

术前预测感染性肾结石列线图模型的构建及验证

郑鹏¹ 吴赛萍¹ 谢秀璋¹ 史庆丰²

【摘要】目的 建立一款用于术前预测感染性肾结石的列线图模型并进行验证。**方法** 回顾性总结2020年2月至2023年2月江苏大学附属武进医院（徐州医科大学武进临床学院）诊断肾结石患者共350例，按7:3随机分为建模集（245例）和验证集（105例）。建模集中感染性肾结石91例和无感染性肾结石154例，验证集中感染性肾结石患者39例和无感染性肾结石患者66例。比较建模集中感染性肾结石组与无感染性肾结石组患者的临床资料，采用最小绝对值收敛和选择算子回归（Lasso）模型和多因素Logistic回归模型筛选感染性肾结石的危险因素，R软件建立列线图模型，采用1 000次自我重复采样进行验证。**结果** 单因素分析发现，建模集患者中感染性肾结石组女性、复发性肾结石和鹿角形结石、结石面积较无感染性肾结石组显著增加，而结石Hounsfield单位（HU）显著降低；术前膀胱尿液培养阳性（PBUC）、尿白细胞计数（WBC）和细菌量、尿蛋白阳性、尿亚硝酸盐阳性、尿白细胞酯酶阳性（ULE）、尿pH值升高、尿液浊度阳性例数占比较无感染性肾结石组显著增多，而尿比重显著下降；血尿酸水平较无感染性肾结石组降低，但血磷和血镁升高，差异均有统计学意义（ P 均 < 0.05 ）。Lasso回归分析筛选出8个最具差异性的指标，即女性、复发性肾结石、结石面积 $\geq 601 \text{ mm}^2$ 、HU值 $< 1\ 000$ 、阳性PBUC、阳性ULE、尿pH和尿液浊度阳性。Logistic回归分析显示，女性（ $OR = 1.568$ 、95%CI: 1.231~1.902、 $P < 0.001$ ）、复发性肾结石（ $OR = 3.023$ 、95%CI: 2.568~3.467、 $P < 0.001$ ）、结石面积 $\geq 601 \text{ mm}^2$ （ $OR = 2.123$ 、95%CI: 1.756~2.569、 $P < 0.001$ ）、HU值 $< 1\ 000$ （ $OR = 3.856$ 、95%CI: 3.456~4.325、 $P < 0.001$ ）、阳性PBUC（ $OR = 1.895$ 、95%CI: 1.623~2.325、 $P < 0.001$ ）、阳性ULE（ $OR = 1.754$ 、95%CI: 1.326~2.124、 $P < 0.001$ ）、尿pH > 6.5 （ $OR = 1.323$ 、95%CI: 1.102~1.889、 $P < 0.001$ ）和尿液浊度阳性（ $OR = 1.602$ 、95%CI: 1.314~1.956、 $P < 0.001$ ）均为感染性肾结石的危险因素。通过R软件建立列线图模型，总分220分。受试者工作曲线（ROC）显示，列线图模型预测验证集感染性肾结石敏感度和特异度分别为79.8%和83.2%，ROC曲线下面积（AUC）为0.856（95%CI: 0.810~0.912、 $P < 0.001$ ），提示模型的诊断区分效能较好。校正曲线和决策曲线也显示模型有较好的吻合度和临床净获益比。**结论** 女性、复发性肾结石、结石面积 $\geq 601 \text{ mm}^2$ 、HU值 $< 1\ 000$ 、阳性PBUC、阳性ULE、尿pH和尿液浊度阳性可辅助评估感染性肾结石的发生风险，本研究建立的列线图模型可指导临床实践，有较好的应用潜力。

【关键词】 感染性肾结石；列线图模型；术前膀胱尿液培养；尿白细胞酯酶

Construction and validation of a nomogram model for predicting infectious kidney stones before surgery Zheng Peng¹, Wu Saiping¹, Xie Xiuzhang¹, Shi Qingfeng². ¹Department of Infection Management, Wujin Hospital Affiliated to Jiangsu University (Wujin Clinical College of Xuzhou Medical University), Changzhou 213000, China; ²Department of Infection Management, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

Corresponding author: Shi Qingfeng, Email: mybjbtg@126.com

【Abstract】Objective To establish a nomogram model for preoperative prediction of infectious

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1358.2023.05.003

基金项目：2019年度上海市卫生健康委员会卫生行业临床研究专项项目（No. 201940413）

作者单位：213000 常州市，江苏大学附属武进医院（徐州医科大学武进临床学院）感染管理科¹；200032 上海，复旦大学附属中山医院感染管理科²

通信作者：史庆丰，Email: mybjbtg@126.com

kidney stones. **Methods** Total of 350 patients with kidney stones diagnosed in Wujin Hospital Affiliated to Jiangsu University (Wujin Clinical College of Xuzhou Medical University) from February 2020 to February 2023 were summarized, retrospectively, and were randomly divided into a modeling set (245 cases) and a validation set (105 cases) according to 7 : 3. The modeling focused on 91 cases with infectious kidney stones and 154 cases with non-infectious kidney stones, and verified 39 cases of concentrated infectious kidney stones and 66 cases of non-infectious kidney stones. The clinical data of patients in infective kidney stone group and non-infective kidney stone group were compared in the modeling set. The minimum absolute convergence and selection operator regression (Lasso) model and multi-factor Logistic regression model were used to screen the risk factors of infective kidney stone. The nomographic model was established and verified by 1 000 self-repeated samples through R software. **Results** Univariate comparison showed that female, recurrent kidney stones and staghorn stones in the infectious kidney stones group were more, the stone area was larger, while the Hounsfield unit (HU) of stones was significantly fewer; positive preoperative bladder urine culture (PBUC), urine white blood cell count (WBC) and bacterial count, urine protein positive, urine nitrite positive, positive urine leukocyte esterase (ULE), urine pH value, and urine turbidity positive were significantly higher, while urine specific gravity was significantly lower; blood uric acid was lower, while blood phosphorus and magnesium were higher (all $P < 0.05$). Lasso screened 8 most differential indicators, namely female, recurrent kidney stones, stone area $\geq 601 \text{ mm}^2$, HU value $< 1\ 000$, positive PBUC, positive ULE, urine pH and urine turbidity positive. Logistic regression showed that female ($OR = 1.568$, 95%CI: 1.231-1.902, $P < 0.001$), recurrent kidney stones ($OR = 3.023$, 95%CI: 2.568-3.467, $P < 0.001$), stone area $\geq 601 \text{ mm}^2$ ($OR = 2.123$, 95%CI: 1.756-2.569, $P < 0.001$), HU value $< 1\ 000$ ($OR = 3.856$, 95%CI: 3.456-4.325, $P < 0.001$), positive PBUC ($OR = 1.895$, 95%CI: 1.623-2.325, $P < 0.001$), positive ULE ($OR = 1.754$, 95%CI: 1.326-2.124, $P < 0.001$), urinary pH > 6.5 ($OR = 1.323$, 95%CI: 1.102-1.889, $P < 0.001$) and positive urine turbidity ($OR = 1.602$, 95%CI: 1.314-1.956, $P < 0.001$) were the risk factors to infectious kidney stones. R software was used to establish a nomogram model, with a total score of 220 points. The receiver operating curve (ROC) showed that the area under the curve (AUC) of the nomogram model was 0.856 (95%CI: 0.810-0.912, $P < 0.001$), the sensitivity and specificity were 79.8% and 83.2%, respectively, indicating that the diagnostic areas of the model were better. The calibration curve and decision curve also showed that the model had a good fit and clinical net benefit ratio. **Conclusions** Female, recurrent kidney stones, stone area $\geq 601 \text{ mm}^2$, HU value $< 1\ 000$, positive PBUC, positive ULE, urine pH and positive urine turbidity could assist in assessing the risk of infectious kidney stones. A nomogram model that has good application potential to guide clinical practice was established.

【Key words】 Infectious kidney stones; Nomogram model; Preoperative bladder urine culture; Urinary leukocyte esterase

肾结石是泌尿外科较常见的一类疾病，结石直径较大、复杂性结石以及感染性结石往往需要进行手术治疗，微型经皮肾镜取石术（mini-percutaneous nephrolithotomy, mPCNL）、柔性输尿管镜（flexible ureteroscopy, FURS）以及体外冲击波碎石术（extracorporeal shock wave lithotripsy, ESWL）均为临床中较常见的术式，有较好的安全性和有效性^[1-2]。但感染性结石往往是导致手术失败的重要原因，需引起临床高度重视。感染性结石是一种特殊类型的尿路结石，其矿物成分多为鸟粪石（磷酸镁铵）和碳酸磷灰石，与尿路感染密切相关^[3]。尿路感染主要是由产尿素酶的细菌如变形杆菌、克雷伯假单胞菌和葡萄球菌引起^[4]。感染性结石是泌尿科医生最棘手的疾病之一，往往导致结石

的复杂性和再生的高风险性。感染性结石可在4~6周内迅速生长为大型鹿角形结石，甚至可充满整个肾内集合系统，若不及时治疗，可能会导致危及患者生命安全的严重并发症，如肾功能衰竭^[5-6]。因此，感染性结石的管理应从早期、正确识别开始。然而，结石成分的准确检测现在只能在体外进行。基于此，本研究旨在建立一款用于术前预测感染性肾结石的列线图模型并进行验证，报道如下。

资料与方法

一、对象资料

回顾性总结2020年2月至2023年2月江苏大学附属武进医院诊断肾结石患者共350例，纳入标

准:①年龄>18岁;②符合肾结石的影像学诊断;③感染性肾结石由术后结石成分病理诊断确诊;④患者临床资料完整。排除标准:①入院前已接受抗感染治疗;②合并其他部位感染灶,如肺炎;③泌尿生殖系统恶性肿瘤,既往手术史;④严重基础疾病如肝肾功能障碍。

所有样品采集及资料调查均取得患者及其家属知情同意并签字确认;研究经过江苏大学附属武进医院伦理委员会批准(批件号:2019-LP042)。

二、分组

根据7:3随机分为建模集患者245例和验证集患者105例。建模集中感染性肾结石患者91例和无感染性肾结石患者154例,验证集中感染性肾结石患者39例和无感染性肾结石患者66例。根据结石成分分析,感染性结石包括两种^[7]:①纯感染性结石,完全由磷酸铵镁或碳酸磷灰石组成;②主要是感染性结石,其中磷酸铵镁或碳酸磷灰石通过红外鉴定光谱作为结石的主要成分(>50%)。

三、收集资料

比较建模集中感染性肾结石组与无感染性肾结石组患者的临床资料,采用最小绝对值收敛和选择算子回归(Lasso)模型和多因素Logistic回归模型筛选感染性肾结石的危险因素并建立列线图模型。

临床资料主要包括①人口学信息:患者性别、年龄、体质指数(body mass index, BMI)、基础疾病(高血压和糖尿病),②结石特征:复发性肾结石、鹿角形结石、双侧结石、结石面积和Hounsfield单位(HU),③临床治疗:治疗方式(mPCNL、RIRS和ESWL)、留置输尿管支架和经皮肾造口术,④尿液分析:术前膀胱尿液培养(preoperative bladder urine culture, PBUC)、尿白细胞(white blood cell count, WBC)计数、红细胞(red blood cell count, RBC)计数,细菌量、尿蛋白、尿亚硝酸盐、尿白细胞酯酶(urine leukocyte esterase, ULE)、尿pH值、尿液浊度和尿比重;⑤血生化指标:血肌酐、尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、尿酸、甲状旁腺激素(parathyroid hormone, PTH)、血钙、血磷和血镁。

术前1周收集患者中段尿液标本,用于PBUC和会阴清洁后的尿液常规检查。分离细菌或真菌计数 $\geq 10^5$ cfu/ml判定为PBUC阳性。复发性肾结石为同侧肾结石2次以上。mPCNL在肾镜下通过激光碎石术将结石破碎,盐水灌注冲洗碎片;FURS将结

石破碎成较小的碎片,用一次性镍钛诺石篮去除较大的部分。术后定期收集所有结石碎片,随机选择不同大小、形状和颜色的结石进行红外光谱分析。结石面积^[8]计算公式为 $\sum (0.785 \times \text{宽度最大值} \times \text{长度最大值})$,结石的HU值重复测量3次并取平均值,复杂结石的不同位置重复测量取平均值。填充肾盂或者至少2个肾盏的结石认为是部分鹿角,占据整个收集系统的结石(>80%)为完全鹿角结石。

四、统计学处理

应用SPSS 20.0软件进行统计学分析,符合正态分布的计量资料(年龄、BMI、结石面积、HU值、尿WBC、尿RBC、尿细菌量、尿比重、血肌酐、血BUN、血尿酸、PTH、血钙、血磷和血镁)以 $\bar{x} \pm s$ 表示,比较采用独立样本 t 检验,计数资料(性别、高血压、糖尿病、结石特征、治疗方式、留置输尿管支架、经皮肾造口术、阳性PBUC、尿蛋白阳性、尿亚硝酸盐阳性、ULE阳性、尿液浊度阳性)以[例(%)]表示,比较采用Pearson χ^2 检验;采用最小绝对值收敛和选择算子回归(Lasso)模型筛选最具差异性的指标,以降低指标间的交互作用,筛选出具有独立特征的因素;多因素Logistic回归模型筛选感染性肾结石的危险因素,采用逐步后退法;R软件建立列线图模型,采用1 000次自我重复采样进行验证,以受试者工作曲线(receiver operating characteristic, ROC)计算曲线下面积(area under the curve, AUC),校正曲线和决策曲线评估模型吻合度和临床净获益比,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、245例建模集患者的临床资料

建模集中感染性肾结石组患者女性、复发性肾结石和鹿角形结石、结石面积显著多于无感染性肾结石组,但结石HU值显著降低;阳性PBUC、尿WBC和细菌量、尿蛋白阳性、尿亚硝酸盐阳性、阳性ULE、尿pH值、尿液浊度阳性较无感染性肾结石组显著增多,但尿比重显著下降;血尿酸较无感染性肾结石组降低,但血磷和血镁升高,差异均有统计学意义(P 均 < 0.05),见表1。

二、感染性肾结石危险因素的Lasso回归分析

Lasso回归分析筛选出8个最具差异性的指标,即女性、复发性肾结石、结石面积 $\geq 601 \text{ mm}^2$ 、

表1 245例建模集无感染性肾结石组和感染性肾结石组患者的临床资料

临床资料	无感染性肾结石组 (154例)	感染性肾结石组 (91例)	统计量	P值
人口学信息				
男/女 (例)	98/56	36/55	$\chi^2 = 13.380$	< 0.001
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	55.6 ± 6.7	56.8 ± 7.2	$t = 0.564$	0.423
BMI ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	23.2 ± 1.4	23.4 ± 1.5	$t = 0.236$	0.687
高血压 [例 (%)]	62 (40.3)	32 (35.2)	$\chi^2 = 0.628$	0.428
糖尿病 [例 (%)]	31 (20.1)	11 (12.1)	$\chi^2 = 2.604$	0.107
结石特征				
复发性肾结石 [例 (%)]	32 (20.8)	36 (39.6)	$\chi^2 = 10.062$	0.002
鹿角形结石 [例 (%)]	33 (21.4)	31 (34.1)	$\chi^2 = 4.734$	0.030
双侧结石 [例 (%)]	19 (12.3)	12 (13.2)	$\chi^2 = 0.037$	0.847
结石面积 ($\bar{x} \pm s$, mm ²)	658.9 ± 123.4	$1\ 023.5 \pm 325.6$	$t = 32.526$	< 0.001
HU值 ($\bar{x} \pm s$)	989.7 ± 253.2	754.5 ± 102.2	$t = 19.658$	< 0.001
治疗方式 [例 (%)]			$\chi^2 = 1.131$	0.568
mPCNL	62 (40.3)	35 (38.5)		
RIRS	53 (34.4)	37 (40.7)		
ESWL	39 (25.3)	19 (20.8)		
留置输尿管支架 [例 (%)]	17 (11.0)	13 (14.3)	$\chi^2 = 0.561$	0.454
经皮肾造口术 [例 (%)]	15 (9.7)	10 (11.0)	$\chi^2 = 0.097$	0.755
尿液分析				
阳性PBUC [例 (%)]	38 (24.7)	49 (53.8)	$\chi^2 = 21.254$	< 0.001
WBC ($\bar{x} \pm s$, $\times 10^9/L$)	326.5 ± 112.4	512.6 ± 102.4	$t = 10.235$	< 0.001
RBC ($\bar{x} \pm s$, $\times 10^9/L$)	135.6 ± 45.7	123.5 ± 42.3	$t = 0.869$	0.232
细菌量 ($\bar{x} \pm s$, 个/ml)	75.6 ± 12.3	125.4 ± 23.6	$t = 9.635$	< 0.001
蛋白阳性 [例 (%)]	36 (23.4)	40 (44.0)	$\chi^2 = 11.321$	0.001
亚硝酸盐阳性 [例 (%)]	31 (20.1)	35 (38.5)	$\chi^2 = 9.766$	0.002
ULE阳性 [例 (%)]	75 (48.7)	74 (81.3)	$\chi^2 = 25.537$	< 0.001
pH ($\bar{x} \pm s$)	6.1 ± 0.3	6.5 ± 0.4	$t = 5.003$	< 0.001
浊度阳性 [例 (%)]	32 (20.8)	33 (36.3)	$\chi^2 = 7.036$	0.008
比重 ($\bar{x} \pm s$)	1.010 ± 0.003	1.008 ± 0.003	$t = 3.968$	0.003
血生化 ($\bar{x} \pm s$)				
肌酐 ($\mu\text{mol/L}$)	116.9 ± 22.4	120.2 ± 23.6	$t = 0.654$	0.369
BUN (mmol/L)	6.2 ± 1.3	6.3 ± 1.2	$t = 0.352$	0.845
尿酸 ($\mu\text{mol/L}$)	388.9 ± 52.3	356.5 ± 45.9	$t = 4.124$	0.001
PTH (pg/ml)	52.6 ± 13.4	50.2 ± 12.3	$t = 0.458$	0.723
钙 (mmol/L)	2.28 ± 0.13	2.26 ± 0.12	$t = 0.069$	0.912
磷 (mmol/L)	1.14 ± 0.03	1.18 ± 0.03	$t = 3.996$	0.002
镁 (mmol/L)	0.83 ± 0.02	0.85 ± 0.03	$t = 3.325$	0.005

注: 卡方检验均为 Pearson 卡方检验

HU值 $< 1\ 000$ 、阳性PBUC、阳性ULE、尿pH和尿液浊度阳性, 见图1。

三、感染性肾结石危险因素的Logistic回归分析

多因素Logistic回归分析显示, 女性、复发性肾结石、结石面积 $\geq 601\text{ mm}^2$ 、HU值 $< 1\ 000$ 、阳性PBUC、阳性ULE、尿pH > 6.5 和尿液浊度阳性

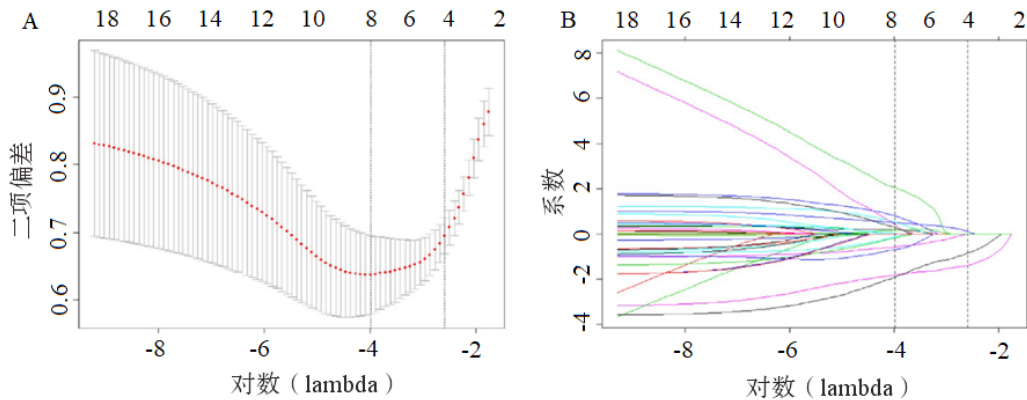
是感染性肾结石的危险因素 (P 均 < 0.001), 见表2。

四、预测感染性肾结石的列线图模型

应用R软件根据回归分析筛选的主要危险因素及对应权重值 (β), 建立列线图模型, 总分220分, 见图2。如1例女性肾结石患者, 对应性别

评分为32分；术前诊断为复发性肾结石，对应评分为71分；结石面积为745 mm²，对应评分为38分；HU值为925，对应评分为80分；阳性PBUC对应评分

为30分；阳性ULE对应评分为30分；尿pH为6.5，对应评分为10分；尿液浊度阳性对应评分为20分；各项相加得到总分为311分，显著高于0.999，提示



注：A：采用最小准则进行五倍交叉验证，绘制部分似然偏差（二项偏差）与对数（lambda）的关系曲线。采用最小准则和1-SE准则在最佳点绘制垂直虚线得到最佳参数（lambda）；B：根据对数（lambda）序列绘制系数剖面图，由五倍交叉验证所得最佳参数（lambda）处绘制垂直线，得出最佳参数应对应8个具有非零系数的特征

图1 感染性肾结石的危险因素Lasso回归分析

表2 感染性肾结石的危险因素 Logistic 回归分析

影响因素	β 值	Wald χ^2 值	OR值	95%CI	P值
女性	0.602	6.897	1.568	1.231~1.902	< 0.001
复发性肾结石	1.235	32.321	3.023	2.568~3.467	< 0.001
结石面积 ≥ 601 mm ²	0.963	15.587	2.123	1.756~2.569	< 0.001
HU值 < 1 000	1.528	52.634	3.856	3.456~4.325	< 0.001
阳性PBUC	0.898	13.325	1.895	1.623~2.325	< 0.001
阳性ULE	0.756	9.032	1.754	1.326~2.124	< 0.001
尿pH > 6.5	0.456	5.265	1.323	1.102~1.889	< 0.001
尿液浊度阳性	0.668	8.124	1.602	1.314~1.956	< 0.001

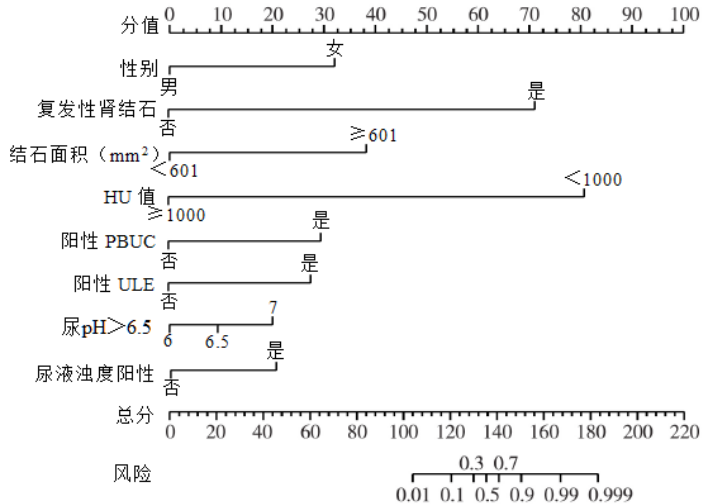


图2 预测感染性肾结石的列线图模型

感染性肾结石的概率极高。

五、列线图预测感染性肾结石的效能验证

ROC显示列线图模型预测验证集感染性肾结石的AUC为0.856 (95%CI: 0.810~0.912、 $P < 0.001$)，提示模型的诊断区分效能较好，见表3和

图3。

校正曲线显示模型预测感染性肾结石的概率与实际发生率之间有良好的吻合度，见图4。决策曲线也显示模型预测感染性肾结石有良好的临床净获益比，见图5。

表3 列线图预测建模集与验证集感染性肾结石的效能验证

组别	敏感度 (%)	特异度 (%)	阳性预测值 (%)	阴性预测值 (%)	AUC	95%CI	P值
建模集	85.2	90.3	84.3	95.2	0.899	0.831~0.945	< 0.001
验证集	79.8	83.2	79.8	86.5	0.856	0.810~0.912	< 0.001

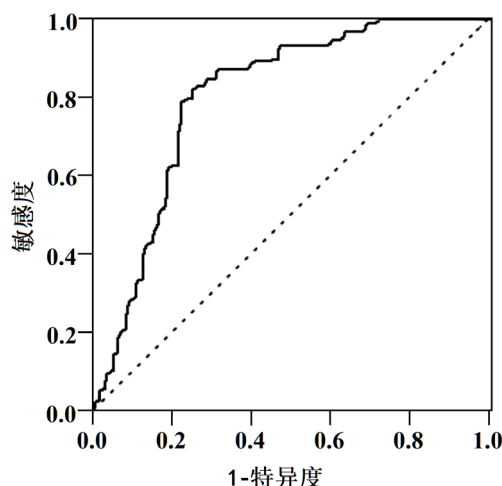
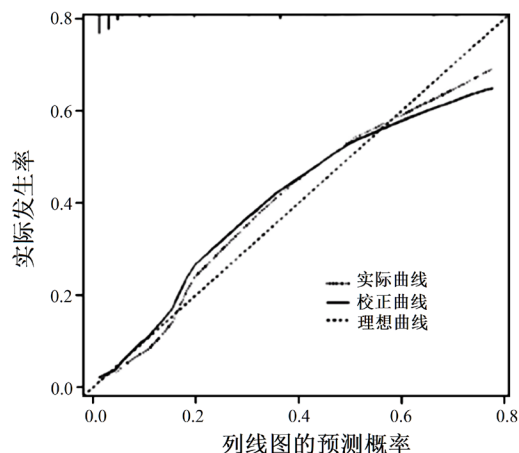
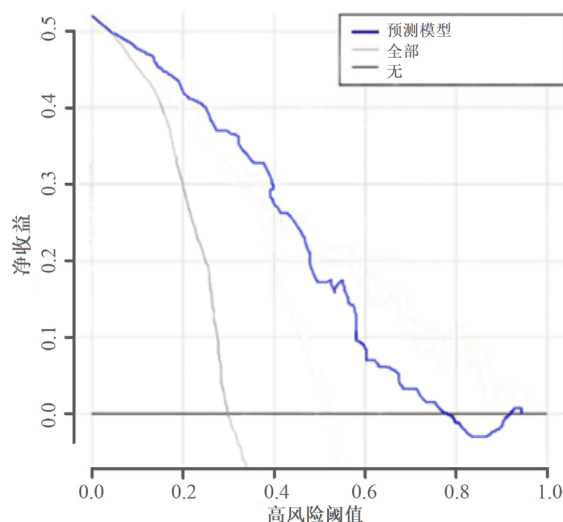


图3 列线图预测感染性肾结石的ROC曲线



注：实际状态表示临床上感染性肾结石的实际发生率，偏差校正为列线图预测感染性肾结石的发生概率，理想状态表示两者完全吻合

图4 列线图预测感染性肾结石的校准曲线



注：预测模型代表列线图预测感染性肾结石的高风险阈值和净获益比，提示在0.36~0.79阈值范围可获得满意的净获益比；全部表示所有患者均存在感染性肾结石，无代表所有患者均未发生感染性肾结石

图5 列线图预测感染性肾结石的决策曲线

讨 论

感染性结石的有效治疗应包括使用抗菌药物,尽可能彻底去除结石,然后进行药物治疗防止结石复发^[9]。感染性结石患者无论是否接受治疗,都有较高的感染并发症和死亡风险。感染性结石患者的平均血清内毒素浓度是非感染性结石的35倍^[10]。本研究显示,感染性肾结石发生率为37.1%[(91+39)/350]。约1/4鹿角形结石为感染性结石,可能出现阻塞症状,导致肾功能衰竭、尿脓毒症甚至死亡^[11]。感染性结石的治疗根据结石大小、位置和发展阶段决定,通常包括手术和药物治疗^[12]。手术是目前治疗感染性结石的一线方法,PCNL是治疗较大感染结石(>2 cm)的“金标准”。<2 cm的感染性结石可考虑使用FURS和ESWL。对于无法忍受手术取石或手术失败的患者,溶解疗法可视为二线治疗,如通过输尿管支架、经皮肾造瘘管对感染性结石进行化学溶解安全有效^[13-14]。手术前后使用抗菌药物对感染性结石进行辅助治疗,但现有临床指南未提到抗菌药物治疗的持续时间和给药方式^[15]。

本研究发现,感染性肾结石组女性、复发性肾结石和鹿角形结石、结石面积显著增加,而结石HU值显著降低;阳性PBUC、尿WBC和细菌量、尿蛋白阳性、尿亚硝酸盐阳性、阳性ULE、尿pH值增加、尿液浊度阳性显著增多,而尿比重显著下降;血尿酸降低,血磷和血镁升高。既往研究不仅证明了PBUC为术后感染并发症的独立风险预测指标,感染性结石患者PBUC阳性率显著高于非感染性结石患者^[16-17]。无论采用何种方法,早期正确检测感染性结石至关重要。目前,结石成分的准确鉴定只能在体外进行,如常用的红外光谱结石分析。仅CT的HU值往往不能准确预测鸟粪石成分^[18-19]。感染性结石的形成与产脲酶的细菌病原体有关,如变形杆菌、克雷伯假单胞菌和葡萄球菌,当产生尿素酶的生物感染尿路时,尿素在尿素酶作用下水解成氨和二氧化碳,提高尿液pH值并增加 NH_4^+ 、 CO_3^{2-} 和 PO_4^{3-} 的浓度,这些离子与 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 结合存在于尿液中形成磷酸铵镁和碳酸磷灰石^[20-22]。尿液浊度可以反映白细胞、蛋白质、晶体和微生物的数量。

感染性结石独特的形成过程使其在密度、大小、形状和复发率方面与其他类型肾结石不同^[23-24]。

本研究分别采用Lasso回归和多因素Logistic回归分析显示,女性、复发性肾结石、结石面积 $\geq 601 \text{ mm}^2$ 、HU值<1 000、阳性PBUC、阳性ULE、尿pH>6.5和尿液浊度阳性均为感染性肾结石的危险因素。感染性结石与其他结石类型(如尿酸、草酸钙和混合结石)间存在一定重叠,导致HU值在预测感染性结石方面的价值有限^[25]。女性感染性结石的风险约是男性的3倍,归因于女性尿路感染的频率更高。鹿角形结石不是感染性结石的预测因素,可能是因鹿角石可以混合结石形式出现,在草酸钙结石中含产生脲酶的细菌,并引发二次鸟粪石沉积^[26]。尿液酸化是抗菌药物治疗和脲酶抑制剂的重要补充,用于改变尿液pH值,避免发生感染性结石。

本研究开发了一款应用简便、可视化强的列线图模型,经ROC曲线、校准曲线和决策曲线多维验证其在指导临床实践早期、准确识别感染性肾结石高风险人群方面具有重要的应用潜力。当然,本研究也有一定局限性:首先,本研究基于单中心、病例回顾性分析,结果可能存在一定偏倚性;其次,本研究未进一步对单纯感染性结石和主要感染性结石进行亚组分析。最后,对于FURS患者,可能无法获得肾结石成分,导致感染性结石比例更高,平均结石负荷更高。因此,需要大型、前瞻性和多中心研究来证实本研究所建立的列线图模型。

综上,女性、复发性肾结石、结石面积 $\geq 601 \text{ mm}^2$ 、HU值<1 000、阳性PBUC、阳性ULE、尿pH>6.5和尿液浊度阳性可辅助评估感染性肾结石的发生风险,本研究建立的此款列线图模型可指导临床实践有较好的应用潜力。

参 考 文 献

- [1] 何祥彪,刘杨洋,牡丹,等.部分无管化与标准经皮肾镜取石术治疗上尿路结石的有效性及安全性研究[J].现代泌尿外科杂志,2023,4(4):1-4.
- [2] Geavlete B, Mareş C, Muţescu R, et al. Hybrid flexible ureteroscopy strategy in the management of renal stones-a narrative review[J]. J Med Life, 2022, 15(8):919-926.
- [3] Espinosa-Ortiz EJ, Eisner BH, Lange D, et al. Current insights into the mechanisms and management of infection stones[J]. Nat Rev Urol, 2019, 16(1):35-53.
- [4] Song F, Liu C, Zhang J, et al. Antibacterial effect of fosfomycin tromethamine on the bacteria inside urinary infection stones[J]. Int Urol Nephrol, 2020, 52(4):645-654.
- [5] Gao X, Lu C, Xie F, et al. Risk factors for sepsis in patients with struvite stones following percutaneous nephrolithotomy[J]. World J Urol, 2020, 38(1):219-229.

- [6] Yang Z, Lin D, Hong Y, et al. The effect of preoperative urine culture and bacterial species on infection after percutaneous nephrolithotomy for patients with upper urinary tract stones[J]. *Sci Rep*,2022,12(1): 4833-4835.
- [7] Chen D, Jiang C, Liang X, et al. Early and rapid prediction of postoperative infections following percutaneous nephrolithotomy in patients with complex kidney stones[J]. *BJU international*, 2019,123(6):1041-1047.
- [8] Chugh S, Pietropaolo A, Montanari E, et al. Predictors of Urinary infections and urosepsis after ureteroscopy for stone disease: a systematic review from EAU Section of Urolithiasis (EULIS)[J]. *Curr Urol Rep*,2020,21(4):16-18.
- [9] Zhang D, Li S, Zhang Z, et al. Urinary stone composition analysis and clinical characterization of 1520 patients in central China[J]. *Sci Rep*,2021,11(1):6467.
- [10] 苏晓伟, 王大明, 丁德茂, 等. 感染性结石的相关临床易感因素研究[J]. *临床泌尿外科杂志*,2021,36(4):284-287.
- [11] Yuan F, Huang Z, Yang T, et al. Pathogenesis of proteus mirabilis in catheter-associated urinary tract infections[J]. *Urol Int*,2021,105(5-6):354-361.
- [12] 刘笑宇, 刁呈文, 付青松, 等. 输尿管镜钬激光碎石术在口服抗血栓药物合并上尿路结石患者中的应用[J]. *临床泌尿外科杂志*,2022,37(6):431-435.
- [13] Haas CR, Li G, Hyams ES, et al. Delayed decompression of obstructing stones with urinary tract infection is associated with increased odds of death[J]. *J Urol*,2020,204(6):1256-1262.
- [14] 熊波波, 张劲松, 李宁, 等. 硬镜和输尿管镜钬激光在输尿管上段感染性结石疗效对比[J]. *临床泌尿外科杂志*,2020,35(7):566-570.
- [15] Peng C, Chen Z, Xu J. Risk factors for urinary infection after retrograde upper urinary lithotripsy: Implication for nursing[J]. *Medicine (Baltimore)*,2021,100(31):e26172.
- [16] Bauza JL, Pieras EC, Grases F, et al. Urinary tract infection's etiopathogenic role in nephrolithiasis formation[J]. *Med Hypotheses*, 2018,118(9):34-35.
- [17] 李海桃, 郭晶平, 薛鹏, 等. 膀胱肿瘤切除术后尿路感染病原学和危险因素[J]. *中华医院感染学杂志*,2020,30(7):1091-1095.
- [18] Gadalla AAH, Friberg IM, Kift-Morgan A, et al. Identification of clinical and urine biomarkers for uncomplicated urinary tract infection using machine learning algorithms[J]. *Sci Rep*,2019,9(1):19694.
- [19] 王碧霄, 姬超岳, 宋海峰, 等. 鸟粪石的临床特点和内镜术后肾功能转归的影响因素分析[J]. *微创泌尿外科杂志*,2022,11(3):171-177.
- [20] Shen C, Zhu Q, Dong F, et al. Identifying two novel clusters in calcium oxalate stones with urinary tract infection using 16S rDNA sequencing[J]. *Front Cell Infect Microbiol*,2021,11(11):723781.
- [21] 肖楠, 周佳, 段宁, 等. 尿干化学和尿流式检测结果快速预测肾结石患者尿路细菌感染模型的建立与评价[J]. *检验医学*,2021,36(1):75-79.
- [22] 乔鹏飞, 易虎, 田振涛, 等. 感染性肾结石患者尿代谢及细菌培养结果分析[J]. *中国临床新医学*,2022,15(10):981-985.
- [23] Espinosa-Ortiz EJ, Eisner BH, Lange D, et al. Current insights into the mechanisms and management of infection stones[J]. *Nat Rev Urol*,2019,16(1):35-53.
- [24] 熊庄, 程帆. 微通道经皮肾镜取石术用于不同类型肾结石的临床应用进展[J]. *中国医药导报*,2022,42(4):57-61.
- [25] Zawaideh JP, Simonato A, Barbero S, et al. Gas-containing renal stones: a red flag for renal infection[J]. *Acta Radiol*,2022,63(11): 1563-1569.
- [26] 康永明, 奉友刚, 何俊, 等. 经皮肾镜碎石取石术后发热原因及治疗分析[J/CD]. *中华实验和临床感染病杂志(电子版)*,2014,8(2):50-52.

(收稿日期: 2023-05-05)

(本文编辑: 孙荣华)

郑鹏, 吴赛萍, 谢秀璋, 等. 术前预测感染性肾结石列线图模型的构建及验证 [J/CD]. *中华实验和临床感染病杂志(电子版)*, 2023,17(5):299-306.