术及侵入性操作：手术日期、手术类型、深静脉置管、机械通气、脑室外引流、腰大池引流；(3)感染及抗菌药物使用情况：感染日期、感染部位、药敏试验结果、抗菌药物类别(喹诺酮类、β-内酰胺类、大环内酯类、氨基糖苷类、糖肽类、恶唑烷酮类、甲硝唑、四环素、林可霉素及克林霉素)；(4)最接近第一次感染日期的实验室检查指标：C 反应蛋白(CRP)、平均红细胞血红蛋白量(MCH)、平均红细胞血红蛋白浓度(MCHC)、平均红细胞体积(MCV)、白细胞计数(WBC)、单核细胞百分比(MONO%)、单核细胞绝对值(MONO)、红细胞计数(RBC)、红细胞比积(HCT)、红细胞分布宽度(RDW)、淋巴细胞百分比(LYM%)、淋巴细胞绝对数(LYM)、血红蛋白(Hb)、血小板计数(PLT)、血小板分布宽度(PDW)、血小板平均体积(MPV)、血小板压积(PCT)、中性粒细胞百分比(NEUT%)、中性粒细胞绝对数(NEUT)、清蛋白(ALB)、丙氨酸转氨酶(ALT)、天冬氨酸转氨酶(AST)、血肌酐(Cr)、尿素(Sur)、尿酸(UA)、预后营养指数(PNI)。

1.3 统计学方法 应用 SPSS 26.0 及 R 4.0.4 软件进行数据分析，计数资料以例(%)表示，采用四格表 χ^2 检验进行组间比较；不符合正态分布的计量资料以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示，采用 Mann-Whitney U 检验进行组间比较。采用 LASSO 回归筛选出非零系数的预测因素后，以住院期间诊断 CRE 医院感染至治愈出院、病情稳定或死亡的时间为生存时间、以是否死亡为生存结局进行多因素 COX 回归筛选影响神

经外科术后 CRE 感染患者预后的危险因素,并通过 R 软件 rms 包构建并绘制列线图预测模型,基于 Bootstrap 内部验证法($B = 1\ 000$)绘制校准曲线以评估模型一致性,受试者工作特征(ROC)曲线以评估区分度,决策曲线以评估临床获益度^[8]。 $P \leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者基本情况及实验室检查指标比较 共纳

表 1 生存组与死亡组患者的基本情况比较[例(%)]

Table 1 Comparison of basic information between patients in survival group and death group (No. of cases [%])

变量	生存组 (<i>n</i> = 221)	死亡组 (<i>n</i> = 20)	χ^2	<i>P</i>
性别			0.291	0.590
男性	141(63.8)	11(55.0)		
女性	80(36.2)	9(45.0)		
年龄(岁)			7.564	0.006
≤65	110(49.8)	3(15.0)		
>65	111(50.2)	17(85.0)		
住院日数(d)			0.387	0.534
≤30	78(35.3)	9(45.0)		
>30	143(64.7)	11(55.0)		
入住 ICU 日数(d)			0.075	0.990
≤30	161(72.9)	14(70.0)		
>30	60(27.1)	6(30.0)		
入院诊断			2.290	0.130
非脑血管病	100(45.2)	5(25.0)		
脑血管病	121(54.8)	15(75.0)		
手术类型			2.735	0.098
择期	115(52.0)	6(30.0)		
急诊	106(48.0)	14(70.0)		
基础疾病			0.849	0.357
有	92(41.6)	11(55.0)		
无	129(58.4)	9(45.0)		

变量	生存组 (<i>n</i> = 221)	死亡组 (<i>n</i> = 20)	χ^2	<i>P</i>
深静脉置管			0.072	0.789
是	188(85.1)	18(90.0)		
否	33(14.9)	2(10.0)		
机械通气			0.843	0.358
是	161(72.9)	17(85.0)		
否	60(27.1)	3(15.0)		
脑室外引流			0.075	0.990
是	60(27.1)	6(30.0)		
否	161(72.9)	14(70.0)		
腰大池引流			0.484	0.486
是	42(19.0)	2(10.0)		
否	179(81.0)	18(90.0)		
联用抗菌药物			0.085	0.770
是	194(87.8)	18(90.0)		
否	27(12.2)	2(10.0)		
CRE 感染部位			0.917	0.338
非下呼吸道	61(27.6)	3(15.0)		
下呼吸道	160(72.4)	17(85.0)		
合并感染其他多重耐 药菌			1.122	0.290
是	58(26.2)	8(40.0)		
否	163(73.8)	12(60.0)		

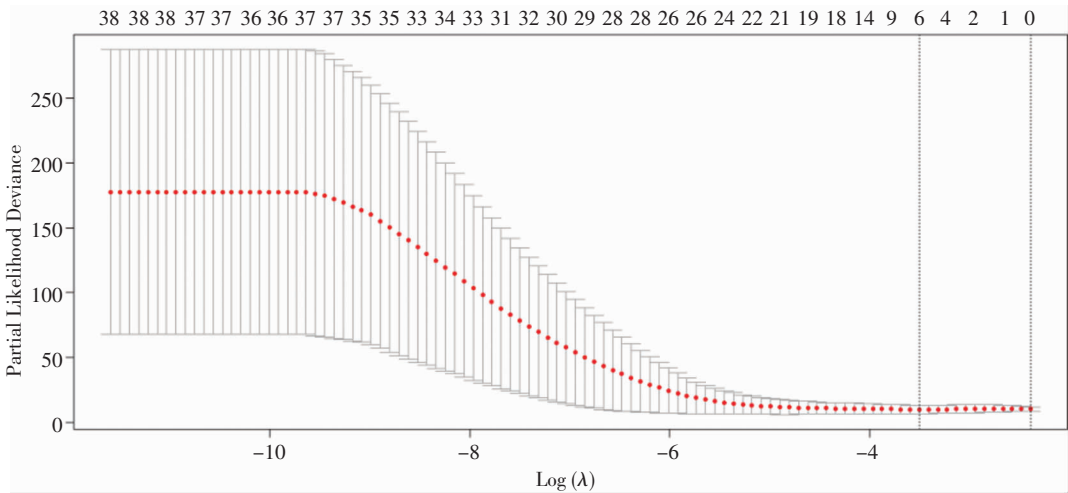
2.2 影响神经外科术后 CRE 感染患者预后的因素筛选 以患者是否死亡及相应的生存时间为因变量,通过 LASSO 回归分析(五折交叉验证)绘图寻找最佳回归参数(见图 1)以及绘制参数收敛曲线,

入神经外科术后 CRE 感染患者 241 例,其中男性 152 例,女性 89 例,年龄 66(56,73)岁。基于患者术后住院期间的生存情况,将患者分为生存组(221 例)和死亡组(20 例)。两组患者的基本情况比较,除年龄外,其余变量差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$),见表 1。两组患者的实验室检查指标比较,MONO%、PLT、MPV、PCT、ALB、Cr、Sur、PNI 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$),见表 2。

见图 2,经分析 $\lambda = 0.03$ 时,模型精度最佳且筛选变量结果最佳,共筛选出 6 个潜在预测因素,包括年龄、住院日数、是否进行腰大池引流、MONO%、MPV、Cr,见表 3。

表 2 生存组与死亡组患者的实验室检查指标比较[$M(P_{25}, P_{75})$]

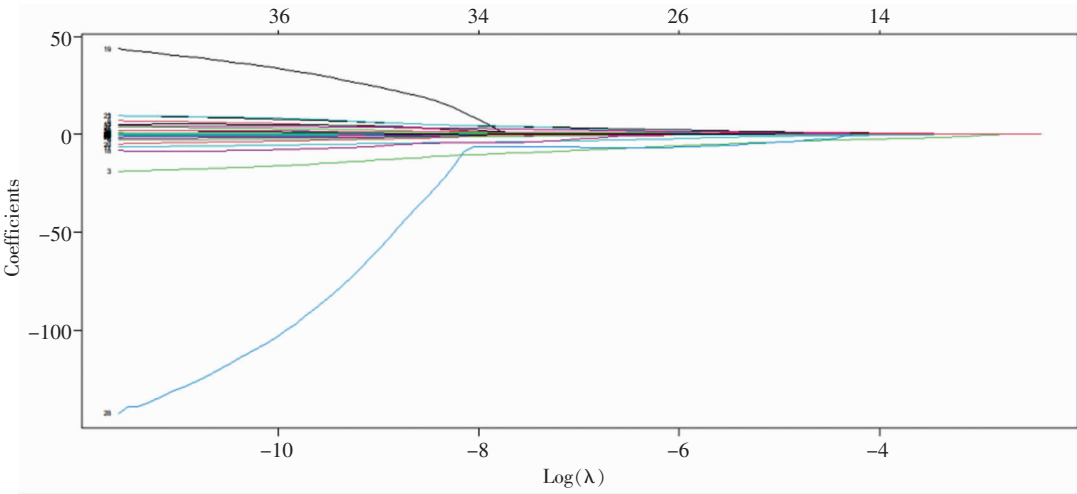
变量	生存组($n = 221$)	死亡组($n = 20$)	Z	P
CRP(mg/L)	58.56(16.90,124.21)	65.76(21.97,109.73)	-0.070	0.944
MCH(pg)	30.40(29.45,31.30)	30.30(29.23,32.55)	-0.948	0.344
MCHC(g/L)	322.00(315.00,329.50)	322.00(310.25,327.00)	0.470	0.639
MCV(fL)	94.00(91.30,97.45)	94.20(91.25,99.35)	-1.204	0.230
WBC($\times 10^9/L$)	11.30(8.25,14.61)	11.45(7.66,16.50)	-0.315	0.753
MONO%	6.10(4.40,7.95)	4.85(3.04,7.38)	1.990	0.048
MONO($\times 10^9/L$)	0.64(0.42,0.93)	0.47(0.32,0.82)	1.639	0.103
RBC($\times 10^{12}/L$)	3.25(2.86,3.70)	3.26(2.89,3.80)	0.250	0.803
HCT(%)	30.80(27.05,34.90)	30.30(28.18,34.95)	-0.031	0.975
RDW(%)	13.00(12.50,14.20)	13.30(12.63,14.85)	-0.930	0.353
LYM%	9.70(6.20,13.80)	8.10(5.33,11.95)	1.452	0.148
LYM($\times 10^9/L$)	1.06(0.72,1.45)	0.75(0.49,1.25)	1.167	0.245
Hb(g/L)	100(85.50,113.00)	100(87.00,110.75)	0.029	0.977
PLT($\times 10^9/L$)	224.00(162.50,307.50)	134.00(111.50,215.25)	2.708	0.007
PDW(%)	15.90(15.20,16.30)	16.10(15.53,16.50)	-1.825	0.069
MPV(fL)	10.50(9.70,11.30)	11.40(10.78,12.68)	-3.270	0.001
PCT(%)	0.24(0.17,0.31)	0.18(0.13,0.22)	2.385	0.018
NEUT%	82.20(76.75,88.00)	83.00(79.18,91.48)	-1.835	0.068
NEUT($\times 10^9/L$)	9.06(6.69,12.57)	9.86(5.86,13.66)	-0.643	0.521
ALB(g/L)	35.40(32.80,38.45)	33.20(29.48,35.88)	2.057	0.041
ALT(U/L)	35.70(24.20,55.50)	25.40(18.33,40.95)	-0.153	0.879
AST(U/L)	37.30(26.65,57.95)	32.15(23.90,46.55)	-0.216	0.829
Cr(mol/L)	57.00(44.65,73.95)	92.60(64.40,120.53)	-5.552	<0.001
Sur(mmol/L)	6.50(4.97,9.76)	12.72(6.75,20.43)	-2.039	0.043
PNI	40.70(37.10,44.45)	37.50(32.13,41.65)	2.216	0.028



注:纵坐标为目标参数,横坐标为 $\log(\lambda)$,两条虚线分别为 λ_{\min} (最小目标参量均值的 λ 值)和 λ_{1se} (在一个方差范围内得到最精简模型的 λ 值),本研究选择 $\lambda_{\min} = 0.03$ 时绘制垂直线后选取 6 个变量。

图 1 LASSO 回归分析筛选神经外科术后 CRE 感染患者预后预测因素图

Figure 1 LASSO regression analysis for screening prognostic factors for patients with CRE infection after neurosurgical procedure



注:各临床变量系数与 log(λ)的关系。

图 2 LASSO 回归参数收敛曲线图

Figure 2 Convergence curve of LASSO regression parameters

表 3 LASSO 回归各危险因素赋值情况
Table 3 The assignment of risk factors in LASSO regression

变量	赋值
年龄	0.38
住院日数	-1.71
腰大池引流	-0.08
MONO%	-0.02
MPV	0.07
Cr	0.01

2.3 影响神经外科术后 CRE 感染患者预后的多因素 COX 回归分析 以患者生存结局及生存时间为因变量,综合考虑具有临床意义的变量及 LASSO 回归中筛选出的重要预测变量为自变量,进行多因素 COX 回归分析,女性、住院日数 > 30 d、MONO% 降低、Cr 升高是神经外科术后 CRE 感染患者住院期间死亡的独立危险因素(均 $P<0.05$),见表 4。

表 4 神经外科术后 CRE 感染患者预后的多因素 COX 回归分析

Table 4 Multivariate COX regression analysis on prognosis of patients with CRE infection after neurosurgical procedure

变量	β	S_b	Z	P	HR	95%CI
女性	1.424	0.610	2.335	0.020	4.152	1.248~13.572
年龄>65 岁	1.314	0.678	1.938	0.053	3.722	0.976~13.904
住院日数>30 d	-3.951	1.070	-3.691	<0.001	0.019	0.002~0.164
腰大池引流	-1.340	0.834	-1.607	0.108	0.262	0.052~1.369
MONO%	-0.263	0.110	-2.400	0.016	0.769	0.618~0.950
MPV	0.351	0.186	1.882	0.060	1.420	0.975~2.024
Cr	0.017	0.005	3.297	0.001	1.017	1.007~1.027

2.4 神经外科术后 CRE 感染患者预后的列线图风险预测模型的构建与验证 基于表 4 列出的因素构建列线图预测模型,各因素对应的分值依次为 24、22、66、22、79、94、100 分,得出各危险因素的总分后,与总分对应的预测概率为神经外科术后 CRE 感

染患者 30 d 时发生死亡结局的概率。如图 3 所示,1 例术后 CRE 感染患者女性、65 岁、未进行腰大池引流、住院日数>30 d、MONO% 为 7.5%、Cr 为 109.5 mol/L、MPV 为 9.6 fL,列线图预测模型总分为 333 分,与之对应的 30 d 死亡概率为 6.83%。

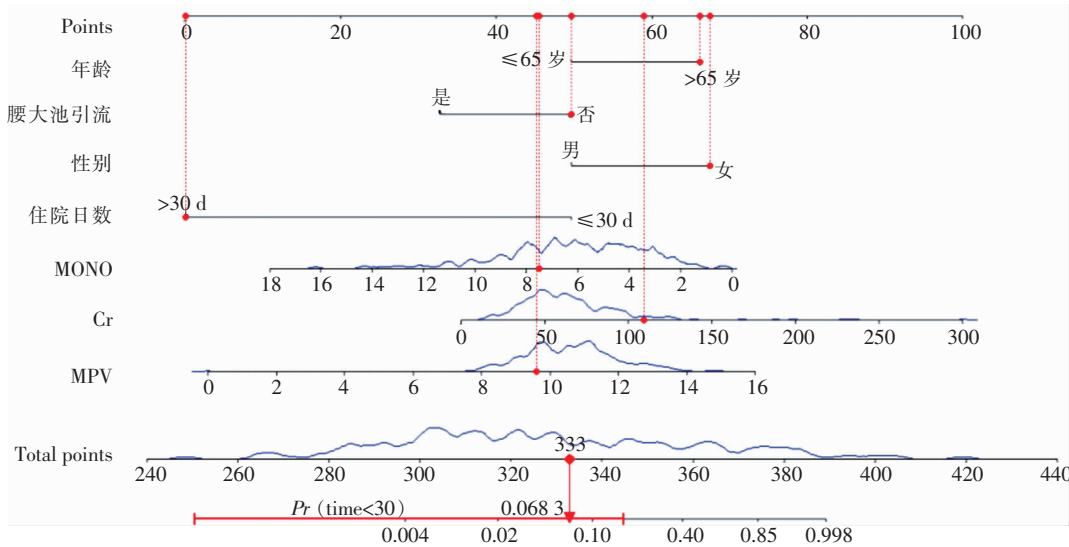


图 3 神经外科术后 CRE 感染患者预后的列线图预测模型

Figure 3 Nomogram prediction model for prognosis of patients with CRE infection after neurosurgery procedure

采用 Bootstrap 法 ($B = 1\,000$) 对列线图模型进行内部验证,结果显示 30 d 时校准曲线趋近于理想曲线,有一定的使用价值,表明预测准确性良好,见图 4;30 d 时的 ROC 曲线下面积 (AUC) 为 0.981 ($95\%CI:0.947\sim1.000$),表明区分度良好;决策曲

线显示,30 d 时的 DCA 曲线显示死亡风险阈值分别超过 8.36% 时,有较高的净获益值,见图 5,即采用 LASSO-COX 回归列线图模型对神经外科术后 CRE 感染患者预后进行预测及干预有明显临床获益,一定程度上可减少死亡发生。

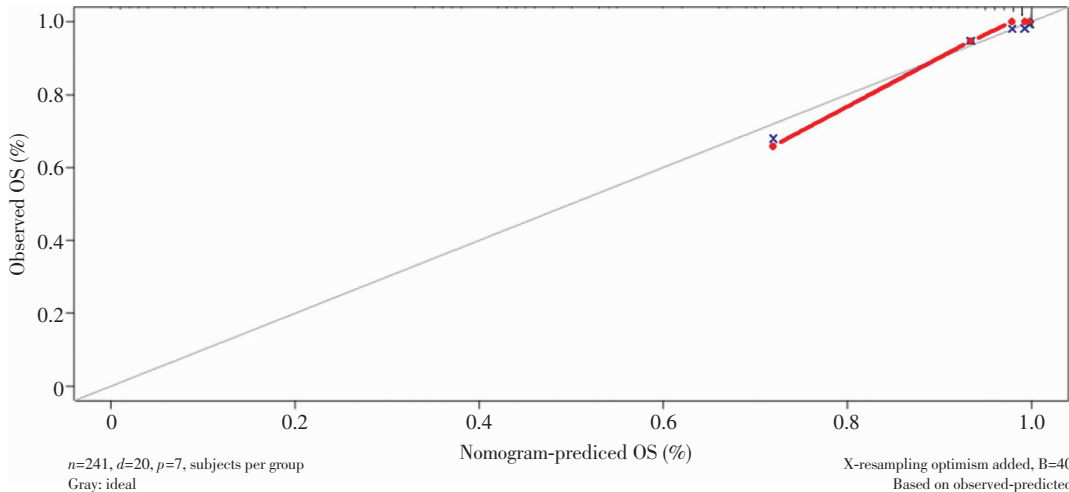


图 4 列线图模型预测神经外科术后 CRE 感染患者 30 d 时预后的校准曲线

Figure 4 Calibration curve of nomogram model for predicting the prognosis of patients with CRE infection after neurosurgery procedure at the 30th day

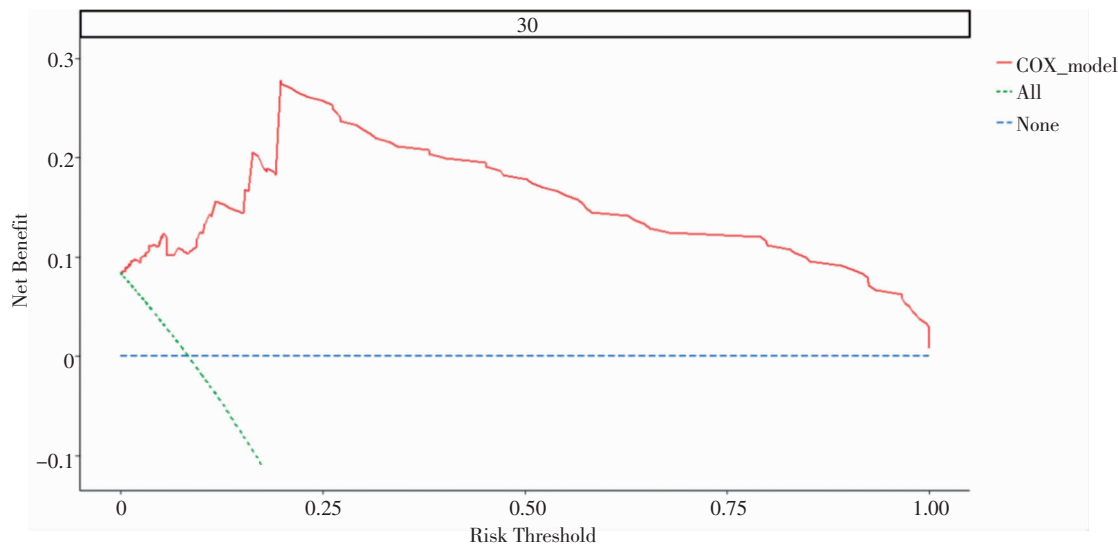


图 5 列线图模型预测神经外科术后 CRE 感染患者 30 d 时预后的 DCA 曲线

Figure 5 DCA curve of nomogram model for predicting the prognosis of patients with CRE infection after neurosurgery procedure at the 30 day

3 讨论

神经外科患者以中老年为主且病情复杂危重，加之手术本身对机体损伤较大，极易发生机会致病菌医院感染^[9]，而肠杆菌目细菌则是临床常见感染病原菌类型，由于近年来碳青霉烯类抗生素的广泛应用，导致 CRE 检出率逐年增高。因此，研究^[10]发现神经外科术后患者因免疫力异常易感染 CRE，且 CRE 感染治疗难度大，医疗费用高，病死率高。虽然已有多项关于 CRE 感染风险的研究，但其预后受基础疾病、自身体质、医疗措施等多种因素影响，故分析相关危险因素，评估其死亡风险及对早发现不良预后风险患者并给予恰当及时的治疗具有非常重要的意义。本研究选取 241 例 CRE 感染患者，基于 LASSO-COX 回归法筛选出女性、住院日数>30 d、MONO%、Cr 是患者死亡的独立危险因素，利用筛选所得危险因素成功构建并验证神经外科术后 CRE 感染患者预后列线图预测模型。

本研究首先利用 LASSO 回归法构造惩罚函数筛选预测因子，该法不仅克服了传统方法在变量选择方面的局限性，还可以保留子集选择的可解释性和岭回归的稳定性，适用于可能存在多个共线性影响因素的筛选^[11-12]。其次，通过多因素 COX 回归建立术后 CRE 感染患者预后的列线图预测模型发现女性、住院日数>30 d、MONO%降低、Cr 升高为危险因素。性别差异对医院感染患者预后的影响已

在多项研究中发现，既往研究^[13]证实女性发生感染、多器官功能衰竭等术后并发症的概率低于男性，本研究发现女性病死率较高，但其他研究^[14]则发现男性病死率较高，可能是因为不同研究间患者的临床特征、样本量、研究设计存在差异，故与性别有关的许多问题仍有待商榷。随着年龄增加，人体机能逐渐衰弱，术后抵御病原菌感染能力降低且恢复较慢，感染风险与预后不良程度成正相关，同时有研究^[15]提出老龄是血流感染患者死亡的独立危险因素，但也有研究^[16]提出年龄不是神经外科术后感染死亡的危险因素。与之类似，本研究发现年龄不是影响患者预后的独立危险因素，可能因为本研究中神经外科患者较特殊，多为老年患者。虽然住院时间延长可导致患者感染风险增加，但 COX 回归结果显示住院时间是 CRE 感染患者死亡的保护因素^[17]，可能因为术后 CRE 感染早期病情进展快，病死率高，故感染早期应重视患者的诊疗以改善患者预后。另外，住院时间长的患者可通过长时间的综合治疗控制 CRE 感染后的复杂病情，以及进行术后恢复，但过长的住院时间会增加患者接触医院环境中条件致病菌的概率，从而引起 CRE 或其他耐药菌的反复感染，因此，确保充分治疗后应让患者尽快出院。虽然既往研究^[18]发现，术后预先短期留置腰大池引流管可减少脑脊液漏以预防术后感染，但长时间留置则增加感染风险。本研究发现腰大池引流不是感染患者死亡的独立危险因素，但仍需做好腰大池引流管的护理。研究^[19-20]发现 MONO%降低与

感染患者预后有关,可能与炎症发生时单核细胞需进入脏器组织参与固有免疫以及单核细胞过度死亡致数量骤减有关,提示入院及感染时需检测患者 MONO%,进行针对性治疗,降低患者死亡风险。PLT 对脓毒症等感染患者死亡风险具有预测能力,其活化与消耗反映炎症程度,最新研究^[21]表明,MPV 是反映血小板活化指标之一,即 CRE 感染发生后,血小板消耗损伤增加,刺激骨髓代偿性产生较多未成熟的血小板,从而导致 MPV 增加,故 MPV 间接反映人体感染程度的同时可作为预后预测指标之一,但本研究未发现 MPV 为影响患者预后的独立危险因素。死亡患者的 Cr 明显高于生存组,因为 Cr 是一种用于评估肾小球滤过率和肾功能的临床生物标志物,临床常通过肾小球滤过率调整抗菌药物用药剂量^[22],故 Cr 升高会导致肾小球滤过率下降进一步影响药物动力学及抗菌药物的使用,从而导致患者不能得到有效治疗而影响预后;另外,CRE 感染患者病情多危重,更易发生急性肾损伤甚至肾衰竭,因此,应对 CRE 感染患者采取积极的治疗措施来加强肾功能衰竭管理。

列线图多用于临床预测模型的可视化,其整合多个预测指标后绘制数条带有刻度的线段图形,具有准确、直观、简洁的优势^[23]。本研究以上述独立危险因素为预测因子构建 CRE 患者 30 d 的死亡风险列线图预测模型,校准曲线显示预测模型的患者死亡概率和实际死亡概率一致性较好,30 d 的 AUC>0.9,显示预测性能较好。DCA 曲线显示通过对基于此模型筛选出预后不良的 CRE 感染患者进行干预,可以让患者在临床上获益。本研究是一项基于人群的研究,研究中确定的独立危险因素在临床治疗过程中易获得,且列线图预测模型可根据危险因素对每例患者的预后进行风险评分,利于模型的实际应用。同时,本研究也存在一些不足,该模型只经过内部验证,后续期待更大样本量和多中心研究以增加模型可外推性与临床适用性。另外,本研究删失数据较多,主要由于只观察了住院期间患者的生存状态所致,故可能存在被观察的预后差异,后续可结合竞争性风险模型和敏感性分析以进一步增加结果的稳定性。

综上所述,本研究构建的列线图风险预测模型具有良好的预测性能、较高的准确性及临床实用性,能够更好地区分高危人群,以便为进行针对性治疗、降低患者病死率提供参考依据。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

[参 考 文 献]

- [1] Wang B, Yang JY, Peng H, et al. Brain tumor segmentation via multi-modalities interactive feature learning[J]. Front Med (Lausanne), 2021, 8: 653925.
- [2] 缪素萍,邓瑞文,钟文珍. 神经外科气管切开后下呼吸道感染危险因素的调查分析[J]. 中华医院感染学杂志, 2008, 18(5): 646-648.
Miao SP, Deng RW, Zhong WZ. Risk factors of lower respiratory tract infection in neurosurgery ward patients with tracheotomy: a survey[J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2008, 18(5): 646-648.
- [3] 向珮莹,莫泽珣,王艳,等. 神经外科清洁手术患者医院感染的经济损失[J]. 中国感染控制杂志, 2018, 17(5): 423-426.
Xiang PY, Mo ZX, Wang Y, et al. Economic loss due to healthcare-associated infection in patients undergoing clean neurosurgical operation[J]. Chinese Journal of Infection Control, 2018, 17(5): 423-426.
- [4] Guanghui Z, Jing L, Guojun Z, et al. Epidemiology and risk factors of neurosurgical bacterial meningitis/encephalitis induced by carbapenem resistant *Enterobacteriaceae*[J]. J Infect Chemother, 2020, 26(1): 101-106.
- [5] 程婧. 2013—2016 年河南地区产 NDM 型金属 β -内酰胺酶肠杆菌科细菌流行病学及耐药机制研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2019.
Cheng J. Study on molecular epidemiology and resistance mechanism of NDM-producing β -lactamase *Enterobacteriaceae* in Henan province, 2013 to 2016[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2019.
- [6] Chen L, Zheng H, Wang SB. Prediction model of emergency mortality risk in patients with acute upper gastrointestinal bleeding: a retrospective study[J]. PeerJ, 2021, 9: e11656.
- [7] 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.
- [8] Vickers AJ, Holland F. Decision curve analysis to evaluate the clinical benefit of prediction models[J]. Spine J, 2021, 21(10): 1643-1648.
- [9] 刘华之,侯良,陈辉,等. 2015—2017 年医院多药耐药菌感染监测与预防研究[J]. 中华医院感染学杂志, 2019, 29(3): 465-468.
Liu HZ, Hou L, Chen H, et al. Monitoring and prevention of multi-drug resistant organism nosocomial infection from 2015 to 2017[J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2019, 29(3): 465-468.
- [10] Wu YE, Xu HY, Shi HY, et al. Carbapenem-resistant *Entero-*

bacteriaceae bloodstream infection treated successfully with high-dose meropenem in a preterm neonate[J]. Front Pharmacol, 2020, 11: 566060.

[11] 王纯杰, 戚顺欣, 张洪阳. Logistic 回归模型参数的贝叶斯估计及应用[J]. 统计与决策, 2020, 36(22): 14-18.
Wang CJ, Qi SX, Zhang HY. Bayesian estimation and application for parameters in logistic regression model[J]. Statistics & Decision, 2020, 36(22): 14-18.

[12] 陶娜, 高伟, 秦国民. 个体化预测老年急性心肌梗死患者 PCI 术后肺部感染风险列线图模型的建立与验证[J]. 中国感染控制杂志, 2022, 21(3): 261-267.
Tao N, Gao W, Qin GM. Establishment and verification of nomogram model for individualized prediction of risk for pulmonary infection in elderly patients with acute myocardial infarction after percutaneous coronary intervention[J]. Chinese Journal of Infection Control, 2022, 21(3): 261-267.

[13] Brown MJ, Koh NP, Bell SW, et al. Age and gender related differences in infection, thromboembolism, revision and death in knee arthroplasty in a Scottish population[J]. Scott Med J, 2020, 65(3): 89-93.

[14] Adrie C, Azoulay E, Francois A, et al. Influence of gender on the outcome of severe sepsis: a reappraisal[J]. Chest, 2007, 132(6): 1786-1793.

[15] 阳赣萍, 龙智勇, 李林奇, 等. 2017—2021 年某医院老年社区获得性血流感染患者临床特征及预后影响因素[J]. 中国感染控制杂志, 2023, 22(12): 1499-1505.
Yang GP, Long ZY, Li LQ, et al. Clinical characteristics and prognostic factors of elderly patients with CA-BSI in a hospital from 2017 to 2021[J]. Chinese Journal of Infection Control, 2023, 22(12): 1499-1505.

[16] Faizer R, Dombrovskiy VY, Vogel TR. Impact of hospital-acquired infection on long-term outcomes after endovascular and open abdominal aortic aneurysm repair[J]. Ann Vasc Surg, 2014, 28(4): 823-830.

[17] 李琼, 戴新贵, 王玉晶, 等. 影响重症监护病房耐碳青霉烯类杆菌科细菌患者预后的多因素分析[J]. 当代医学, 2020, 26(3): 1-3.
Li Q, Dai XG, Wang YJ, et al. Multivariate analysis of prognosis of carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae* infection patients in intensive care unit [J]. Contemporary Medicine, 2020, 26(3): 1-3.

[18] Hussein K, Rabino G, Feder O, et al. Risk factors for meningitis in neurosurgical patients with cerebrospinal fluid drains; prospective observational cohort study[J]. Acta Neurochir (Wien), 2019, 161(3): 517-524.

[19] 李周平, 骆成, 薛晓艳. 114 例综合 ICU 血流感染病原学特征及炎症指标现状研究[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2024, 19(2): 219-226.
Li ZP, Luo C, Xue XY. Study on etiological characteristics and inflammatory indicators of 114 patients with bloodstream infection at comprehensive ICU[J]. China Journal of Emergency Resuscitation and Disaster Medicine, 2024, 19(2): 219-226.

[20] 刘善收, 李琳, 代铮, 等. 脓毒症早期单核细胞减少与预后相关性的分析[J]. 现代医学, 2023, 51(7): 885-895.
Liu SS, Li L, Dai Z, et al. Analysis of the correlation of monocytopenia with the prognosis of sepsis at the early stage [J]. Modern Medical Journal, 2023, 51(7): 885-895.

[21] 徐海涛, 朱伦刚, 卢安阳, 等. 血清中性粒细胞胞外诱捕网水平与脓毒性休克患者病情以及预后的相关性分析[J]. 临床急诊杂志, 2021, 22(11): 714-719.
Xu HT, Zhu LG, Lu AY, et al. Correlation analysis of serum neutrophil extracellular traps level with the condition and prognosis of patients with septic shock[J]. Journal of Clinical Emergency, 2021, 22(11): 714-719.

[22] Zhang YF, Sherwin CM, Gonzalez D, et al. Creatinine-based renal function assessment in pediatric drug development: an analysis using clinical data for renally eliminated drugs[J]. Clin Pharmacol Ther, 2021, 109(1): 263-269.

[23] Wei TT, Yang BW, Liu HN, et al. Development and validation of a nomogram to predict coronary heart disease in patients with rheumatoid arthritis in northern China[J]. Aging, 2020, 12(4): 3190-3204.

(本文编辑:陈玉华)

本文引用格式:江佳艳, 施丹丹, 尹贤哲, 等. 神经外科术后耐碳青霉烯类肠杆菌目感染患者住院期间预后列线图预测模型的构建及验证[J]. 中国感染控制杂志, 2025, 24(10): 1452-1460. DOI: 10.12138/j. issn. 1671-9638. 20256972.

Cite this article as: JIANG Jiayan, SHI Dandan, YIN Xianzhe, et al. Construction and validation of a nomogram prediction model for prognosis during hospitalization in patients with carbapenem-resistant *Enterobacterales* infection after neurosurgical procedure [J]. Chin J Infect Control, 2025, 24(10): 1452-1460. DOI: 10.12138/j. issn. 1671-9638. 20256972.