

复杂性肾结石患者可弯曲负压吸引鞘联合 URL 后尿路感染的 XGBoost 模型构建及验证

卢凯鑫,高锐*,刘昌毅,陈文炜,何彦丰

(福建医科大学附属第一医院泌尿外科,福建福州 350005)

[摘要] 目的 构建复杂性肾结石患者可弯曲负压吸引鞘联合输尿管软镜碎石术(ureteroscopic lithotripsy, URL)后尿路感染(urinary tract infection, UTI)的极端梯度提升(extreme gradient boosting, XGBoost)模型,并对模型的预测价值进行验证。**方法** 选取2023年1月—2025年1月福建医科大学附属第一医院择期行可弯曲负压吸引鞘联合 URL 治疗的复杂性肾结石患者290例,开展前瞻性研究。根据术后是否发生 UTI 分为 UTI 组($n=71$)和非 UTI 组($n=219$)。比较2组临床资料,多因素 Logistic 分析术后 UTI 的影响因素,构建逻辑回归(Logistic regression, LR)、XGBoost 模型,采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线及曲线下面积(area under curve, AUC)评估两种模型预测效能,并采用校准曲线、决策曲线进行模型内部验证。**结果** UTI 组手术时间 $[75.84 \pm 10.73 \text{ min}]$ 长于非 UTI 组 $[70.29 \pm 9.65 \text{ min}]$,术前 UTI 占比、导尿管留置时间 $\geq 3 \text{ d}$ 占比、血清 C 反应蛋白(C-reactive protein, CRP)、白细胞介素 6(interleukin-6, IL-6)、 β -防御素 3(human beta-defensin 3, HBD-3)、诱骗受体 3(decoy receptor 3, DCR3)水平 $[33.80\%、57.75\%、(21.35 \pm 4.18) \text{ mg/L}、(15.08 \pm 3.25) \text{ ng/L}、(1.29 \pm 0.32) \mu\text{g/L}、(11.65 \pm 3.18) \mu\text{g/L}]$ 高于非 UTI 组 $[15.98\%、37.90\%、(17.86 \pm 3.34) \text{ mg/L}、(11.94 \pm 2.61) \text{ ng/L}、(0.82 \pm 0.24) \mu\text{g/L}、(8.42 \pm 2.65) \mu\text{g/L}]$,差异有统计学意义($P < 0.05$);多因素 Logistic 分析显示,手术时间、术前 UTI、导尿管留置时间及血清 CRP、IL-6、HBD-3、DCR3 均为术后 UTI 的独立影响因素($P < 0.05$);并基于多因素分析结果构建 LR 模型,XGBoost 算法显示 6 个临床特征构建 XGBoost 预测模型,ROC 分析显示,XGBoost 模型预测术后发生 UTI 的 AUC 为 0.944,大于 LR 模型的 AUC 值 0.877($Z=2.546, P=0.011$),且内部验证结果显示,XGBoost 模型观测值和预测值的重合度较好,预测结果与实际结果的一致性及拟合度较高,具有良好的临床效用及正向净收益。**结论** 基于 XGBoost 算法构建 XGBoost 模型预测复杂性肾结石患者可弯曲负压吸引鞘联合 URL 后 UTI 的 AUC 值较为理想,预测效能良好,且具有良好临床效用及正向净收益,可作为临床预测术后 UTI 的辅助模型,并可为临床更精准、个性化决策提供参考。

[关键词] 肾结石;尿路感染;XGBoost 模型 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2025.11.011

[中图分类号] R692.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2025)11-1323-08

Construction and verification of XGBoost model for urinary tract infection after flexible negative pressure suction sheath combined with URL in patients with complex renal calculi

LU Kai-xin, GAO Rui*, LIU Chang-yi, CHEN Wen-wei, HE Yan-feng

(Department of Urology, the First Affiliated Hospital of Fujian Medical University, Fujian Province, Fuzhou 350005, China)

[Abstract] **Objective** To construct an extreme gradient boosting (XGBoost) model for urinary tract infection (UTI) after flexible negative pressure suction sheath combined with ureteroscopic lithotripsy (URL) in patients with complex renal calculi, and to verify the predictive value of the model. **Methods** A prospective study was conducted on 290 patients with

[收稿日期]2025-08-22

[基金项目]福建省科技创新联合资金项目(2023Y9040)

[作者简介]卢凯鑫(1996-),男,福建福州人,福建医科大学附

属第一医院医师,医学硕士,从事泌尿系统疾病诊治研究。

* 通信作者。E-mail:gaorui720827@fjmu.edu.cn

complex renal calculi who underwent elective flexible negative pressure suction sheath combined with URL treatment at the First Affiliated Hospital of Fujian Medical University from January 2023 to January 2025. Patients were divided into the UTI group ($n=71$) and the non-UTI group ($n=219$) based on occurrence of UTI postoperatively. The clinical data of the two groups were compared, and multivariate Logistic analysis was used to analyze the influencing factors of postoperative UTI. Logistic regression (LR) and XGBoost models were constructed, and the predictive performance of the two models was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curves and area under the ROC curve (AUC). Calibration curves and decision curves were used for internal validation of the models. **Results** The duration of operation was longer in the UTI group [(75.84 ± 10.73) min] than in the non-UTI group [(70.29 ± 9.65) min], and the proportion of preoperative UTI, the proportion of catheter indwelling time ≥ 3 d, serum C-reactive protein (CRP), interleukin-6 (IL-6), human beta-defensin 3 (HBD-3), decoy receptor 3 (DCR3) levels [33.80%, 57.75%, (21.35 ± 4.18) mg/L, (15.08 ± 3.25) ng/L, (1.29 ± 0.32) $\mu\text{g/L}$, (11.65 ± 3.18) $\mu\text{g/L}$] were higher than those in the non-UTI group [15.98%, 37.90%, (17.86 ± 3.34) mg/L, (11.94 ± 2.61) ng/L, (0.82 ± 0.24) $\mu\text{g/L}$, (8.42 ± 2.65) $\mu\text{g/L}$], showing significant differences ($P < 0.05$). Multivariate logistic regression analysis showed that duration of operation, preoperative UTI, catheterization duration, and serum CRP, IL-6, HBD-3, and DCR3 levels were independent factors affecting postoperative UTI ($P < 0.05$). Based on the results of the multivariate analysis, a LR model was constructed. The XGBoost algorithm demonstrated that six clinical features could be used to construct an XGBoost prediction model. ROC analysis showed that the AUC of the XGBoost model for predicting postoperative UTI was 0.944, which was higher than that of the LR model (0.877) ($Z = 2.546$, $P = 0.011$). Furthermore, internal validation results indicated that the XGBoost model exhibited good agreement between observed and predicted values, with high consistency and fit between prediction and actual outcomes, demonstrating good clinical utility and positive net benefit. **Conclusion** XGBoost model based on the XGBoost algorithm demonstrates an ideal AUC value for predicting the UTI after the flexible negative pressure suction sheath combined with URL in patients with complex renal calculi, indicating favorable predictive performance. It has good clinical utility and positive net benefit, and can be used as an auxiliary model for clinical prediction of postoperative UTI, and can provide reference for more accurate and personalized clinical decision-making.

[Key words] renal calculi; urinary tract infection; XGBoost model

可弯曲负压吸引鞘联合输尿管软镜碎石术 (ureteroscopy lithotripsy, URL) 是当前临床针对复杂性肾结石重要干预手段, 尿路感染 (urinary tract infection, UTI) 是 URL 术后较常见并发症, 严重时削弱手术效果, 甚至引起脓毒血症等, 预后不良^[1]。既往临床评估 URL 术后是否发生 UTI, 主要依赖于尿培养、感染指标检测等方式, 存在耗时、敏感性不足等缺陷, 缺乏有效、系统性预测方案^[2-3]。因此, 早期、高效预测术后 UTI 发生风险, 指导临床积极防控, 降低感染性并发症及不良预后发生率, 已成为当前泌尿外科领域亟待解决的难题。极端梯度提升 (extreme gradient boosting,

XGBoost) 作为高性能集成学习模型, 可将手术参数、实验室指标等多维信息进行系统性整合, 与逻辑回归 (Logistic regression, LR)、决策树等模型相比, 具有抗过拟合、处理非线性关系及特征重要性排序等算法优势, 并可通过夏普利加性解释 (SHapley Additive exPlanations, SHAP) 图解析决策过程, 临床实用性更佳^[4-5]。因此, 本研究尝试性构建术后 UTI 的 XGBoost 预测模型, 并验证其预测效能, 旨在为临床工作提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2023 年 1 月—2025 年 1 月福

建医科大学附属第一医院择期行可弯曲负压吸引鞘联合 URL 治疗的复杂性肾结石患者 290 例,开展前瞻性研究。根据术后是否发生 UTI 分为 UTI 组 ($n=71$) 和非 UTI 组 ($n=219$)。纳入标准:①均符合复杂性肾结石诊断标准^[6];②符合手术指征,接受 URL 治疗;③既往无尿道手术史;④未合并其他部位结石;⑤对研究方案流程、风险、获益知情同意。排除标准:①既往存在精神、心理疾病史;②合并恶性肿瘤;③合并艾滋等严重传染性疾病;④凝血功能异常;⑤重要脏器功能不全;⑥自身免疫缺陷;⑦先天性尿道畸形。脱落标准:①突发其他危急重症或意外死亡;②术后未配合完成抗炎、抗感染等相关治疗。

本研究经医院医学伦理委员会批准(闽医大附一伦理医技审[2015]084-2 号)。

1.2 方法

1.2.1 资料收集 于万方、知网、pubmed 等在线数据库,以“复杂性肾结石”、“URL”、“UTI”等为关键词检索相关文献,确定术后 UTI 可能风险因素。由两名研究组成员成立信息采集小组,以查阅电子病案系统、追踪辅助检查结果为主要形式收集患者下列临床资料:性别、年龄、病程、体重指数(body mass index, BMI)、合并症(糖尿病、高血压、高脂血症)、吸烟史、饮酒史、结石数量(单发、多发)、结石部位(左侧、右侧、双侧)、结石直径(<3 cm、 ≥ 3 cm)、手术时间、术中通道类型(单通道、多通道)、术前是否伴 UTI、导尿管留置时间(指术后导尿管留置时间, <3 d、 ≥ 3 d)及实验室指标[C 反应蛋白(C-reactive protein, CRP)、白细胞介素 6(interleukin-6, IL-6)、 β -防御素 3(human beta-defensin 3, HBD-3)、诱骗受体 3(decoy receptor 3, DCR3)]。以双人形式录入、核对数据,保障结果真实可靠。

1.2.2 治疗方案及术后 UTI 评估标准^[7] 所有患者均接受可弯曲负压吸引鞘联合 URL 治疗;给予患者全麻,取截石位。于输尿管硬镜(8702.534 型,

Richard Wolf GmbH)下,将斑马导丝置入患侧输尿管,并将可弯曲负压吸引鞘(输尿管软镜鞘)沿导丝进入肾盂输尿管连接部,建立通道,引入电子输尿管软镜进入肾集合系统。采用钬激光碎石(<2 mm),负压吸引,控制流量为 15~20 mL/min,肾盂内压力维持在 20~40 cmH₂O(1 cmH₂O=0.098 kPa)以下。其中,单通道指仅使用一根可弯曲负压吸引鞘,用于处理单侧肾脏全部结石;多通道指在同侧肾脏的不同部位,分别建立至少两条通道,多用于处理多发憩室颈口狭窄的憩室结石等较复杂情况,可避免负压吸引鞘过度弯曲导致激光光纤损坏或吸引效率下降。术后依据相关标准评估是否发生 UTI:尿常规检查阳性(白细胞酯酶阳性、亚硝酸盐阳性或镜检白细胞 >10 个/HP)或中段尿培养细菌数超过 105 CFU/mL,可无明显临床症状或存在下列任一症状:①耻骨上区域痛;②尿频、尿急等尿路刺激征(日排尿次数不低于 8 次,突发、强烈、难以延迟的排尿欲望,排尿时尿道有烧灼或疼痛感),且体温 38 °C 以上;③肋腰椎角压痛伴血尿。

1.3 统计学方法 应用 SPSS 27.0 统计软件进行数据分析。计数资料比较采用 χ^2 检验;计量资料比较采用 t 检验;危险因素确定采用多因素 Logistic 回归分析;R 语言构建 LR、XGBoost 模型,采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线、曲线下面积(area under curve, AUC)评估模型预测效能,校准曲线、决策曲线进行模型内部验证。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2 组临床资料比较 2 组性别、年龄、病程等一般资料比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);UTI 组手术时间长于非 UTI 组,术前 UTI 占比、导尿管留置时间 ≥ 3 d 占比、血清 CRP、IL-6、HBD-3、DCR3 水平高于非 UTI 组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 1。

表 1 2 组临床资料比较

Table 1 Comparison of clinical data between the two groups

组别	例数	性别(例数,%)		年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	病程($\bar{x} \pm s$, 月)	BMI($\bar{x} \pm s$)	结石部位(例数,%)		
		男性	女性				左侧	右侧	双侧
UTI 组	71	41(57.75)	30(42.25)	50.26 \pm 7.43	11.35 \pm 3.18	23.61 \pm 1.57	32(45.07)	28(39.44)	11(15.49)
非 UTI 组	219	112(51.14)	107(48.86)	48.97 \pm 7.10	10.72 \pm 3.37	23.29 \pm 1.64	106(48.40)	95(43.38)	18(8.22)
χ^2/t 值		0.938		1.315	1.387	1.443	3.158		
P 值		0.333		0.189	0.166	0.150	0.206		

表 1 (续)

组别	例数	结石直径(例数,%)		术中通道类型(例数,%)		术前 UTI(例数,%)	
		<3 cm	≥3 cm	单通道	多通道	有	无
UTI 组	71	29(40.85)	42(59.15)	33(46.48)	38(53.52)	24(33.80)	47(66.20)
非 UTI 组	219	110(50.23)	109(49.77)	126(57.53)	93(42.47)	35(15.98)	184(84.02)
χ ² /t 值		1.892		2.646		10.508	
P 值		0.169		0.104		0.001	

组别	例数	导尿管留置时间(例数,%)		手术时间 ($\bar{x} \pm s, \text{min}$)	CRP ($\bar{x} \pm s, \text{mg/L}$)	IL-6 ($\bar{x} \pm s, \text{ng/L}$)	HBD-3 ($\bar{x} \pm s, \mu\text{g/L}$)	DCR3 ($\bar{x} \pm s, \mu\text{g/L}$)
		≥3 d	<3 d					
UTI 组	71	41(57.75)	30(42.25)	75.84±10.73	21.35±4.18	15.08±3.25	1.29±0.32	11.65±3.18
非 UTI 组	219	83(37.90)	136(62.10)	70.29±9.65	17.86±3.34	11.94±2.61	0.82±0.24	8.42±2.65
χ ² /t 值		8.629		4.095	7.173	8.273	13.15	8.483
P 值		0.003		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

组别	例数	合并症(例数,%)			吸烟史(例数,%)		饮酒史(例数,%)		结石数量(例数,%)	
		糖尿病	高血压	高脂血症	有	无	有	无	单发	多发
UTI 组	71	18(25.35)	21(29.58)	11(15.49)	30(42.25)	41(57.75)	15(21.13)	56(78.87)	35(49.30)	36(50.73)
非 UTI 组	219	35(15.98)	46(21.00)	22(10.05)	76(34.70)	143(65.30)	38(17.35)	181(82.65)	129(58.90)	90(41.10)
χ ² /t 值		3.152	2.218	1.578	1.318		0.512		2.015	
P 值		0.076	0.136	0.209	0.251		0.474		0.156	

2.2 复杂性肾结石患者术后 UTI 的多因素 Logistic 分析及 LR 模型构建 将复杂性肾结石患者术后是否发生 UTI 作为因变量,表 1 中 $P < 0.05$ 指标作为自变量,按照表 2 赋值方法,进行多因素 Logistic 分析,结果显示,手术时间($OR = 1.078, P = 0.026$)、术前 UTI($OR = 2.798, P < 0.001$)、导尿管留置时间($OR = 2.274, P < 0.001$)、血清 CRP ($OR = 1.268, P = 0.008$)、IL-6 ($OR = 1.312, P < 0.001$)、HBD-3 ($OR = 1.433, P < 0.001$)、DCR3 ($OR = 1.332, P < 0.001$)均为复杂性肾结石患者术后 UTI 的独立影响因素。见表 3。基于以上影响因素构建 LR 模型为: $\text{Logit}(p) = -4.125 + 0.075 \times$

$\text{手术时间} + 1.029 \times \text{术前 UTI} + 0.822 \times \text{导尿管留置时间} + 0.237 \times \text{CRP} + 0.272 \times \text{IL-6} + 0.360 \times \text{HBD-3} + 0.286 \times \text{DCR3}$ 。

表 2 赋值方法

Table 2 Assignment method

变量	赋值情况
UTI	未发生=0,发生=1
手术时间	连续变量
术前 UTI	无=0,有=1
导尿管留置时间	<3 d=1,≥3 d=2
CRP	连续变量
IL-6	连续变量
HBD-3	连续变量
DCR3	连续变量

表 3 复杂性肾结石患者术后 UTI 的多因素 Logistic 分析

Table 3 Multivariate Logistic analysis of postoperative UTI in patients with complex renal calculi

变量	回归系数	标准误	Wald χ ² 值	P 值	OR 值	95%CI
手术时间	0.075	0.035	4.619	0.026	1.078	1.025~1.134
术前 UTI	1.029	0.329	9.781	<0.001	2.798	1.792~4.369
导尿管留置时间	0.822	0.291	7.972	<0.001	2.274	1.518~3.407
CRP	0.237	0.093	6.507	0.008	1.268	1.135~1.416
IL-6	0.272	0.098	7.691	<0.001	1.312	1.142~1.508
HBD-3	0.360	0.105	11.759	<0.001	1.433	1.187~1.731
DCR3	0.286	0.103	7.733	<0.001	1.332	1.150~1.542
常数项	-4.125	1.176	10.408	<0.001	-	-

2.3 XGBoost 模型构建 将表 1 中数据通过 XGBoost 算法反复训练得到最佳参数(learning_rate:0.07,max_depth:6,n_estimators:200),当纳入前 6 个临床特征时,模型的预测效能最大,前 6 个临床特征按照重要性排序依次为血清 HBD-3

(SHAP = 2.431)、DCR3 (SHAP = 1.288)、CRP (SHAP = 1.230)、IL-6 (SHAP = 1.059)、手术时间 (SHAP = 0.558)、导尿管留置时间 (SHAP = 0.426),将上述 6 个临床特征作为预测指标构建 XGBoost 模型。见图 1。

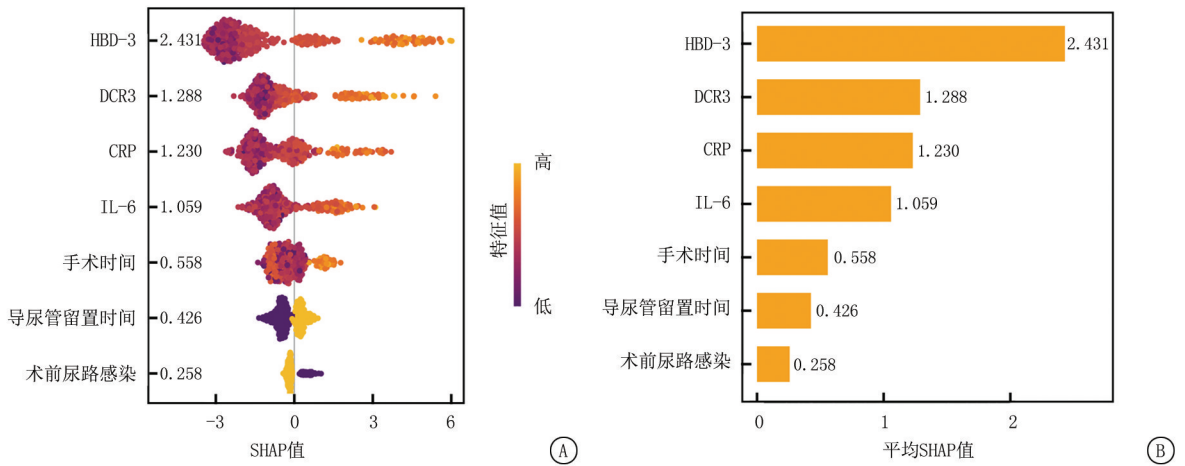


图1 XGBoost模型的特征SHAP值及重要性排序

A.临床特征的SHAP值可视化图;B.临床特征的重要性排序图

Figure 1 Feature SHAP values and importance ranking of the XGBoost model

2.4 2种模型预测UTI的预测效能比较 ROC分析显示,LR模型、XGBoost模型预测复杂性肾结石患者术后发生UTI的AUC分别为0.877(95%CI: 0.834~0.913)、0.944(95%CI: 0.911~0.967),

XGBoost模型的AUC大于LR模型的AUC,差异有统计学意义($Z=2.546, P=0.011$)。见表4、图2。

表4 2种模型预测UTI的预测效能

Table 4 Predictive performance of the two models for UTI prediction

指标	AUC	95%CI	约登指数	敏感度(%)	特异度(%)	P值
LR模型	0.877	0.834~0.913	0.624	78.870	83.560	<0.001
XGBoost模型	0.944	0.911~0.967	0.767	83.100	93.610	<0.001

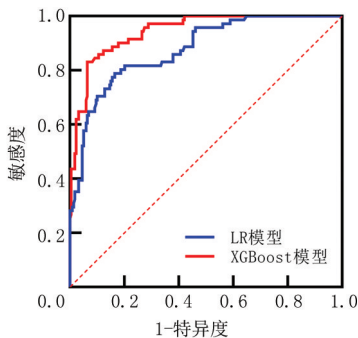


图2 2种模型预测UTI的ROC曲线

Figure 2 ROC curves of the two models for UTI prediction

2.5 XGBoost模型的内部验证 采用Bootstrap重抽样1000次绘制校准曲线,对XGBoost模型的准确性进行验证,结果显示,该模型的校准曲线观测值和预测值的重合度较好,预测结果与实际结果的一致性拟合度较高,具有较高准确性,见图3。绘制决策曲线对XGBoost模型的临床效用进行验证,结果显示,该模型具有明显的正向净收益,在预测复杂性肾结石患者术后UTI发生风险中的临床效用较高,见图4。

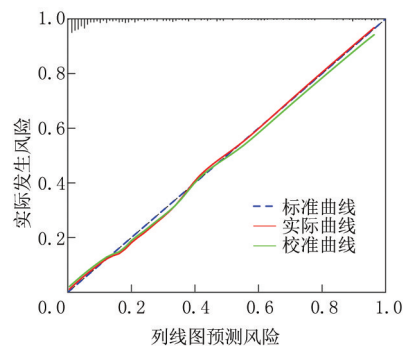


图3 XGBoost模型的校准曲线

Figure 3 Calibration curve of the XGBoost model

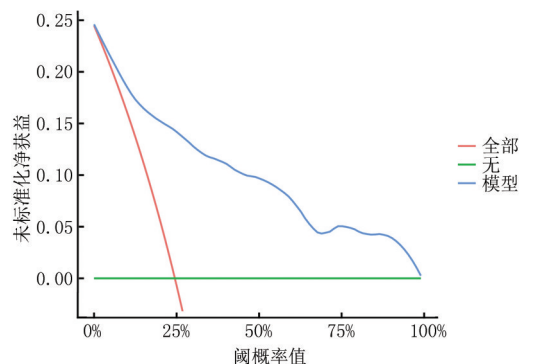


图4 XGBoost模型的决策曲线

Figure 4 Decision curve of the XGBoost model

3 讨 论

据统计,近年来复杂性肾结石发病率呈逐年升高趋势,接受可弯曲负压吸引鞘联合 URL 治疗患者亦随之增加^[8-11]。受疾病异质性等因素影响,术后存在一定 UTI 发生风险,本研究 290 例患者 UTI 发生率达 24.48%,略低于连学雄等^[12] 近期研究结果,可导致患者住院时间延长,甚至进展为脓毒血症,由此可见,加强术后 UTI 防治工作已极为必要。故探寻与术后 UTI 发生相关的关键因素,并建立 XGBoost 模型,辅助预测术后是否发生 UTI,对指导临床防治、降低术后 UTI 发生率及改善预后具有重要意义。

本研究结果显示,手术时间、术前 UTI、导尿管留置时间及血清 CRP、IL-6、HBD-3、DCR3 均为复杂性肾结石患者术后 UTI 的独立影响因素。可能与下列原因有关:①手术操作时间延长,创伤暴露时间延长,手术器械亦反复机械性摩擦尿路上皮,可破坏细胞表面糖胺聚糖层,进而损伤局部组织结构,造成黏膜损伤及基底膜胶原暴露,增加致病菌侵袭风险;此外,灌注压力过高是导致术后感染的重要因素,术中加压灌注时间随手术时间延长而增加,若肾盂内持续 40 cmH₂O 以上加压灌注,可致使肾盂静脉、淋巴管及肾盂肾小管反流,致使肾盂内致病菌逆向进入血液循环,进而引发全身炎症反应,同时,亦可导致结石周围感染性微粒进入肾实质,成为术后感染病灶,增加术后 UTI 发生风险^[13-14]。魏峰等^[15] 研究认为,手术时间是复杂性肾结石术后发生感染性疾病的独立危险因素。②URL 前需对伴随 UTI 患者进行目标性用药,以达到尿培养阴性、无感染症状等为手术理想状态,但临床实践显示,多数术后 UTI 与术前 UTI 感染菌株同源,推测术前部分菌落可能逃脱抗生素作用,隐匿于尿路上皮细胞而未被完全清除,并于术后被再次激活,从而增加感染性疾病发生风险^[16-18]。③常规术后 3 d 内拔除导尿管,导尿管留置时间延长,通常是术后 UTI 所致的结果,两者间存在复杂的相互作用关系,当患者术后出现发热、尿液浑浊等可能感染情况时,临床多延长导尿管留置时间,以便观察尿色、尿量及膀胱冲洗等;而留置时间延长后,尿道腺体长期受压可出现机械性防御损伤,致病菌易吸附于导管表面,HBD-3 等抗菌肽合成及分泌减少,而患者术后免疫防御功能减弱,为菌群定植、生长提供了适宜内环境,进一步增加了 UTI 发生风险^[19]。④CRP、IL-6 作为临

床常用炎症因子,二者水平升高提示术前已存在结石相关慢性感染,结石表面生物膜大量释放脂多糖,可通过 Toll 样受体 4/核因子 κ B(Toll-like receptor 4/nuclear factor kappa-light-chain-enhancer of activated B cells,TLR4/NF- κ B)等信号通路刺激巨噬细胞活化,分泌大量 IL-6,进而促进 CRP 合成^[20-22];结石亦可机械性摩擦尿路黏膜,致使基底胶原膜暴露,激活 NLRP3 炎症小体,加速 IL-6 等炎症因子产生并黏附、聚集于尿道黏膜,而术中创伤可进一步刺激 IL-6、CRP 等炎症介质合成、释放,形成恶性循环,逐步加重炎症及氧化应激反应对黏膜屏障造成的病理损伤,并抑制组织修复,降低机体对致病菌的防御及清除能力,增加 UTI 发生风险^[23-24]。Yoshida 等^[25] 与本研究观点较为类似。⑤HBD-3 为免疫防御蛋白,亦是链接先天免疫及适应性免疫系统的抗菌肽,具有广谱抗菌、抗病毒、促进创伤修复及免疫调节等多种功效,正常状态下在血液中的含量较低,当处于炎症状态时,HBD-3 表达可适应性、应激性上调,激活免疫细胞,参与免疫防御,并可诱导 IL-6 等炎症细胞因子趋化、黏附、聚集于尿道黏膜等损伤部位,加重局部炎症反应损伤,增加 UTI 风险^[26-27]。张波等^[28] 研究中存在类似观点。⑥DCR3 主要源自巨噬、树突细胞,变形杆菌等生物膜内致病菌可持续释放脂多糖,并经 TLR4/NF- κ B 等信号通路刺激 DCR3 表达,高表达 DCR3 可与脂肪酸合成酶配体竞争性结合,抑制中性粒细胞凋亡,致使中性粒细胞释放抗菌蛋白及活性氧等功能耗竭,对致病菌的破坏及清除能力减弱^[29-31];DCR3 亦可激活磷脂酰肌醇 3 激酶/丝苏氨酸蛋白激酶等信号通路,增加尿路上皮纤维连接蛋白分泌,从而为大肠埃希菌等致病菌提供黏附位点,并促进生物膜形成^[32];此外,有学者研究指出,高表达 DCR3 通过阻断特定细胞信号,可抑制抗炎因子产生,加速促炎因子产生,致使局部组织处于持续性炎症状态,加剧致病菌侵袭及组织损伤^[33]。

基于上述因素构建 LR 模型,ROC 分析显示该模型预测术后 UTI 的 AUC 为 0.877;XGBoost 算法系统整合多维度临床信息,反复训练筛选关键性特征,并通过 SHAP 提供可解释的风险因素分析,预测效能优于 LR 等常用统计建模结果,因此,本研究采用 XGBoost 算法进一步分析、提取与 UTI 发生相关的 6 个关键临床特征并构建 XGBoost 模型,这也是本研究创新性所在,结果显示该模型预测术后 UTI 的 AUC 可提高至 0.944,优于 LR 模型预测

效能;进一步内部验证显示,XGBoost 模型预测结果与实际结果的一致性及其拟合度均较高,具有良好的临床效用及正向净收益,可作为术后 UTI 的有效预测模型。建议临床重视复杂性肾结石患者上述 6 个关键临床特征,有助于早期识别术后发生 UTI 高风险人群,从而可指导临床积极实施个性化防治措施,对降低术后 UTI 发生率、改善预后极为重要。

综上所述,血清 HBD-3、DCR3、CRP、IL-6、手术时间、导尿管留置时间均为复杂性肾结石患者可弯曲负压吸引鞘联合 URL 后 UTI 的独立影响因素,基于上述因素构建 XGBoost 模型对术后 UTI 具有良好预测效能,可为临床预测术后 UTI 提供参考,并可指导后续决策。本研究尚有不足之处:局限于单中心选例,难以避免存在选择性偏倚,样本缺乏广泛代表性,可能影响结果外推性;仅纳入了 2 年内的病例,时间跨度较短;未对模型预测效能进行外部验证,统计效能可能受到一定影响。因此,未来有待开展多中心研究,延长随访时间,并完善外部验证设计,以验证模型泛化能力。

[参考文献]

- [1] Zeng WB,Zhao ZW,Li GM, et al. Clinical efficacy of flexible ureteroscopy with holmium laser lithotripsy for geriatric patients with complex upper urinary tract calculi [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2025, 104(1):e41116.
- [2] 余曜,李白,包伟.微创经皮肾镜、输尿管软镜治疗输尿管上段复杂结石的临床效果对比分析[J]. *临床误诊误治*, 2023, 36(1):116-119.
- [3] Liu SS, Zhu DQ, Tan JT, et al. Development and external validation of a nomogram for predicting sepsis following flexible ureteroscopy[J]. *Eur J Med Res*, 2025, 30(1):479-483.
- [4] Gu YJ, Su S, Wang XP, et al. Comparative study of XGBoost and logistic regression for predicting sarcopenia in postsurgical gastric cancer patients[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1):12808.
- [5] Lin XT, Gao FM, Lin HJ, et al. XGBoost-based nomogram for predicting lymph node metastasis in endometrial carcinoma [J]. *Am J Cancer Res*, 2024, 14(12):5769-5783.
- [6] Bhojani N, Bjazevic J, Wallace B, et al. UPDATE-Canadian Urological Association guideline: Evaluation and medical management of kidney stones[J]. *Can Urol Assoc J*, 2022, 16(6):175-188.
- [7] de Cueto M, Aliaga L, Alós JI, et al. Executive summary of the diagnosis and treatment of urinary tract infection: Guidelines of the Spanish Society of Clinical Microbiology and infectious diseases (SEIMC) [J]. *Enferm Infecc Microbiol Clin*, 2017, 35(5):314-320.
- [8] 曹振虎,刘龙强.肾结石输尿管软镜碎石术治疗后发生全身炎症反应综合征的影响因素分析[J]. *临床误诊误治*, 2025, 38(1):65-69.
- [9] Tasaka S, Kohada Y, Ikeda M, et al. Utility of the modified 5-item frailty index as a predictor of postoperative febrile urinary tract infection in patients who underwent ureteroscopy with laser lithotripsy[J]. *World J Urol*, 2024, 42(1):323-329.
- [10] Chi YW, Sun FZ, Liu HQ, et al. Comparison of ureteroscopic lithotripsy and laparoscopic ureterolithotomy in the treatment of large proximal ureteral stones in developing countries: A systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Surg*, 2025, 111(10):7243-7253.
- [11] 李锋,莫俊峰,程天飞,等.智能控压系统输尿管软镜钬激光碎石治疗 70 例复杂性肾结石患者的疗效分析[J]. *重庆医学*, 2024, 53(7):1050-1053.
- [12] 连学雄,李锋,赵仕佳,等.复杂性肾结石患者经皮肾镜碎石术后并发尿路感染危险因素分析[J]. *微创泌尿外科杂志*, 2021, 10(4):221-225.
- [13] 王硕,陆攀,叶昶.肾结石合并非酒精性脂肪性肝病患者术后感染的影响因素及预测[J]. *临床泌尿外科杂志*, 2024, 39(1):78-82.
- [14] Qu XF, Geng YC, Wang ZY, et al. Risk factors for postoperative urinary tract infections in paediatric hydronephrosis: A retrospective analysis[J]. *Arch Esp Urol*, 2024, 77(9):1026-1034.
- [15] 魏峰,周广军,李双辉,等.血清 HBD-3、DCR3 对复杂性肾结石患者经皮肾镜碎石术后尿路感染的预测价值[J]. *现代泌尿外科杂志*, 2024, 29(4):342-346.
- [16] Simon J, Kleinclauss F, Chabannes É, et al. Urinary tract infection after flexible ureterorenoscopy for urolithiasis in patients with positive treated preoperative urinalysis [J]. *Urolithiasis*, 2024, 52(1):45-51.
- [17] 宁文君,王永锋.肾结石术后尿路感染的影响因素及血清 RBP4、Cys C 检测的预测价值[J]. *国际泌尿系统杂志*, 2024, 44(4):597-601.
- [18] 刘辉,魏勇,高海峰,等.一期输尿管软镜钬激光碎石术联合可弯曲负压吸引鞘治疗 > 2 cm 肾结石合并尿路感染的疗效观察[J]. *临床泌尿外科杂志*, 2025, 40(3):284-288.
- [19] Scruggs-Wodkowski E, Kidder I, Meddings J, et al. Urinary catheter-associated infections[J]. *Infect Dis Clin North Am*, 2024, 38(4):713-729.
- [20] Krawczyk B, Wityk P, Laskowska A, et al. Iron uptake by *Escherichia coli* in urinary tract infections and urosepsis[J]. *PLoS One*, 2025, 20(6):e0326251.
- [21] Wagenlehner F, Perry CR, Hooton TM, et al. Plain language summary: Efficacy and safety of gepotidacin, a new oral antibiotic, compared with nitrofurantoin, a commonly used oral antibiotic, for treating uncomplicated urinary tract infection[J]. *Future Microbiol*, 2025, 20(4):265-275.
- [22] 宋雅信,刘佩,许学升.急性冠脉综合征 PCI 术后感染病原菌和危险因素及血清 miR-223、IL-6、CRP 水平[J]. *中华医院感*

染学杂志,2024,34(21):3261-3265.

- [23] Shi J, Zhan ZS, Zheng ZS, et al. Correlation of procalcitonin and c-reactive protein levels with pathogen distribution and infection localization in urinary tract infections[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1):17164.
- [24] Akgül M, Özman O, Başataç C, et al. Can we predict postoperative fever and urinary tract infection after retrograde intrarenal surgery? Results of a case control matching multicentric RIRSearch study group[J]. *World J Urol*, 2025, 43(1):55-62.
- [25] Yoshida B, Nguyen A, Formanek B, et al. Hypoalbuminemia and elevated CRP are risk factors for deep infections and urinary tract infections after lumbar spine surgery in a large retrospective patient population[J]. *Global Spine J*, 2023, 13(1):33-44.
- [26] Jiang LL, Huang YX, Fang MF, et al. Dynamic changes of Th1/Th2/Th17 cytokines and hBD-2/3 in erosive oral lichen planus patients saliva before and after prednisone acetate treatment[J]. *Heliyon*, 2024, 10(1):e24043.
- [27] Zhang CR, Han Y, Miao LL, et al. Human β -defensins are correlated with the immune infiltration and regulated by vitamin D3 in periodontitis[J]. *J Periodontal Res*, 2023, 58(5):986-996.
- [28] 张波, 苏中山, 杨俊杰, 等. 血清 HBD-3、TLR-2 水平预测上尿路结石术后感染的价值[J]. *国际泌尿系统杂志*, 2025, 45(3):96-99.
- [29] 宋光焯, 叶春伟, 袁顺辉, 等. 脊髓损伤并发尿路感染患者血清 IP-10、DcR3 水平变化及检测意义[J]. *陕西医学杂志*, 2025, 54(5):678-682.
- [30] Su JQ, Tong ZY, Wu S, et al. Research progress of DcR3 in the diagnosis and treatment of sepsis[J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(16):12916.
- [31] 张亚楠, 杨帅, 李源培, 等. 血清 Gal-3 和 DcR3 及 SAA 表达水平在急性胰腺炎中的临床意义[J]. *热带医学杂志*, 2023, 23(10):1397-1401, 1422.
- [32] 许颖, 张靖雯, 孙伟. 特应性皮炎患者血清 sST2、DcR3 水平与病情严重程度相关性研究[J]. *标记免疫分析与临床*, 2025, 32(1):6-11.
- [33] Jiang Y, Tu X, Guo JW, et al. DcR3 suppresses the NF- κ B pathway and the NLRP3 inflammasome activation in gouty inflammation[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2024, 137(21):2644-2646.

(本文编辑:王聪)