

# 泌尿系结石围手术期感染防控的争议与进展<sup>△</sup>

陈倩<sup>1,2\*</sup>, 吴玉娇<sup>3</sup>, 丁楠<sup>3#1</sup>, 王卓<sup>1,3#2</sup> (1. 南京医科大学药学院, 南京 211166; 2. 昆山市第五人民医院药剂科, 江苏昆山 215300; 3. 海军军医大学第一附属医院/上海长海医院药学部, 上海 200433)

中图分类号 R978.1 文献标志码 A 文章编号 1672-2124(2026)02-0243-04

DOI 10.14009/j.issn.1672-2124.2026.02.023



**摘要** 全球泌尿系结石的发病人数持续增加。手术作为主要治疗手段,虽可有效清除结石,但术后感染是常见且严重的并发症。尽管预防性使用抗菌药物是降低感染风险的关键措施,但其临床应用仍存在争议,尤其在当前抗菌药物耐药形势严峻的背景下。该文综述了泌尿系结石围手术期感染防控的研究进展,重点讨论抗菌药物预防策略存在的争议,并分析病原菌分布和耐药性、感染风险因素与预测模型,同时探讨人工智能在感染防控中的应用前景,以期为临床实践提供依据。

**关键词** 泌尿系结石; 围手术期; 感染; 病原菌; 耐药性

## Perioperative Infection Prevention and Control for Urolithiasis: Controversies and Progress<sup>△</sup>

CHEN Qian<sup>1,2</sup>, WU Yujiao<sup>3</sup>, DING Nan<sup>3</sup>, WANG Zhuo<sup>1,3</sup> (1. School of Pharmacy, Nanjing Medical University, Nanjing 211166, China; 2. Dept. of Pharmacy, the Fifth People's Hospital of Kunshan, Jiangsu Kunshan 215300, China; 3. Dept. of Pharmacy, the First Affiliated Hospital of Navy Medical University/Shanghai Changhai Hospital, Shanghai 200433, China)

**ABSTRACT** The total cases of urolithiasis continues to rise globally. Surgery remains the main treatment for stone removal; however, postoperative infection is a common and severe complication. Prophylactic antimicrobial therapy can reduce infection risk, but its use remains controversial in the background of severe antimicrobial resistance. This review summarizes recent progress in perioperative infection prevention and control for urolithiasis, including drug prophylaxis contradictions, pathogen distribution, antimicrobial resistance, infection risk factors, predictive models, and the emerging role of artificial intelligence, aiming to provide guidance for clinical practice.

**KEYWORDS** Urolithiasis; Perioperative period; Infection; Pathogen; Drug resistance

泌尿系结石是全球常见的泌尿系统疾病,其形成受到地域、气候、饮食和遗传等多种因素的影响<sup>[1]</sup>。我国尿路结石的患病率为 11.4%<sup>[2]</sup>,而美国肾结石的总体患病率为 9.576%<sup>[3]</sup>。1990—2021 年,尽管全球尿路结石的年龄标准化发病率(ASIR)有所降低,且我国的 ASIR 低于全球平均水平,但发病人数仍呈增长趋势<sup>[4,5]</sup>。人口老龄化与人口增长是导致这一负担加重的主要因素<sup>[3]</sup>。尿路结石的患病率总体上男性高于女性,然而,女性患病风险随年龄增长持续升高,男性则在约 53 岁后逐渐降低,使得性别差距有所缩小<sup>[2,6]</sup>;但男性患者数量仍约为女性的 1.5 倍<sup>[7]</sup>。近年来,遗传学研究拓展了对结石发病机制的认识,约 30% 的儿童患者和 10% 的成人患者可能存在可识别的单基因病因<sup>[8]</sup>,目前已知与肾结石相关的单基因病因已达 64 种<sup>[9]</sup>。此外,尿路结石患者表现出明

显的共病特征,女性更常见泌尿系统疾病(如尿路感染、肾萎缩和尿路畸形)、全身性疾病(如结缔组织疾病和贫血)以及内分泌疾病(如糖尿病和甲状腺功能障碍);而男性更易合并代谢性疾病(如高尿酸血症和痛风)、心血管疾病<sup>[7]</sup>。尿路结石不仅严重影响患者的生活质量,也给社会带来了沉重的经济负担。

手术是治疗尿路结石的主要手段,包括输尿管镜碎石术(URL)、体外冲击波碎石术(ESWL)和经皮肾镜取石术(PCNL)等<sup>[10]</sup>。然而,手术治疗可能会导致出血、感染、输尿管损伤和输尿管狭窄等并发症<sup>[11]</sup>;其中,术后感染尤为常见且危险,约 5% 的患者可能进展为尿源性脓毒症<sup>[11,12]</sup>。全球因尿路结石导致的死亡人数呈增长趋势,其中印度的死亡人数居全球首位,其次为我国<sup>[3,4]</sup>。预防性使用抗菌药物是降低术后感染的重要策略,然而实际应用存在诸多争议。此外,病原菌分布与耐药性变迁进一步增加了感染防控难度。在此背景下,探索感染的危险因素和构建预测模型,并借助人工智能等新兴技术优化防控措施,成为当前研究的重点。本文对近年来泌尿系结石围手术期感染防控的研究进行探讨,以期为临床提供参考。

### 1 药物预防泌尿系结石围手术期感染

#### 1.1 抗菌药物的应用

使用抗菌药物是预防泌尿系结石术后感染的重要措施,

△ 基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(No. 82300017);全军临床重点专科(军队临床培育专科)——临床药学;昆山市市级科技专项(No. KS2545)

\* 主管药师,硕士研究生。研究方向:临床药学。E-mail: 470841553@qq.com

# 通信作者 1:副主任药师,博士。研究方向:临床药学。E-mail: 609123572@qq.com

# 通信作者 2:主任药师,博士生导师。研究方向:临床药学。E-mail: wangzhuo088@163.com

但其应用策略仍存在诸多争议。(1)对于术前尿培养阳性的患者,根据术前中段尿培养结果使用抗菌药物可降低术后感染风险<sup>[13]</sup>。因此,国内外指南均建议术前4 d至2周使用抗菌药物,但对于是否需待尿培养转阴性后手术尚未达成共识<sup>[1,11,14-15]</sup>。这反映了平衡感染控制与手术时机是临床决策的难点。一项单中心前瞻性观察队列研究表明,PCNL术前尿培养阳性患者经敏感抗菌药物治疗5~7 d后,无论复查尿培养结果是否转阴,其术后全身炎症反应综合征(SIRS)、脓毒症的发生率均无显著差异;因此,研究者认为在PCNL术前获得阴性尿培养并不是必要条件,尿培养阳性患者在接受敏感抗菌药物治疗≥5 d后,即使尿培养未转阴,亦可安全实施手术<sup>[16]</sup>。未来需要多中心研究以验证该研究结论。(2)对于术前尿培养阴性、尿常规白细胞和(或)亚硝酸盐阳性的无临床症状患者,国内外指南推荐尚不一致。国内指南建议,根据当地细菌谱和细菌耐药情况使用抗菌药物3~7 d<sup>[11,14]</sup>;而欧洲泌尿外科协会尿石症分会和国际尿石症联盟则对是否需要预防用药未达成共识<sup>[15]</sup>。HE等<sup>[17]</sup>开展的回顾性研究支持对PCNL术前尿培养阴性患者,依据尿常规结果进行分层管理。该研究比较了术前不同疗程头孢类辛预防术后感染的效果,结果显示,对于尿液亚硝酸盐与白细胞均呈阳性的患者,术前连续使用3 d抗菌药物相比单次给药,能够显著降低SIRS、发热及尿源性脓毒症的发生率,并缩短住院时间;而对于亚硝酸盐阴性、白细胞阳性的患者,两种给药方案在感染性并发症方面未见显著差异。因此,该研究建议基于尿常规结果制定个体化的术前抗菌药物策略,以优化其临床应用,但这一结论尚需多中心随机对照试验的进一步验证。

## 1.2 中成药的应用

目前,关于中成药预防泌尿系结石围手术期感染的研究较少,其临床定位与应用价值尚不明确。一项多中心随机对照研究表明,银花泌炎灵片能够降低URL术后留置输尿管支架患者的支架相关细菌生物膜的形成率,并减少症状性尿路感染的发生,提示该中成药可能具有辅助预防感染的潜力,但仍需更多高质量研究验证其疗效与安全性<sup>[18]</sup>。

## 2 泌尿系结石患者的病原菌分布和耐药性

### 2.1 尿培养的病原菌分布和耐药性

术前尿培养阳性是术后感染的独立危险因素<sup>[12]</sup>。该类患者术后感染发生率为20.57%,其中62.07%进展为脓毒症,风险显著高于术前尿培养阴性的患者<sup>[12]</sup>。明确术前尿培养病原菌分布对预防感染至关重要。Mei等<sup>[19]</sup>的Meta分析发现,2002—2022年我国尿路结石患者术前中段尿培养的病原菌以革兰阴性菌(69%)为主,其中大肠埃希菌(43%)最常见,其次为肺炎克雷伯菌(8%)、奇异变形杆菌(6%)和铜绿假单胞菌(5%)等;革兰阳性菌包括粪肠球菌(9%)、屎肠球菌(5%)和金黄色葡萄球菌(4%);近年来,大肠埃希菌、奇异变形杆菌、粪肠球菌和金黄色葡萄球菌的比例降低,而肺炎克雷伯菌和铜绿假单胞菌的比例升高。耐药性方面,大肠埃希菌对复方磺胺甲噁唑和庆大霉素的耐药率降低,但对哌拉西林和头孢噻肟的耐药率升高<sup>[19]</sup>,对氨苄西林和头孢唑肟高度耐药<sup>[20]</sup>;粪肠球菌对氨苄西林和庆大霉素的耐药率持续升高,但对左氧氟沙星的耐药率显著降低<sup>[19]</sup>。

不同病原菌感染的临床特征有所差异。大肠埃希菌感染

多见于女性,常表现为高热、尿常规亚硝酸盐阳性和降钙素原(PCT)水平升高(常>100 ng/mL,平均值为80.62 ng/mL)<sup>[12,21]</sup>。屎肠球菌和肺炎克雷伯菌感染多见于老年患者,且易进展为脓毒症<sup>[12,21]</sup>,其中屎肠球菌感染患者常表现为高热且PCT>20 ng/mL<sup>[12]</sup>;肺炎克雷伯菌感染患者以中度发热和PCT<10 ng/mL为特征<sup>[12]</sup>。

### 2.2 结石培养的病原菌分布和耐药性

近年来,结石培养的相关研究逐渐成为关注热点。研究表明,结石内菌群分布呈现地域特性。一项针对我国广州地区的研究发现,大肠埃希菌在尿液与结石中均为最常见致病菌,且延长尿培养阳性患者术前抗菌药物治疗会显著增加结石内大肠埃希菌的耐药性<sup>[22]</sup>。而一项针对埃及PCNL患者的研究结果显示,结石样本中以金黄色葡萄球菌为主(42.8%),中段尿样本中以大肠埃希菌为主(56.6%);进一步分析表明,结石中的金黄色葡萄球菌毒力基因与抗菌药物耐药性显著相关<sup>[23]</sup>。这些结果凸显了依据本地流行病学数据制定围手术期抗菌策略的重要性。

### 2.3 结石培养预测术后感染的价值

研究表明,与术前中段尿或肾盂尿培养相比,结石培养的阳性率显著升高<sup>[22,24]</sup>,且在预测术后脓毒症方面表现出更高的敏感性(0.52 vs. 0.32)和阳性预测值(0.28 vs. 0.21)<sup>[25]</sup>。此外,一项涵盖9个中心293例输尿管软镜碎石术(FURL)患者的前瞻性研究表明,结石培养阳性患者的术后感染发生率显著高于阴性患者(15.6% vs. 0.4%),且术前中段尿培养与结石培养之间的相关性较差,因此建议尽可能开展结石培养,以更准确地评估术后感染风险并指导抗菌治疗<sup>[26]</sup>。

## 3 泌尿系结石术后感染的风险因素及预测模型

### 3.1 术后感染的风险因素

根据国内指南,术后发生尿脓毒症的高危因素主要包括:(1)全身因素,如高龄、糖尿病、免疫功能抑制状态(如移植术后、化疗或激素治疗)以及术前近期有结石相关发热病史;(2)尿路解剖异常,如先天性尿路畸形、尿路梗阻和神经源性膀胱;(3)结石相关因素,如感染性结石和结石负荷大(如鹿角形结石或直径≥2 cm);(4)尿液检查提示,术前尿培养阳性、尿常规亚硝酸盐和(或)白细胞阳性;(5)影像学检查提示,中重度肾积水或不排除肾积脓;(6)其他因素,如肾功能不全、术前长期(>2周)留置输尿管内支架或肾造瘘管<sup>[11,14]</sup>。然而,年龄对术后感染的影响尚存争议,有Meta分析显示其与结局无显著相关性<sup>[27]</sup>。国外研究指出,缺血性心脏病、手术时间延长以及多通道PCNL与术后尿脓毒症风险增加有关<sup>[27-28]</sup>。近期国内研究还识别出新的风险因素。对于FURL,残留结石、中性粒细胞-淋巴细胞比值、C反应蛋白及肝素结合蛋白水平被证实为术后尿脓毒症的独立危险因素<sup>[21,29]</sup>;对于PCNL,发生脓毒症的患者血清核转录因子红系2相关因子2(Nrf2)水平显著降低,血清Nrf2水平联合预后营养指数对术后脓毒症具有预测价值<sup>[30]</sup>。

### 3.2 预测术后感染的列线图模型

由于患者风险因素存在异质性和多重性,术后感染预测已从单一因素评估转向多变量整合模型,以量化个体发生感染的概率。目前的研究普遍采用先筛选独立危险因素、再构建列线图模型的两阶段策略,该方法的有效性已获多项研究

证实。例如,基于5个独立危险因素构建的列线图模型,可有效预测 PCNL、ESWL 和上尿路结石患者腔内泌尿外科手术后脓毒症,表现出良好的鉴别力和临床效用<sup>[20,31-32]</sup>。Qi 等<sup>[33]</sup>针对逆行肾内手术前尿培养阴性患者,基于3项因素构建了术后发热的列线图模型,显示出良好的鉴别力(受试者工作特征曲线下面积为0.807,95%CI=0.739~0.876)和临床实用性。Shen 等<sup>[34]</sup>创新性地开发了基于5个变量的术前感染性结石预测模型,在训练集和验证集中均表现出良好性能,决策曲线分析提示阈值为0.01~0.85时净获益最大,有助于优化治疗决策。

### 3.3 预测术后感染的机器学习模型

人工智能作为一项革命性技术,与医疗大数据相结合,为医疗领域带来了快速、精准的预测能力,有助于及时干预并改善患者的治疗效果<sup>[35-36]</sup>。机器学习(ML)作为人工智能的重要分支,能够从多种类型数据中学习复杂模式,通过训练与验证多个模型,筛选出性能最优者,从而提升患者管理水平<sup>[35-37]</sup>。与经典统计方法(Cox 回归)相比,ML在预测术后感染性并发症方面表现出更高的可靠性<sup>[38]</sup>。在不同术式中,多种 ML 算法显示出优异性能:(1)在预测逆行肾内手术后脓毒症方面,随机森林模型优于决策树和梯度提升<sup>[39]</sup>;(2)在预测肾结石腔内手术后全身炎症反应综合征方面,极端梯度提升(XGBoost)的预测性能最佳<sup>[40]</sup>;(3)在预测 PCNL 术后脓毒症方面,Shen 等<sup>[41]</sup>基于22个参数构建的 ML 模型取得了优异效果;(4)在预测 URL 术后脓毒症方面,Pietropaolo 等<sup>[42]</sup>基于多中心数据开发的随机森林模型的预测准确度为81.3%(95%CI=63.7~92.8%);(5)在预测 FURL 术后感染性并发症方面,XGBoost 对术后真菌感染风险的预测性能最佳<sup>[43]</sup>,而反向传播神经网络模型在预测尿路脓毒症方面较 Logistic 回归模型准确性更高<sup>[29]</sup>。进一步的大规模研究显示了 ML 模型的适用性,Nedbal 等<sup>[44]</sup>基于国际 FLEXOR 数据库(包含6669例 FURL 患者)对15种 ML 算法进行评估,发现 Extra Tree Classifier 预测术后发热的准确率达91.34%,Cat Boost Classifier 预测脓毒症的准确率达99.15%。Chang 等<sup>[7]</sup>基于我国南方采集的33579个尿路结石样本数据,创新性地纳入季节因素(月份、季节)和共病特征(33个二元指标,包括尿路感染、肝功能不全、高血压、糖尿病、心血管疾病等),构建了3种 ML 模型预测术后脓毒症,最终的优化模型展现出优异的预测性能。此外,ML在感染性结石的术前诊断领域也展现出潜力,Wu 等<sup>[45]</sup>利用14个术前变量构建了5种 ML 模型(支持向量机、多层感知器、决策树、随机森林和自适应提升),所有模型在验证集中均显示出较强鉴别力,为优化围手术期管理提供了新方向。

## 4 小结与展望

泌尿系结石术后感染防控的核心在于有效预防尿脓毒症的发生。目前,围手术期药物预防策略仍存在诸多分歧,加之不同病原菌的感染特征存在差异及其耐药性持续演变,进一步增加了防控工作的复杂性。人工智能驱动的预测模型显著提升了风险评估的预见能力,为精准防控提供了新方向。未来研究应致力于:制定个体化药物预防策略;推动现有预测模型在多中心验证其普适性;探索快速病原诊断等新技术,以优化感染防控效率。通过跨学科合作和数据驱动,有望构建个体化、前移化的感染防控新范式,从而降低术后感染负担。

## 参考文献

- [1] EAU. Urolithiasis [EB/OL]. [2025-06-02]. <https://uroweb.org/guidelines/urolithiasis>.
- [2] XU J Z, LI C, XIA Q D, et al. Sex disparities and the risk of urolithiasis: a large cross-sectional study[J]. *Ann Med*, 2022, 54(1): 1627-1635.
- [3] YUE G Y Z, LIU R F, LIN F Y, et al. Association between frailty with kidney stones disease among adults aged 20 years and older population: a cross-sectional study of NHANES 2007-2020 [J]. *Eur J Med Res*, 2025, 30(1): 412.
- [4] ZHENG J J, ZHANG Q H, ZHANG J, et al. Trends and sex disparities in the burden of urolithiasis in 204 countries and territories, 1990-2021[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2025, 138(16): 1973-1983.
- [5] WU J. Temporal trends and projections of urolithiasis in China and globally from 1990 to 2030: insights from the global burden of disease study 2021[J]. *Urolithiasis*, 2025, 53(1): 118.
- [6] CHEN K W, MESKAWI M, MILLER L E, et al. Trends in kidney stone prevalence among U. S. adults A concerning contemporary gender analysis from the NHANES database[J]. *Can Urol Assoc J*, 2025, 19(2): 58-60.
- [7] CHANG Z L, HAN X J, ZHAO H, et al. Clinical management implications from 33 579 urinary stones: novel patterns in composition, comorbidities, seasonal variation, and machine learning-based urosepsis prediction [J]. *Int J Surg*, 2025, 111(11): 7533-7548.
- [8] SINGH P, HARRIS P C, SAS D J, et al. The genetics of kidney stone disease and nephrocalcinosis[J]. *Nat Rev Nephrol*, 2022, 18(4): 224-240.
- [9] WU C H W, HUANG Y R M, ZIADEH H, et al. Genetic insights into nephrolithiasis and renal cancer predisposition: precision medicine in genes, diagnosis, and therapy [J]. *Semin Nephrol*, 2025, 45(4): 151655.
- [10] GERAGHTY R M, DAVIS N F, TZELVES L, et al. Best practice in interventional management of urolithiasis: an update from the European Association of Urology Guidelines Panel for Urolithiasis 2022[J]. *Eur Urol Focus*, 2023, 9(1): 199-208.
- [11] 黄健, 张旭. 中国泌尿外科和男科疾病诊断治疗指南[M]. 北京: 科学出版社, 2022:397-416.
- [12] YANG Z S, 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.
- [13] GAVI F, RAGONESE M, FETTUCCIARI D, et al. Antibiotic prophylaxis in stone surgery: a systematic review of the literature [J]. *World J Urol*, 2025, 43(1): 144.
- [14] 上尿路结石围手术期感染控制及抗菌药物应用专家意见编写组. 上尿路结石患者围手术期感染控制及抗菌药物应用专家意见(2023版)[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2023, 44(7):481-485.
- [15] ZENG G H, ZHAO Z J, MAZZON G, et al. European association of urology section of urolithiasis and international alliance of urolithiasis joint consensus on retrograde intrarenal surgery for the management of renal stones[J]. *Eur Urol Focus*, 2022, 8(5): 1461-1468.
- [16] ZHENG J H, GUO Q X, YUE G Y Z, et al. Is it necessary for patients with a positive urine culture to achieve a negative result after antimicrobial treatment before undergoing percutaneous nephrolithotomy? [J]. *World J Urol*, 2025, 43(1): 131.
- [17] HE C, CHEN H Q, LI Y, et al. Antibiotic administration for

- negative midstream urine culture patients before percutaneous nephrolithotomy[J]. *Urolithiasis*, 2021, 49(6): 505-512.
- [18] DU Z, QIAO L D, YANG W M, et al. A multicenter, double-blind, placebo-controlled parallel study to evaluate the role of Yinhuo Miyanling tablets in the prevention of bacterial biofilm formation on ureteral stents; a randomised trial[J]. *Ann Palliat Med*, 2022, 11(5): 1752-1761.
- [19] MEI X, ZHANG S K, XU P, et al. Distribution and antimicrobial resistance patterns of urinary pathogens in preoperative midstream urine cultures from Chinese patients with urinary calculi: a meta-analysis[J]. *BMC Urol*, 2024, 24(1): 46.
- [20] WANG Y Z, GAO M, LIU M H, et al. Analysis of bacterial spectrum and construction of a predictive model for postoperative sepsis in patients with upper urinary calculi and positive urinary cultures[J]. *Expert Rev Anti Infect Ther*, 2025, 23(5): 315-322.
- [21] WANG L B, YU X Z, QIU Z Z, et al. Influence of preoperative urine culture and bacterial species on urogenital sepsis after ureteral flexible lithotripsy in patients with upper urinary tract stones[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2024, 11: 1393734.
- [22] LEI M, JIANG Z, XU P, et al. Characteristics of bacteria in urine and stones from patients treated with percutaneous nephrolithotomy and association with postoperative infection[J]. *Infect Drug Resist*, 2024, 17: 2873-2882.
- [23] AHMED A E, ABOL-ENEIN H, AWADALLA A, et al. Investigation of virulence genes of the predominant bacteria associated with renal stones and their correlation with postoperative septic complications[J]. *Infect Drug Resist*, 2022, 15: 3643-3655.
- [24] LI Y J, XIE L G, LIU C Y. Prediction of systemic inflammatory response syndrome and urosepsis after percutaneous nephrolithotomy by urine culture, stone culture, and renal pelvis urine culture: systematic review and meta-analysis[J]. *Heliyon*, 2024, 10(13): e33155.
- [25] RIPA F, CERRATO C, TANDO ĞDU Z, et al. Clinical significance of stone culture during endourological procedures in predicting post-operative urinary sepsis: should it be a standard of care-evidence from a systematic review and meta-analysis from EAU section of Urolithiasis (EULIS)[J]. *World J Urol*, 2024, 42(1): 614.
- [26] CASTELLANI D, BROCCA C, DE STEFANO V, et al. The significance of stone culture in the incidence of sepsis: results from a prospective, multicenter study on infections post flexible UreteroreNescopy (I-FUN) and laser lithotripsy for renal stones [J]. *J Endourol*, 2024, 38(9): 948-955.
- [27] PUJA D, GHEORGHINCĂ Ş, RADAVOI G D, et al. Can we identify the risk factors for SIRS/sepsis after percutaneous nephrolithotomy? A meta-analysis and literature review[J]. *Exp Ther Med*, 2023, 25(3): 110.
- [28] BHOJANI N, MILLER L E, BHATTACHARYYA S, et al. Risk factors for urosepsis after ureteroscopy for stone disease: a systematic review with meta-analysis[J]. *J Endourol*, 2021, 35(7): 991-1000.
- [29] 陈文炜, 何彦丰, 卢凯鑫, 等. 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[J]. *浙江大学学报(医学版)*, 2025, 54(1): 99-107, 中插 30-中插 32.
- [30] QI S W, HUANG S Y, QIAN R. Predictive value of combined serum nuclear factor erythroid 2-related factor 2 and prognostic nutritional index for sepsis after percutaneous nephrolithotomy[J]. *J Endourol*, 2025, 39(3): 222-230.
- [31] WANG L B, LI D B, HE W, et al. Development and validation of a predictive model for post-percutaneous nephrolithotomy urinary sepsis: a multicenter retrospective study [J]. *Minerva Urol Nephrol*, 2024, 76(3): 357-366.
- [32] NA L, LI J, PAN C Y, et al. Development and validation of a predictive model for major complications after extracorporeal shockwave lithotripsy in patients with ureteral stones; based on a large prospective cohort[J]. *Urolithiasis*, 2023, 51(1): 42.
- [33] QI Q, HU Y T, CHEN Y, et al. Nomogram for predicting risk factors of fever in patients with negative preoperative urine culture after retrograde intrarenal surgery [J]. *World J Urol*, 2023, 41(3): 783-789.
- [34] SHEN J H, XIAO Z L, WANG X T, et al. A nomogram clinical prediction model for predicting urinary infection stones: development and validation in a retrospective study[J]. *World J Urol*, 2024, 42(1): 211.
- [35] COZZOLINO C, MAO S, BASSAN F, et al. Are AI-based surveillance systems for healthcare-associated infections ready for clinical practice? A systematic review and meta-analysis[J]. *Artif Intell Med*, 2025, 165: 103137.
- [36] AL-NAFJAN A, ALJUHANI A, ALSHEBEL A, et al. Artificial intelligence in predictive healthcare: a systematic review [J]. *J Clin Med*, 2025, 14(19): 6752.
- [37] SHEN L, AN J L, WANG N D, et al. Artificial intelligence and machine learning applications in urinary tract infections identification and prediction: a systematic review and meta-analysis [J]. *World J Urol*, 2024, 42(1): 464.
- [38] EKŞI M, FAKIR A E, EVREN İ, et al. Prediction of infective complications after retrograde intra renal surgery using machine learning[J]. *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 2023, 32(2): 73-80.
- [39] CASTELLANI D, DE STEFANO V, BROCCA C, et al. Correction: the infection post flexible UreteroreNescopy (I-FUN) predictive model based on machine learning: a new clinical tool to assess the risk of sepsis post retrograde intrarenal surgery for kidney stone disease[J]. *World J Urol*, 2024, 42(1): 652.
- [40] LI J X, DU Y, HUANG G M, et al. Constructing a machine learning model for systemic infection after kidney stone surgery based on CT values[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 4327.
- [41] SHEN R, MING S X, QIAN W, et al. A novel post-percutaneous nephrolithotomy sepsis prediction model using machine learning [J]. *BMC Urol*, 2024, 24(1): 27.
- [42] PIETROPAOLO A, GERAGHTY R M, VEERATTERAPILLAY R, et al. A machine learning predictive model for post-ureteroscopy urosepsis needing intensive care unit admission: a case-control YAU endourology study from nine European centres [J]. *J Clin Med*, 2021, 10(17): 3888.
- [43] ZHANG H F, XU C B, HU C G, et al. Development of machine learning models to predict the risk of fungal infection following flexible ureteroscopy lithotripsy[J]. *BMC Med Inform Decis Mak*, 2025, 25(1): 159.
- [44] NEDBAL C, GAUHAR V, ADITHYA S, et al. Predictors and associations of complications in ureteroscopy for stone disease using AI: outcomes from the FLEXOR registry[J]. *Urolithiasis*, 2025, 53(1): 89.
- [45] WU Y K, MO Q S, XIE Y, et al. A retrospective study using machine learning to develop predictive model to identify urinary infection stones *in vivo*[J]. *Urolithiasis*, 2023, 51(1): 84.

(收稿日期:2025-10-27 修回日期:2025-11-24)