

预测输尿管软镜碎石术后并发尿源性脓毒症的反向传播神经网络模型构建

陈文炜^{1,2}, 何彦丰^{1,2}, 卢凯鑫^{1,2}, 刘昌毅^{1,2}, 江涛^{1,2}, 张华^{1,2}, 高锐^{1,2}, 薛学义^{1,2}

- 福建医科大学附属第一医院泌尿外科, 福建福州 350005
- 福建医科大学附属第一医院滨海院区泌尿外科 国家区域医疗中心, 福建福州 350212

[摘要] 目的: 构建输尿管软镜碎石术(FURL)后并发尿源性脓毒症的反向传播神经网络预测模型。方法: 纳入428例接受FURL的肾结石患者, 根据术后是否并发尿源性脓毒症分为脓毒症组(42例)和对照组(386例)。采用logistic回归分析确定FURL后并发尿源性脓毒症的影响因素及其交互作用。同时建立logistic回归模型和神经网络模型进行预测, 通过受试者工作特征曲线评估两种模型的预测效能。结果: 单因素分析显示, 结石手术史、性别、尿培养阳性、结石直径、糖尿病、手术时间、白细胞、血小板、C反应蛋白(CRP)及肝素结合蛋白(HBP)水平与FURL后并发尿源性脓毒症显著相关(均 $P<0.05$)。多因素分析表明, 尿培养阳性、CRP及HBP水平是FURL后并发尿源性脓毒症的独立危险因素(均 $P<0.05$)。交互作用分析显示, CRP与HBP对FURL后并发尿源性脓毒症的影响在相加模型($REI=8.453$, $95\%CI: 2.645\sim 16.282$; $AP=0.696$, $95\%CI: 0.131\sim 1.273$; $S=3.369$, $95\%CI: 1.176\sim 7.632$)和相乘模型($OR=1.754$, $95\%CI: 1.218\sim 3.650$)中存在交互作用; CRP与尿培养对FURL后并发尿源性脓毒症的影响在相乘模型($OR=2.449$, $95\%CI: 1.525\sim 3.825$)中存在交互作用。预测模型比较显示, 反向传播神经网络模型较logistic回归模型具有更优的预测效能。结论: CRP和HBP水平是FURL后并发尿源性脓毒症的独立危险因素, 基于CRP、HBP等因素构建的反向传播神经网络模型较logistic回归模型具有更高的预测准确性。



[关键词] 肝素结合蛋白; C反应蛋白; 输尿管软镜碎石术; 尿源性脓毒症; 预测; logistic回归模型; 反向传播神经网络模型

[中图分类号] R691.3 **[文献标志码]** A

收稿日期(Received): 2024-04-09 修改返回日期(Revised): 2024-09-03 接受日期(Accepted): 2024-11-01 网络预发表日期(Online): 2024-12-04

第一作者(First author): 陈文炜, 主治医师, 主要从事泌尿系结石、前列腺疾病的临床和基础研究; E-mail: chenwenwen6660@126net.com.cn; ORCID: 0009-0006-1182-8251

通信作者(Corresponding author): 高锐, 主任医师, 主要从事泌尿系结石、前列腺疾病的临床和基础研究; E-mail: gaorui720827@fjmu.edu.cn; ORCID: 0009-0008-6238-240X

Construction of a back propagation neural network model for predicting urosepsis after flexible ureteroscopic lithotripsy

CHEN Wenwei^{1,2}, HE Yanfeng^{1,2}, LU Kaixin^{1,2}, LIU Changyi^{1,2}, JIANG Tao^{1,2}, ZHANG Hua^{1,2}, GAO Rui^{1,2}, XUE Xueyi^{1,2} (1. Department of Urology, the First Affiliated Hospital of Fujian Medical University, Fuzhou 350005, China; 2. Department of Urology, Binhai Campus of the First Affiliated Hospital of Fujian Medical University, National Regional Medical Center, Fuzhou 350212, China)

Corresponding author: GAO Rui, E-mail: gaorui720827@fjmu.edu.cn, ORCID: 0009-0008-6238-240X

[**Abstract**] **Objective:** To analyze the association of serum heparin-binding protein (HBP) and C-reactive protein (CRP) levels with urosepsis following flexible ureteroscopic lithotripsy (FURL) and to construct a back propagation neural network prediction model. **Methods:** A total of 428 patients with kidney stones who underwent FURL were enrolled. Patients were divided into sepsis group ($n=42$) and control group ($n=386$) according to whether post-operative urosepsis developed. Logistic regression analysis was used to determine the risk factors of post-FURL urosepsis and their interactions. A logistic regression model and a back propagation neural network model were developed for predicting post-FURL urosepsis following FURL, and their predictive performance was evaluated using receiver operating characteristic curves. **Results:** Univariate analysis showed that stone surgery history, gender, positive urine culture, stone diameter, diabetes, operation time, white blood cell (WBC), platelet, CRP, and HBP levels were significantly associated with post-FURL urosepsis (all $P<0.05$). Multivariate analysis identified positive urine culture, CRP, and HBP levels as independent risk factors for post-FURL urosepsis (all $P<0.05$). Interaction analysis revealed that CRP and HBP showed both additive ($RERI=8.453$, $95\%CI: 2.645-16.282$; $AP=0.696$, $95\%CI: 0.131-1.273$; $S=3.369$, $95\%CI: 1.176-7.632$) and multiplicative ($OR=1.754$, $95\%CI: 1.218-3.650$) interactions, while CRP and urine culture demonstrated multiplicative interaction ($OR=2.449$, $95\%CI: 1.525-3.825$). The back propagation neural network model demonstrated superior predictive performance compared to the logistic regression model. **Conclusions:** CRP and HBP levels are independent risk factors for post-FURL urosepsis. The back propagation neural network model based on CRP and HBP exhibits higher predictive accuracy than the logistic regression model, which may provide a reliable risk assessment tool for early discrimination and intervention of post-FURL urosepsis.

[**Key words**] Heparin-binding protein; C-reactive protein; Flexible ureteroscopic lithotripsy; Urosepsis; Prediction; Logistic regression model; Back propagation neural network model

[J Zhejiang Univ (Med Sci), 2025, 54(1): 99-107.]

[**缩略语**] 输尿管软镜碎石术(flexible ureteroscopic lithotripsy, FURL); C反应蛋白(C-reactive protein, CRP); 肝素结合蛋白(heparin binding protein, HBP); 计算机断层扫描(computed tomography, CT); 相对超额危险度(relative excess risk of interaction,

RERI);交互作用归因比(attributable proportion, AP);交互作用指数(synergy index, S);置信区间(confidence interval, CI);曲线下面积(area under the curve, AUC)

随着医疗技术的不断发展,FURL因其恢复快、并发症少等优点,已成为治疗肾结石以及输尿管上段结石的重要手段之一^[1-3]。然而,随着FURL的临床应用日益广泛,术后感染导致的重症尿源性脓毒症发生率不断上升,不仅延长了患者的住院时间及增加其医疗负担,更可能危及其生命安全^[4]。研究表明,FURL后并发尿源性脓毒症患者的病死率高达20%~40%且呈持续上升趋势,因此亟需建立有效的风险评估预警模型以降低病死率^[5]。CRP作为常用的急性正时相反应蛋白,在炎症早期和感染判断中具有重要的参考价值,常被用作脓毒血症的早期辅助诊断指标^[6-7]。HBP则是一种新的临床炎症标志物,其在健康人群血清中含量较低;当发生感染时,细菌菌体或其释放的毒素等物质会侵入血管,刺激中性粒细胞释放HBP,导致血清HBP含量升高^[8]。虽然已有研究证实CRP和HBP可用于评估脓毒症发生风险^[9-10],但将其用于预测FURL后并发尿源性脓毒症的相关研究仍然较少。反向传播神经网络是一种广泛应用的人工神经网络模型,其特点在于数据要求灵活、信息挖掘充分且能准确识别变量间的复杂非线性关系。近年来,该模型已在甲状腺乳头状癌、乳腺良恶性病变及2型糖尿病等多种疾病的诊断中展现出良好的应用价值^[11-13]。鉴于此,本研究旨在通过深入分析FURL后并发尿源性脓毒症的影响因素,结合患者HBP和CRP等临床指标,构建反向传播神经网络预测模型,以期建立准确的预测体系,为该并发症临床防治策略的制订提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性分析2020年2月至2023年11月在福建医科大学附属第一医院接受FURL治疗的428例肾结石患者。根据术后并发尿源性脓毒症情况分为脓毒症组($n=42$)和对照组($n=386$)。纳入标准:①经CT检查证实为单侧肾结石且直径2.5 cm及以下,接受输尿管软镜碎石术治疗;②年龄18岁及以上;③临床资料完整。排除标准:①严重心脑血管疾病;②恶性肿瘤;③严重肝肾

功能不全;④免疫功能低下或使用免疫抑制剂;⑤妊娠期;⑥凝血功能障碍;⑦临床资料不完整或缺失。

尿源性脓毒症诊断标准^[14]:经实验室检查确诊存在泌尿系感染,且序贯器官衰竭评分2分及以上;或快速序贯器官衰竭评分2分及以上,包括呼吸频率22次/min及以上、意识状态改变、收缩压100 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)及以下中的任意两项。

1.2 资料收集

收集患者的一般临床资料,包括性别、年龄、体重指数、文化程度、合并基础疾病(糖尿病、高血压)、结石手术史及病程等。术前影像学评估采用CT检查,记录结石最大直径及肾积水程度,肾积水程度通过测量肾盂分离距离进行定量评估。实验室检查包括术前标准无菌中段尿培养及血液指标检测,血液指标涵盖血常规、生化指标(尿素氮、血肌酐、白蛋白、尿酸)以及炎症标志物(CRP、HBP)。所有检验指标均在本院检验科完成,采用标准化操作流程,检测仪器定期校准,质控合格。

1.3 手术方法

患者取膀胱截石位,经尿道置入Fr 6/7.5输尿管硬镜(Richard Wolf,德国),斑马导丝置于患侧输尿管,沿导丝放置输尿管软镜导引鞘(Fr11/13或Fr12/14),置于肾盂输尿管连接处,直视下沿输尿管软镜导引鞘放置输尿管软镜,探查发现肾盏内结石后置入200 μ m钬激光予以将结石击碎。钬激光碎石参数设置为0.8~1.6 J,10~20 Hz,待结石碎屑为2 mm以下的粉末状时结束。检查是否有其他残留结石,常规放置Fr6输尿管支架管,留置导尿管。记录手术时间。若术后48 h内有发热、低血压、精神症状异常,则根据脓毒症救治指南^[15]进行救治。

1.4 统计学方法

应用SPSS 22.0软件进行数据分析。计数资料用例数(百分比)[$n(\%)$]表示,组间比较采用 χ^2 检验;正态分布的计量资料用均数 \pm 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用 t 检验;非正态分布的计量资料用中位数(上下四分位数)[$M(Q_1, Q_3)$]表示,组

间比较采用非参数检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

首先进行单因素分析筛选FURL后并发尿源性脓毒症的相关变量,随后采用多因素logistic回归模型分析其独立影响因素。采用非条件logistic回归模型分析相乘和相加交互作用,计算RERI、AP、S及其95%CI。

将428例患者按7:3比例随机分为训练集(300例,70.09%)和测试集(128例,29.91%),其中训练集用于训练和构建模型,测试集用于验证和评价模型预测效果。以单因素分析中具有统计学意义的变量作为输入层,建立神经网络模型并对影响因素进行重要性排序。同时建立logistic回归模型和反向传播神经网络模型预测FURL后尿源性脓毒症的发生情况,通过AUC、灵敏度、特异度以及约登指数对两个模型的预测效能进行比较。

2 结果

2.1 FURL后并发尿源性脓毒症的单因素分析结果

单因素分析结果显示,与对照组比较,脓毒症组女性、糖尿病、有结石手术史及尿培养阳性占比增高,结石直径增大,手术时间延长,白细胞、CRP及HBP水平升高,血小板水平降低($P<0.01$ 或 $P<0.05$)。见表1。结果提示,性别、糖尿病、结石手术史、尿培养阳性、结石直径、手术时间、白细胞、CRP、HBP及血小板等因素可能与FURL后并发尿源性脓毒症相关。

2.2 FURL后并发尿源性脓毒症的多因素分析结果

将FURL后并发尿源性脓毒症(未发生=0,发生=1)作为因变量,将单因素分析筛选出的因素作为自变量进行多因素logistic回归分析,各因素赋值见表2。结果显示,尿培养阳性、CRP及HBP水平为

FURL后并发尿源性脓毒症的独立危险因素(均 $P<0.01$),见表3。建立logistic回归模型: $P=e^a/(1+e^a)$ 。式中 e 为指数函数, P 为FURL后并发尿源性脓毒症的概率, $a=-1.574+1.087\times$ 尿培养赋值 $+1.281\times$ CRP赋值 $+0.949\times$ HBP赋值。

2.3 CRP、HBP及尿培养在FURL后并发尿源性脓毒症中的交互作用

在调整结石手术史、性别、糖尿病、年龄、结石直径、手术时间、白细胞及血小板水平这些混杂因素后,交互作用分析结果显示,CRP与HBP对FURL后并发尿源性脓毒症的影响在相加模型($RERI=8.453,95\%CI:2.645\sim 16.282;AP=0.696,95\%CI:0.131\sim 1.273;S=3.369,95\%CI:1.176\sim 7.632$)和相乘模型($OR=1.754,95\%CI:1.218\sim 3.650$)中存在交互作用,表现为协同作用;CRP与尿培养对FURL后并发尿源性脓毒症的影响在相乘模型

表1 输尿管软镜碎石术后患者并发尿源性脓毒症的单因素分析结果

Table 1 Univariate analysis of risk factors for urosepsis after flexible ureteroscopic lithotripsy

因素	[$\bar{x}\pm s$ 或 $n(\%)$ 或 $M(Q_1, Q_3)$]			
	脓毒症组($n=42$)	对照组($n=386$)	$\chi^2/t/Z$ 值	P 值
年龄(岁)	51.42±14.38	49.28±16.31	0.816	>0.05
性别				
男	19(45.24)	262(67.88)	8.608	<0.01
女	23(54.76)	124(32.12)		
体重指数(kg/m^2)	23.63±4.71	23.93±5.64	0.332	>0.05
文化程度				
高中以下	13(30.95)	113(29.27)	0.051	>0.05
高中及以上	29(69.05)	273(70.73)		
糖尿病	18(42.86)	52(13.47)	23.909	<0.01
高血压	5(11.90)	31(8.03)	0.738	>0.05
结石手术史	13(30.95)	57(14.77)	7.254	<0.01
尿培养阳性	23(54.76)	85(22.02)	21.523	<0.01
肾积水程度(mm)	19.43±7.36	19.77±6.45	0.320	>0.05
结石直径				
≥1.5 cm	15(35.71)	72(18.65)	6.808	<0.01
<1.5 cm	27(64.29)	314(81.35)		
病程(年)	4.13±0.53	4.07±0.62	0.603	>0.05
手术时间(min)	66.54±12.27	62.12±11.64	2.325	<0.05
尿素氮(mmol/L)	5.72±0.65	5.64±0.34	1.292	>0.05
尿酸(μ mol/L)	365.03±35.36	357.77±37.04	1.211	>0.05
血肌酐(μ mol/L)	82.32±7.45	81.72±5.72	0.625	>0.05
白细胞($\times 10^9/L$)	7.83±1.53	5.29±1.62	9.700	<0.01
血小板($\times 10^9/L$)	166.57±12.27	214.05±15.77	18.892	<0.01
中性粒细胞绝对值($\times 10^9/L$)	3.69±0.66	3.55±0.47	1.753	>0.05
血红蛋白(g/L)	135.63±16.06	134.39±13.41	0.558	>0.05
白蛋白(g/L)	40.73±5.36	39.89±6.04	0.865	>0.05
C反应蛋白(mg/L)	35.55(14.27, 54.86)	7.37(4.22, 35.43)	29.705	<0.01
肝素结合蛋白(ng/mL)	68.79(26.87, 93.20)	17.05(4.21, 62.35)	30.654	<0.01

表2 各因素赋值情况

Table 2 Value assignments for variables

因素	赋值
性别	男=0;女=1
糖尿病	否=0;是=1
结石手术史	否=0;是=1
尿培养	阴性=0;阳性=1
结石直径	1.5 cm 以下=0;1.5 cm 及以上=1
手术时间*	64.25 min 以下=0;64.25 min 及以上=1
白细胞*	4.33×10 ⁹ /L 以下=0;4.33×10 ⁹ /L 及以上=1
血小板*	186.54×10 ⁹ /L 及以上=0;186.54×10 ⁹ /L 以下=1
C反应蛋白*	24.28 mg/L 以下=0;24.28 mg/L 及以上=1
肝素结合蛋白*	46.76 ng/mL 以下=0;46.76 ng/mL 及以上=1

*根据研究中收集到数据的中位数进行二分类。

表3 输尿管软镜碎石术后患者并发尿源性脓毒症的logistic多因素分析结果

Table 3 Multivariate logistic regression analysis of risk factors for post-flexible ureteroscopic lithotripsy urosepsis

因素	β 值	SE值	Wald χ^2 值	OR值	95%CI	P值
性别	0.389	0.702	0.308	1.476	0.935~2.132	0.082
糖尿病	0.167	0.982	0.029	1.182	0.784~1.732	0.245
结石手术史	0.459	1.535	0.090	1.583	0.818~2.341	0.220
尿培养阳性	1.087	0.671	2.622	2.964	1.757~3.862	0.001
结石直径	0.318	0.405	0.615	1.374	0.639~1.965	0.438
手术时间	0.448	0.718	0.389	1.565	0.884~5.252	0.136
白细胞	0.197	1.247	0.025	1.218	0.772~1.942	0.284
血小板	-0.209	0.413	0.257	0.811	0.556~1.243	0.263
C反应蛋白	1.281	0.530	5.844	3.601	1.763~5.642	<0.001
肝素结合蛋白	0.949	1.267	0.561	2.584	1.445~3.763	0.005

(OR=2.449, 95%CI: 1.525~3.825)中存在交互作用,表现为协同作用;HBP与尿培养对FURL后并发尿源性脓毒症的影响中未发现明显的相加和相乘交互作用。见附表1~3。结果提示,CRP与HBP、CRP与术前尿培养对FURL后并发尿源性脓毒症的发生存在交互作用。

2.4 构建FURL后并发尿源性脓毒症风险的反向传播神经网络模型

以单因素分析中差异有统计学意义的10个变量作为输入层,隐藏层数为1,其中包括4个节点,是否发生尿源性脓毒症(未发生=0,发生=1)作为输出层建立神经网络模型,见图1。输出结果显示,按FURL后并发尿源性脓毒症的影响因素的重要性由大到小排序依次为CRP、尿培养、HBP、性别、手术时间、结石手术史、糖尿病、血小板、白细胞、结石直径,见表4。

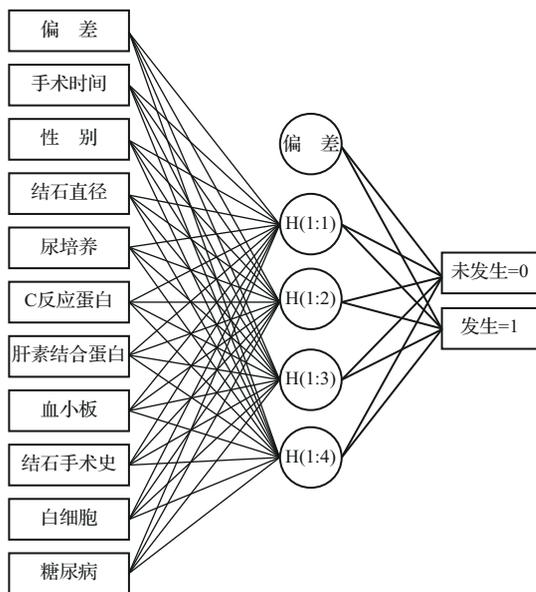
2.5 神经网络模型与logistic回归模型性能比较

在训练集和测试集中,反向传播神经网络模型预测FURL后并发尿源性脓毒症风险的AUC、灵敏度、特异度等均高于logistic回归模型(图2和表5)。结果提示,反向传播神经网络模型预测FURL后并发尿源性脓毒症风险的性能较logistic回归模型有所提升。

3 讨论

在肾结石以及输尿管上段结石的治疗中,FURL因其微创、恢复快和并发症少等优点在临床得到广泛应用,但术后感染并发症仍不容忽视,其中尿源性脓毒症最为严重^[16-17]。尿源性脓毒症具有起病急骤、进展迅速等特点,若处理不及时可能导致感染性休克,严重威胁患者生命安全^[18]。因此,深入探究FURL后尿源性脓毒症的危险因素,有助于临床及早识别高危患者并积极采取干预措施。

CRP作为应激性反应蛋白,在机体感知感染时大量释放,能够调动免疫系统清除入侵病原体,从而保护正常组织。由于其表达早于其他急性期炎症标志物,已广泛应用于临床早期感染和炎症反应的检测^[19-20]。张珍等^[21]研究证实,CRP不仅可用于尿脓毒血症的早期辅助诊断,还能预测脓毒性休克的发生。本文资料显示,脓毒症组患者CRP水平显著高于对照组,是FURL后并发尿源性脓毒症的独立危险因素。然而,CRP作为非特异性炎症因子,虽能反映机体炎症损伤程度,但难以明确具体病因,因此仅可作为脓毒症的辅助诊断指标^[22]。HBP主要储存于中性粒细胞分泌的囊泡和嗜酸性颗粒中,在健康人群的血清中含量极低。当发生感染时,炎症刺激导致中性粒细胞释放大量HBP,使其血液含量迅速升高,且与感染程度呈正相关。HBP不仅具有显著的抗菌活性,还能引导并促进炎症反应,调节血管内皮细胞功能,促进单核细胞趋化激活,有效保护机体免受病原体侵袭^[23]。既往研究证实,血浆HBP水平与脓毒症发生密切相关,可作为脓毒症早期预警指标,特别是在发生器官衰竭的患者中表现更为突出^[24-25]。本文资料显示,血清HBP水平与FURL术后并发尿源性脓毒症显著相关。



输入层10个节点,隐藏层数为1,包含4个节点H(1:1)、H(1:2)、H(1:3)和H(1:4),输出层1个节点是否发生尿源性脓毒症.

图1 构建预测输尿管软镜碎石术后并发尿源性脓毒症的神经网络模型

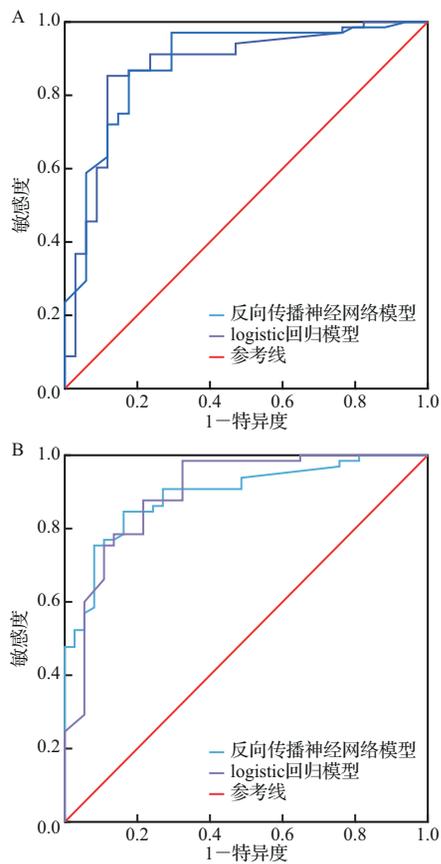
Figure 1 Construction of an artificial neural network model to predict post-flexible ureteroscopic lithotripsy urosepsis

表4 基于神经网络模型的影响因素重要性排序

Table 4 Variable importance ranking derived from neural network model

项目	重要性	正态化自变量重要性(%)
C反应蛋白	0.219	100.00
尿培养	0.205	93.82
肝素结合蛋白	0.200	91.33
性别	0.148	67.70
手术时间	0.121	55.23
结石手术史	0.074	34.00
糖尿病	0.058	26.52
血小板	0.045	20.34
白细胞	0.039	17.85
结石直径	0.009	4.09

多因素分析进一步证实,尿培养阳性、CRP及HBP水平均为术后并发尿源性脓毒症的独立危险因素。值得注意的是,CRP与HBP在相加和相乘模型中均存在交互作用,CRP与尿培养阳性在相乘模型中也表现出协同作用。反向传播神经网络模型分析显示,CRP、尿培养阳性和HBP是影响因素中的前三位重要指标,这为临床风险评估提供了重要参考。在预测模型的选择方面,反



A: 训练集; B: 测试集.

图2 神经网络模型与logistic回归模型预测输尿管软镜碎石术后尿源性脓毒症的受试者工作特征曲线比较

Figure 2 Receiver operating characteristic curves of neural network and logistic regression models for predicting post-flexible ureteroscopic lithotripsy urosepsis

向传播神经网络模型因其对数据分布无限制、能充分利用资料信息、可识别复杂非线性关系等特点,展现出独特优势。该模型是一种采用误差逆传播算法训练的多层前馈网络,具有强大的自组织、自适应能力和高度容错性^[26]。Fei等^[27]研究证实,在预测重症急性胰腺炎后急性肺损伤时,反向传播神经网络模型的AUC(0.859±0.048)显著优于logistic回归模型(0.701±0.041)。同样,在预测急性胰腺炎后门脾肠系膜静脉血栓形成方面,反向传播神经网络模型也表现出更优的预测性能(灵敏度为80%,特异度为85.7%)^[28]。本文资料显示,反向传播神经网络模型在预测FURL后并发尿源性脓毒症时的各项指标均优于logistic回归模型,证实反向传播神经网络模型在预测FURL后尿源性脓毒症方面具有优势,能够

表5 神经网络模型与logistic回归模型预测输尿管软镜碎石术后尿源性脓毒症的诊断效能指标比较

Table 5 Comparison of prediction performance between neural network and logistic regression models for post-flexible ureteroscopic lithotripsy urosepsis

数据集	模型	AUC(95%CI)	灵敏度	特异度	准确度	阳性似然比	阴性似然比	诊断比值比	阳性预测值	阴性预测值	约登指数
训练集	logistic回归模型	0.914(0.869~0.961)	0.888	0.862	0.875	6.435	0.130	49.525	0.412	0.986	0.750
	反向传播神经网络模型	0.939(0.897~0.974)	0.891	0.887	0.889	7.885	0.123	64.165	0.462	0.987	0.778
测试集	logistic回归模型	0.911(0.872~0.963)	0.893	0.850	0.872	5.953	0.126	47.293	0.393	0.986	0.743
	反向传播神经网络模型	0.948(0.909~0.986)	0.894	0.898	0.896	8.765	0.118	74.252	0.488	0.987	0.792

AUC:曲线下面积;CI:置信区间.

为临床决策提供科学依据。

本研究存在以下局限性:首先,作为单中心回顾性研究,样本量有限且可能存在选择偏倚;其次,研究对象仅限于中国汉族人群,结果的普适性有待验证;最后,所构建的预测模型尚需多中心、大样本的前瞻性研究进行外部验证。未来研究应扩大样本量,纳入多中心、多种族人群数据,以进一步优化预测模型的准确性和普适性。

综上所述,CRP与HBP水平是FURL后并发尿源性脓毒症的独立危险因素。基于CRP、HBP等因素构建的反向传播神经网络模型较logistic回归模型具有更高的预测准确性,可为临床医师提供一种可靠的风险评估工具,以实现FURL后尿源性脓毒症的早期预警和干预方案制订。

本文附表见电子版。



医学伦理 研究符合1964年《赫尔辛基宣言》及之后的修正版或类似的伦理标准,通过福建医科大学附属第一医院伦理委员会审查(闽医大附一伦理医技审[2015]084-2号),并豁免患者知情同意

Ethical Approval All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the First Affiliated Hospital of Fujian Medical University (MTCA, ECFAH of FMU [2015] 084-2), and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards. This research exemption from informed consent

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

Conflict of Interests The authors declare that there is no conflict of interests

©The author(s) 2025. This is an open access article under the

CC BY-NC-ND 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

参考文献 (References)

- [1] 沈柏华, 林奕伟. 输尿管软镜碎石术相关尿源性脓毒症的防治策略[J]. 临床泌尿外科杂志, 2020, 35(9): 696-698.
SHEN Bohua, LIN Yiwei. Prevention and treatment towards urosepsis associated with flexible ureteroscopic lithotripsy[J]. *Journal of Clinical Urology*, 2020, 35(9): 696-698. (in Chinese)
- [2] 曹娟, 谷晨星, 王士杰. 老年尿源性脓毒症的早期预测及病情评估方法[J]. 中华医院感染学杂志, 2021, 31(20): 3086-3089.
CAO Juan, GU Chenxing, WANG Shijie. Early prediction of urinary sepsis in elderly patients and assessment of illness condition[J]. *Chinese Journal of Nosocomiology*, 2021, 31(20): 3086-3089. (in Chinese)
- [3] LIANG H, LIANG L, YU Y, et al. Thermal effect of holmium laser during ureteroscopic lithotripsy[J]. *BMC Urol*, 2020, 20(1): 69.
- [4] 富翔鹏, 王建忠, 姜雷. 输尿管软镜碎石术后尿源性脓毒症的影响因素和生存质量研究[J]. 中国性科学, 2020, 29(2): 17-20.
FU Xiangpeng, WANG Jianzhong, JIANG Lei. Study on the influencing factors of uremic sepsis after flexible ureteroscopic lithotripsy and the quality of life of patients [J]. *The Chinese Journal of Human Sexuality*, 2020, 29(2): 17-20. (in Chinese)
- [5] 陈金华, 辜祖玄, 潘维昕, 等. 结石CT值、中性粒细胞与淋巴细胞比率预测上尿路结石术后尿源性脓毒症发生、发展的临床价值研究[J]. 临床和实验医学杂志, 2023, 22(17): 1862-1865.
CHEN Jinhua, GU Zuxuan, PAN Weixin, et al. CT value of calculi and ratio of neutrophil to lymphocyte in predicting the occurrence and development of urogenic sepsis after upper U-rinary tract calculi[J]. *Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 2023, 22(17): 1862-1865. (in Chinese)
- [6] HUANG Y H, CHEN C J, SHAO S C, et al. Comparison of the diagnostic accuracies of monocyte distribution width, procalcitonin, and C-reactive protein for sepsis:

- a systematic review and meta-analysis[J/OL]. **Crit Care Med**, 2023, 51(5): e106-e114.
- [7] PLEBANI M. Why C-reactive protein is one of the most requested tests in clinical laboratories?[J]. **Clin Chem Lab Med**, 2023, 61(9): 1540-1545.
- [8] WU Y L, YO C H, HSU W T, et al. Accuracy of heparin-binding protein in diagnosing sepsis: a systematic review and meta-analysis[J/OL]. **Crit Care Med**, 2021, 49(1): e80-e90.
- [9] 张重威, 祝益民, 曹彦, 等. 肝素结合蛋白对脓毒症的预测价值[J]. **中华危重病急救医学**, 2021, 33(6): 654-658.
ZHANG Chongwei, ZHU Yimin, CAO Yan, et al. Predictive value of heparin binding protein for sepsis[J]. **Chinese Critical Care Medicine**, 2021, 33(6): 654-658. (in Chinese)
- [10] 赵媛, 刘晶, 宁欣. 动态监测老年重症肺炎患者IL-6、HBP、CRP水平对并发脓毒症的预测价值[J]. **河北医药**, 2023, 45(11): 1628-1631, 1636.
ZHAO Yuan, LIU Jing, NING Xin. A preliminary study on the predictive value of dynamic monitoring of IL-6, HBP and CRP levels in elderly patients with severe pneumonia complicated with sepsis[J]. **Hebei Medical Journal**, 2023, 45(11): 1628-1631, 1636. (in Chinese)
- [11] 唐震, 芦孟丹, 李元杰. 基于神经网络和 Logistic 比较甲状腺乳头状瘤的诊断研究[J]. **黄河科技学院学报**, 2023, 25(11): 6-11.
TANG Zhen, LU Mengdan, LI Yuanjie. Comparative study on the diagnosis of thyroid papillary carcinoma based on neural network and logistic[J]. **Journal of Huanghe S&T College**, 2023, 25(11): 6-11. (in Chinese)
- [12] 杜涛明, 宋惠贞, 林涛, 等. 基于动态增强 MRI 的反向传播神经网络模型预测 BI-RADS 4 类乳腺良恶性病变[J]. **临床放射学杂志**, 2024, 43(10): 1673-1678.
DU Taoming, SONG Huizhen, LIN Tao, et al. Predicting the benignity and malignancy of BI-RADS 4 breast lesions by dynamic contrast-enhanced MRI based back propagation neural network model[J]. **Journal of Clinical Radiology**, 2024, 43(10): 1673-1678. (in Chinese)
- [13] 夏皖宁, 吴天柱, 解文慧, 等. 融合注意力机制和 BP 神经网络的 2 型糖尿病风险预测研究[J]. **齐齐哈尔医学院学报**, 2024, 45(19): 1846-1851.
XIA Wanning, WU Tianzhu, XIE Wenhui, et al. Study on risk prediction of type 2 diabetes with integration of attention mechanism and BP neural network[J]. **Journal of Qiqihar Medical College**, 2024, 45(19): 1846-1851. (in Chinese)
- [14] 丁俊, 周晨曦, 李国波, 等. 输尿管软镜碎石术后感染并发尿源性脓毒症的影响因素分析[J]. **中华医院感染学杂志**, 2019, 29(14): 2134-2137, 2142.
DING Jun, ZHOU Chenxi, LI Guobo, et al. Influencing factors for postoperative urine-induced sepsis in flexible ureteroscope lithotripsy patients[J]. **Chinese Journal of Nosocomiology**, 2019, 29(14): 2134-2137, 2142. (in Chinese)
- [15] EVANS L, RHODES A, ALHAZZANI W, et al. Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock 2021[J]. **Intensive Care Med**, 2021, 47(11): 1181-1247.
- [16] 王二朋, 戴廷山, 范振永, 等. 输尿管镜钬激光碎石术后尿路感染影响因素及其预后[J]. **中华医院感染学杂志**, 2021, 31(9): 1382-1386.
WANG Erpeng, DAI Tingshan, FAN Zhenyong, et al. Influencing factors for postoperative urinary tract infection in ureteroscopic holmium laser lithotripsy patients and treatment outcomes[J]. **Chinese Journal of Nosocomiology**, 2021, 31(9): 1382-1386. (in Chinese)
- [17] 李理, 丁田, 赵祖超, 等. 输尿管软镜碎石术后尿路感染的危险因素分析及预测模型构建[J]. **临床泌尿外科杂志**, 2022, 37(4): 306-311.
LI Li, DING Tian, ZHAO Zuchao, et al. Analysis of risk factors for urinary tract infection after flexible ureteroscopic lithotripsy and construction of predictive model[J]. **Journal of Clinical Urology**, 2022, 37(4): 306-311. (in Chinese)
- [18] 张作彪, 王岩. 外周血炎症相关指标在经皮肾镜取石术后尿脓毒症早期预警中的意义[J]. **国际泌尿系统杂志**, 2021, 41(2): 368-371.
ZHANG Zuobiao, WANG Yan. Significance of peripheral blood inflammation-related indices in early warning of urinary sepsis after percutaneous nephrolithotomy[J]. **International Journal of Urology and Nephrology**, 2021, 41(2): 368-371. (in Chinese)
- [19] 刘珍, 王峰, 高晖, 等. 血浆肝素结合蛋白联合降钙素原及 C-反应蛋白对脓毒症及脓毒性休克患者诊断价值的研究[J]. **中国卫生检验杂志**, 2021, 31(22): 2696-2701.
LIU Zhen, WANG Feng, GAO Hui, et al. A study on the diagnostic value of plasma heparin binding protein combined with procalcitonin and C-reactive protein for patients with sepsis and septic shock[J]. **Chinese Journal of Health Laboratory Technology**, 2021, 31(22): 2696-2701. (in Chinese)
- [20] JIANG X, ZHANG C, PAN Y, et al. Effects of C-reactive protein trajectories of critically ill patients with sepsis on in-hospital mortality rate[J]. **Sci Rep**, 2023, 13(1): 15223.
- [21] 张珍, 杜春娟, 关红. CRP、PCT、NLR 联合检测对尿源性脓毒血症的早期预测价值[J]. **海南医学**, 2023, 34(19): 2825-2829.
ZHANG Zhen, DU Chunjuan, GUAN Hong. Early predictive value of combined detection of C-reactive protein, procalcitonin and neutrophil-to-lymphocyte ratio in the treatment of urogenic sepsis[J]. **Hainan Medical Journal**, 2023, 34(19): 2825-2829. (in Chinese)
- [22] DHUDASIA M B, BENITZ W E, FLANNERY D D, et al. Diagnostic performance and patient outcomes with C-reactive protein use in early-onset sepsis evalua-

- tions[J]. **J Pediatr**, 2023, 256: 98-104.e6.
- [23] WU Y L, YO C H, HSU W T, et al. Accuracy of heparin-binding protein in diagnosing sepsis: a systematic review and meta-analysis[J/OL]. **Crit Care Med**, 2021, 49(1): e80-e90.
- [24] TANG J, YUAN H, WU Y L, et al. The predictive value of heparin-binding protein and D-dimer in patients with sepsis[J]. **Int J Gen Med**, 2023, 16: 2295-2303.
- [25] KATSAROS K, RENIERIS G, SAFARIKA A, et al. Heparin binding protein for the early diagnosis and prognosis of sepsis in the emergency department: the prompt multicenter study[J]. **Shock**, 2022, 57(4): 518-525.
- [26] 贾辰, 王璐, 李海峰. ICU住院患者耐碳青霉烯类肺炎克雷伯菌感染危险因素及其BP神经网络模型的预测价值[J]. **中华医院感染学杂志**, 2024, 34(12): 1778-1783.
- [27] JIA Chen, WANG Lu, LI Haifeng. Risk factors for carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae* infection in ICU-hospitalized patients and its predictive value of BP neural network[J]. **Chinese Journal of Nosocomiology**, 2024, 34(12): 1778-1783. (in Chinese)
- [27] FEI Y, GAO K, LI W Q. Artificial neural network algorithm model as powerful tool to predict acute lung injury following to severe acute pancreatitis[J]. **Pancreatology**, 2018, 18(8): 892-899.
- [28] FEI Y, HU J, LI W Q, et al. Artificial neural networks predict the incidence of portosplenomesenteric venous thrombosis in patients with acute pancreatitis[J]. **J Thromb Haemost**, 2017, 15(3): 439-445.
- [本文编辑 余方沈敏]

· 读者 · 作者 · 编者 ·

2024年5—6月为本刊审稿的专家名单

(按姓氏音序排列)

- | | | | |
|-----|-------------------|-----|-------------------|
| 陈凯 | 西澳大学生物医学学院 | 王向阳 | 温州医科大学附属第二医院 |
| 陈晓静 | 浙江大学医学院附属妇产科医院 | 王艳 | 北京大学第一医院 |
| 陈宜 | 中日友好医院 | 王勇 | 北京大学口腔医学院 |
| 付建华 | 中国中医科学院西苑医院 | 吴海涛 | 军事科学院军事医学研究院 |
| 付文龙 | 重庆医科大学附属儿童医院 | 吴锦晖 | 四川大学华西医院 |
| 何悦 | 上海交通大学医学院附属第九人民医院 | 解文君 | 中国医学科学院血液病医院 |
| 侯莉明 | 空军军医大学西京医院 | 杨柳 | 陆军军医大学西南医院 |
| 胡文胜 | 浙江大学医学院附属妇产科医院 | 叶红芳 | 南京大学医学院附属鼓楼医院 |
| 黄晓巍 | 长春中医药大学药学院 | 应美丹 | 浙江大学药学院 |
| 李芸 | 中南大学湘雅二医院 | 袁丽 | 四川大学华西医院 |
| 刘峰 | 北京大学口腔医学院 | 张竞之 | 广州医科大学附属第二医院 |
| 刘臻 | 南京大学医学院附属鼓楼医院 | 张翔南 | 浙江大学药学院 |
| 陆伦根 | 上海交通大学医学院附属第一人民医院 | 张自峰 | 空军军医大学西京医院 |
| 吕永利 | 华中科技大学同济医学院附属协和医院 | 赵东赤 | 武汉大学中南医院 |
| 马威 | 空军军医大学第三附属医院 | 赵炜 | 广东省医学免疫与分子诊断重点实验室 |
| 蒲小平 | 北京大学药学院 | 肇丽梅 | 中国医科大学附属盛京医院 |
| 宋海东 | 浙江大学医学院附属精神卫生中心 | 支杰华 | 扬州大学附属医院 |
| 孙皎 | 上海交通大学医学院附属第九人民医院 | 朱依敏 | 浙江大学医学院附属妇产科医院 |