

· 专家述评 ·

2024年泌尿系结石诊治进展

洪扬, 许清泉*

(北京大学人民医院 泌尿外科, 北京 100044)

摘要: 泌尿系结石是常见泌尿系统疾病之一, 2024年泌尿系结石诊治取得了重要进展, 包括新一代基因组学研究揭示了更多与结石形成相关的遗传变异; 人工智能、机器深度学习、大数据等技术在泌尿系结石诊治方面得到广泛应用, 显著提高了临床诊治水平; 新型一次性电子输尿管软镜、肾镜及配套智能控温控压技术使得结石微创手术更加安全有效; 更多机器人辅助结石手术平台开展临床应用; 药物预防结石复发取得新的成果。这些进展将有助于为患者提供个体化的管理方案, 显著提高治疗效果, 改善患者的生活质量。

关键词: 泌尿系结石; 基因组学; 人工智能; 药物预防; 结石复发

中图分类号: R691.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-7410(2025)01-0003-08

DOI: 10.20020/j.CNKI.1674-7410.2025.01.01

Advances in the diagnosis and treatment of urinary stones in 2024

Hong Yang, Xu Qingquan

Department of Urology, Peking University People's Hospital, Beijing, 100044, China

Corresponding author: Xu Qingquan, E-mail: xqingquan@bjmu.edu.cn

Abstract: Urinary tract stones represent one of the most common diseases affecting the urinary system, and 2024 has witnessed significant advancements in both diagnostic techniques and treatment methods for this condition. New-generation genomics research has unveiled a greater number of genetic variations associated with stone formation, offering deeper insights into the genetic underpinnings of urolithiasis. Furthermore, the integration of cutting-edge technologies such as artificial intelligence (AI), machine deep learning, and big data analytics into the diagnosis and management of urinary stones has dramatically improved clinical outcomes. The introduction of disposable electronic ureteroscopes and nephroscopes, alongside intelligent temperature and pressure control technologies, has made minimally invasive stone surgery not only safer but also more efficient, reducing postoperative complications and enhancing patient recovery. The development and clinical application of robotic-assisted stone surgery platforms are pushing the boundaries of what is possible in urological surgery, marking a new era of precision and automation. Significant strides have also been made in pharmacological prevention strategies aimed at preventing stone recurrence. These advances allow for the formulation of personalized management plans tailored to individual patient needs, leading to markedly improved treatment efficacy and quality of life for those affected by urinary stones.

Keywords: Urinary tract stones; Genomics; Artificial intelligence; Pharmacological prevention; Stone recurrence

泌尿系结石是全球常见的泌尿系统疾病, 发病率逐年上升。我国上尿路结石患病率上升到8%左右, 两广地区甚至超过10%^[1]。结石的形成与多种因素有关, 包括遗传、饮食、脱水、肥胖以及代谢异常等。肾结石早期症状不明显, 且治疗后易复发, 长期管理难度大, 尽管结石微创手术有了很大进步, 但

是复杂肾结石的治疗仍然棘手。近年来, 伴随着泌尿系结石微创手术技术, 尤其是输尿管软镜技术的进展, 从事泌尿系结石手术的医生越来越多, 而泌尿系结石, 特别是肾结石的治疗方式也发生了显著变化。EMILY等^[2]分析了一项美国医保数据, 发现2013-2021年, 肾结石的微创治疗方法(体外冲击波碎石、输尿管镜碎石术及经皮肾镜碎石术)比例

*通信作者: 许清泉, E-mail: xqingquan@bjmu.edu.cn

发生了显著变化。输尿管镜碎石术成为最受欢迎的手术方式,从2013年占比37%上升到2021年占比64%。体外冲击波碎石占比则从2013年62%降低到2021年34%。这期间从事输尿管镜碎石术和经皮肾镜碎石术的医生数量翻了一番以上。国内同行在泌尿系结石领域作出了较大贡献,ZYOU D等^[3]使用文献计量技术分析1979—2023年发表的泌尿系结石相关随机对照试验资料,共有693篇随机对照研究文献,国内同行贡献最大,发表了166篇(23.95%),其次是美国,发表130篇文章(18.76%)。2024年,泌尿系结石在诊断、治疗及预防复发等方面取得了不少进展,人工智能、机器深度学习、大数据模型等技术在泌尿系结石诊治方面得到广泛应用,显著提高了临床诊治水平,提高了工作效率。本文将重点结合2024年发表的文献简要介绍泌尿系结石代谢评估、分子诊断、影像技术、微创手术、药物治疗以及预防方面的进展。

1 泌尿系结石诊断技术进展

1.1 代谢评估和分子诊断 24 h尿液分析是泌尿系结石患者代谢评估的重要内容。一项6 217人参加的前瞻性队列研究探究了24 h尿液成分和结石形成风险之间的相关性,共分析了9 045份24 h尿液样本,发现除尿pH值外,所有其他被检测的尿液成分都与肾结石形成显著相关,较高的尿液钙、草酸盐、磷和钠水平增加结石形成风险,而较高的尿量、尿酸、柠檬酸盐、钾和镁水平则会降低结石形成风险^[4]。通过24 h尿液分析可以帮助结石患者进行风险分级,从而为患者后续预防和治疗方案提供依据。中华医学会泌尿外科学分会(the Chinese Urological Association, CUA)指南建议复杂性肾结石患者做代谢评估,包括24 h尿液分析。而欧洲泌尿外科学会(European Association of Urology, EAU)指南建议每位尿石症患者均应尽可能地分析结石成分,并进行特定的血液和尿液测试以规划最佳治疗路径。根据患者的病史和结石组成来进行复发风险分组。推荐对所有患者进行基础代谢筛查;对于高复发风险和并发症风险的患者,应进行广泛的代谢筛查并接受针对性治疗^[5]。

虽然肾结石分子诊断技术在国内外还未普遍开展,但随着技术普及,这方面的应用逐渐增多。CUA指南建议对遗传高风险人群开展基因检测和分子诊断。约有30%儿童及1%~5%成人肾结石患者携带致病的单基因变异。单基因变异引起的肾结石病,通

过遗传测试可以获得明确诊断,比如原发性高草酸尿症。目前已知46个单基因变异导致肾结石,另外23个基因也有相关联的证据支持。此外还有证据表明肾结石疾病与多基因变异相关^[6]。因此除对结石患者进行充分代谢评估外,学者也建议对所有儿童、<25岁成人和具有高风险因素的老年患者进行基因检测。ANDREA等^[7]综合分析了13个相关研究,共1 675例患者,确定333例患有单基因变异,儿童阳性率(26%)远高于成人(8%)。NICOLETTE等^[8]回顾分析肾结石多学科会诊中接受遗传测试的患者资料,33例患者中,19例(57.6%)检测到变异基因。其中9例(27.3%)携带已知致病变异基因。携带致病变异基因的患者特征包括结石家族史、含钙结石、首次发病年龄<18岁、复发性结石。非编码RNA(non-coding RNAs, ncRNAs),特别是微小RNA(microRNAs, miRNAs)和长链非编码RNA(long non-coding RNAs, lncRNAs)在肾结石发生和发展中扮演着重要角色,miRNAs和lncRNAs通过复杂的分子网络相互作用,调节基因表达,影响细胞行为和代谢活动,从而促进或抑制肾结石的形成^[9]。GAO等^[10]通过生物信息学方法识别与肾结石相关的关键基因,并预测有21个miRNAs能够调节4个或更多的关键基因。这些miRNAs可能是开发新型肾结石治疗药物的潜在靶点。WANG等^[11]采用英国生物银行制药蛋白质组学项目的血浆蛋白质数据及FinnGen数据库版本R10的肾结石全基因组关联研究数据,通过整合全蛋白质组的孟德尔随机化和共定位分析,确定七种蛋白质在肾结石发病中的重要作用,其中一些(如CACYPB)显示出保护作用,而另一些(如FKBP1、ITIH3、SERPINC1)则增加患肾结石风险。

1.2 影像技术 影像技术创新提高了泌尿系结石的诊断效率,帮助医生为患者制定更个性化的治疗方案。低剂量双能CT技术逐渐取代传统的常规CT扫描,用于评估泌尿系结石^[12-13]。通过优化扫描参数,低剂量双能CT能够有效降低辐射剂量,同时保持较高的图像质量,帮助医生精确评估结石的位置、大小和类型,在区分尿酸结石和非尿酸结石方面表现出色。新开发的光子计数CT(Photon-Counting CT, PCCT)能够减少辐射,DILLINGER等^[14]采用光子计数CT扫描结合自动分析算法来检测和区分不同类型的肾结石,根据结石直径不同,其自动检测率为86.5%~95.4%,而尿酸结石的阳性预测值为66.7%,提示该方法检测尿酸结石的敏感性有待提高。NESTLER等^[15]进行体外研究,比较光子计数CT与

第三代双能量CT在评估结石方面的表现,光子计数CT与双能CT在大多数情况下都能提供高度一致的结石测量数据,PCCT未来应用值得期待。

1.3 人工智能、机器深度学习、大数据模型等技术在泌尿系结石诊断方面的应用 近年来,人工智能(artificial intelligence, AI)、机器深度学习及大数据模型等技术飞速发展,这些技术在泌尿系结石诊断方面被用于自动识别分析结石生成报告、预测结石复发、医患沟通及辅助临床决策等方面。ZHU等^[16]开发了一个基于长短期记忆网络的自适应特征加权模型,用于早期识别肾结石。从常规尿液和血液检测指标中筛选出17个变量作为预测因子,并根据权重系数对这些因子的重要性进行排序。尿白细胞、尿隐血、尿蛋白和小红细胞百分比是预测肾结石存在的前四个高价值因子,模型的准确率达89.5%。KEVIN等^[17]采用基于24 h尿液数据的机器学习模型以中等程度的准确性预测肾结石的复发。ZHOU等^[18]通过整合两个肾草酸钙结石数据集,使用加权基因共表达网络分析及四种机器学习方法,确定六个核心基因(*DLK2*、*BHLHA15*、*C12orf5*、*ICMT*、*LOXHD1*和*TP73*)作为草酸钙结石潜在生物标志物。通过接收者操作特征分析结合体内外实验,*TP73*初步被确定为肾草酸钙结石的诊断生物标志物。

AI结合大数据分析,通过深度学习算法,能够从CT、MRI和超声图像中自动识别结石,分辨结石类型,甚至预测结石的生长趋势。AI还可用于自动生成结石诊断报告,减少医生的工作负担,提高诊断效率。JIN^[19]等使用2022年8月至2023年7月期间接受结石手术患者的轴向CT图像作为数据集,由两位泌尿科医生和一位AI专家使用Labelimg软件对结石进行标注,以生成真实数据。来自急诊的100例疑似尿路结石患者的CT图像被用来进行外部验证。结果显示,外部验证准确率为94%。AI系统分析150张CT图像仅需13 s,而泌尿科医生需要38.6 s,正式读片则需要23 h。此外,AI系统能在0.2 s内计算出结石体积,而医生则需要77 s。AI辅助影像分析正在成为泌尿系结石个体化诊断的重要工具。FAHAD等^[20]报告使用预训练的VGG16模型结合可解释的AI技术,特别是层相关性传播,可以有效识别尿路平片检查图像中的肾结石,准确率达97.41%。DANDREI等^[21]报告了加州大学欧文分校开发的AI算法在确定结石体积方面的诊断结果。AI算法确定的体积与真实体积之间几乎完全相关,对于所有大小的结石体积测定均高效,其准确性随着结石尺寸的

增大而提高。ABHIJITH等^[22]评估了AI驱动的UrologiQ系统测量患者肾结石体积的效果。与放射科医生的手动测量进行对比,AI在测量肾结石体积方面优于放射科医生的手动计算,AI在测量肾结石体积方面表现出更高的准确性、效率和一致性。PRITAM等^[23]采用深度学习软件识别并测量CT平扫图像中的肾结石,用于随访偶发肾结石患者,约一半患者在随访期间肾结石有所增长,中位增长率为每年3.3 mm³。

AI技术还被用于临床医患交流及辅助临床决策。MOHAMED等^[24]报告了ChatGPT用于肾结石门诊患者咨询的结果,研究从12例肾结石患者处收集了61个问题,并将这些问题分别提交给ChatGPT和一组经验丰富的泌尿科医师回答。ChatGPT回答在准确性、完整性和实用性等方面得分显著低于泌尿科医生。对于泌尿科医师而言,ChatGPT可以作为一种辅助工具,帮助其更高效地处理常见的患者问题,减轻工作负担,但在准确性和实用性等方面仍有不足,表明其需要进一步改进才能作为独立的患者咨询工具。ALI等^[25]评估了ChatGPT作为泌尿结石临床决策工具的性能。ChatGPT作为一种先进的AI工具,在处理患者初步诊断和一般治疗规划时表现出一定的能力,显示了其在医疗咨询中的潜在价值。在处理更复杂的预防性治疗和手术规划方面存在显著不足,未能完全遵循EAU指南。这表明目前的AI技术在处理高度专业化和复杂度高的医疗决策时仍需改进。TUGAY等^[26]使用AI预测远端输尿管结石自发排出的可能性,结果显示,AI算法在预测远端输尿管结石自发排出时表现出更高的敏感性和特异性(分别为92%和86%),优于传统的逻辑回归模型(80.1%和68.4%)。

2 结石治疗进展

2.1 碎石设备 激光是目前主要的碎石设备之一,采用激光碎石技术可以更精确地处理各种类型的结石,新型激光设备可以提供更高能量的激光束,使得碎石更加高效。目前激光碎石设备以钬激光和新型超脉冲钬光纤激光为主。DANIELE等^[27]报告了钬光纤激光和带有摩西技术的钬激光在成人输尿管软镜碎石治疗肾结石的全球多中心研究结果,两组总手术时间和激光使用时间相似,但钬光纤激光组的单次手术净石率显著高于钬激光组(85%比56%)。ALEXEY等^[28]结合动物试验及临床研究,发现通过优化参数可以提高碎石效率,减少对组织的热损伤。

JEFFREY等^[29]使用人体一水草酸钙、二水草酸钙、尿酸、鸟粪石、胱氨酸、碳酸盐磷灰石和磷酸氢钙等结石样本,比较13种参数下超脉冲钪光纤激光的粉末化效果。研究发现不同成分结石的钪光纤激光粉末化效果存在显著差异,91个样本中有36个(约40%)观察到炭化现象,主要出现在尿酸、胱氨酸和磷酸氢钙结石样本中,建议在钪激光碎石术中使用短脉冲,并根据术中观察和效率调整参数设置,以减少炭化现象。

2.2 辅助设备 软镜导入鞘及相关控压、控温设备的改进和创新,能够改善术中视野,缩短手术时间,提高净石率,降低术中肾盂压力和温度,减少感染等并发症,使输尿管软镜碎石术成为上尿路结石的主要治疗手段。VINEET等^[30]报告了全球多中心采用负压鞘输尿管软镜碎石术治疗肾结石的结果,≤2 mm肾结石的净石率达97.2%,为解决较大或复杂结石提供了新的解决方案。HUANG等^[31]采用Fr11/13负压鞘结合Fr8.55一次性输尿管软镜治疗900例上尿路结石患者,术后1个月净石率为89.56%,仅有2.44%患者需要二次手术,且未出现严重并发症。YANG等^[32]开发了带有灌注-吸引平台的新型温度控制系统的输尿管软镜(PT-Scope),PT-Scope在猪肾结石模型试验中可以精确监测和控制肾内温度,确保温度保持在安全范围内。DENG等^[33]开发了一种智能控压系统,联合软镜鞘可以显著减少输尿管软镜上尿路碎石手术时液体吸收。KWOK等^[34]报告了EAU与全球可弯软镜负压鞘协作组采用不同大小可弯软镜负压鞘进行输尿管软镜碎石术的结果。295例患者分为细鞘组(10/12Fr鞘)和粗鞘组(11/13Fr或12/14Fr鞘),两组之间的结石体积相似,术后30 d复查CT,细鞘组总手术时长高于粗鞘组,两组净石率无显著差异,细鞘组完全净石率优于粗鞘组,两组术后并发症发生率差异无统计学意义。镜鞘比影响输尿管软镜碎石术中肾盂内压力和碎石效率,一项体外实验研究提示:当镜鞘比≤0.78时,在大多数情况下,负压鞘和传统鞘组可以保持肾盂内压力<40 cmH₂O(1 cmH₂O=1.33 kPa);当镜鞘比=0.87时,对传统鞘组来说,维持肾盂内压力<40 cmH₂O有难度,而负压鞘组可以达到这个效果;当镜鞘比≥0.89时,即便使用负压鞘,也难以保持肾盂内压力<40 cmH₂O^[35]。输尿管软镜及软镜鞘头端位置可能会影响不同部位肾盏的灌注液回流量,ARMAN等^[36]采用前瞻性研究,测量了输尿管软镜头端放置在上盏、中盏、下盏以及软镜鞘头端位置分别为距离肾

盂输尿管连接处2 cm或髂嵴水平时的灌注液回流量变化,研究共纳入74例患者,当软镜鞘头端位于靠近肾盂输尿管连接部,从中盏和上盏的流体流出率显著高于下盏。当软镜鞘头端撤回并置于髂嵴水平时,上盏和中盏的回流量显著下降,而下盏的回流量则有所增加。

2.3 结石微创手术 BEN等^[37]报告了一种新型爆波碎石术首次临床应用治疗肾结石的结果,该设备为可移动超声波装置,爆波碎石由连续的声学循环组成,这些循环可以累积从而将能量集中在结石内部,能够在入射声场的较低峰值压力下完成碎石。研究纳入44例患者,其中43%为输尿管结石,57%为肾结石。治疗过程中多数患者不需要麻醉或镇静,88%的患者观察到碎石现象,70%患者残留碎片≤4 mm,51%患者残留碎片≤2 mm,49%患者没有残石。所有患者均无严重的不良事件发生。

新一代输尿管软镜不仅更细小,且图像质量大幅提升,集成控温控压设备,使得治疗更加精准和安全。CARLOTTA等^[38]报告了集成吸引系统的普生电子输尿管软镜的首次临床使用结果,输尿管镜的质量参数达到了平均Likert评分4.5分,其中“镜体放置、视觉质量、灌注、偏转、操作性和重量”被评为“非常好”。“吸引质量和整体性能满意度”被评为“好”。

日间手术正在国内推行,结石日间手术多集中于输尿管镜碎石手术。国外DANIEL等^[39]报告了1 267例日间经皮肾镜碎石手术患者的资料,研究结果表明选择合适患者行日间经皮肾镜碎石手术是安全的。2015–2022年由3位经验丰富的泌尿科医师手术,结石中位直径为32 mm,平均恢复时间为87 min,仅1.7%的患者需要住院观察,住院主要原因包括术后低血压或疼痛,2.8%的患者出现并发症,大多数为轻度,鹿角形结石是唯一需要住院观察的显著预测因子。

机器人辅助手术已用于临床泌尿系结石治疗,特别是经皮肾镜碎石术及输尿管镜碎石术等微创手术。通过机器人平台,医生可以实现更精准的肾脏定位和穿刺,更精确操作肾镜和输尿管软镜,更加精准碎石,降低出血和其他并发症。ALBERT等^[40]报告了ILY[®]机器人输尿管镜操作平台治疗肾结石的前瞻性临床研究结果。研究队列包括29例患者,共有45颗结石,中位体积为736.22 mm³。中位手术时间为85 min,净石率达93.55%,并发症发生率为9.68%,所有并发症均为Clavien-Dindo分类I级。JAIME^[41]

报告了单个泌尿外科医师使用MONARCH平台进行机器人辅助的微造瘘经皮肾镜碎石术联合输尿管软镜碎石术的初步临床经验,使用机器人辅助定位系统,所有患者均一次穿刺直接通过肾乳头中心获得经皮通道。13例手术中有12例成功完成。未发生与机器人设备相关的不良事件。国内YANG等^[42]报告使用5G技术支持的机器人辅助远程超声诊断系统引导经皮肾镜取石术的首次临床应用经验。共有15例患者接受了治疗。在线专家通过操纵模拟探头驱动患者端的机器人探头来指导和监控建立皮肾通道及寻找残留结石过程。尽管两地距离超过5 800 km,但网络中位总延迟仅为177 ms。音频、视频通信、驱动机器人手臂或动态超声图像没有可感知的延迟。首次穿刺成功率78.6%,单次手术净石率71.3%,没有发生Ⅲ~Ⅴ级并发症。BURAK等^[43]报告使用Roboflex Avicenna机器人平台辅助输尿管软镜碎石术的过程和结果,手术在50 min内完成,未发现任何明显的出血或术中并发症。MORSHEDE等^[44]报告机器人辅助输尿管软镜碎石术的结果,提出“四连胜”标准,即达到单次治疗后完全清除结石,无需辅助治疗,无高分级并发症(Ⅲ~Ⅴ级),当日出院。

2.4 AI、机器深度学习、大数据模型等技术在泌尿系结石治疗方面的应用

AI、机器深度学习及大数据模型等技术被用于术中评估结石成分、预测手术效果及并发症。LENG等^[45]开发了一种新型机器学习模型UroSAM,用来在术中基于内窥镜视频数据预测结石成分,包括一水草酸钙、二水草酸钙、磷酸钙及尿酸结石,结果60%的结石成分分类正确。未来增加高质量视频数据的数量将有助于进一步提升模型在不同成分结石分类上的性能,如能集成实时分析功能有望为术中激光碎石参数设置提供帮助从而提高碎石效率。SONG等^[46]开发一种基于CT图像的深度学习模型,以预测体外冲击波碎石治疗>1 cm输尿管结石的成功率。基于CT图像的深度学习模型展示了出色的预测能力,显著优于放射组学和传统模型的预测性能。ZOU等^[47]报告了基于放射组学和机器学习模型预测经皮肾镜取石术后净石率的结果,共提取了121个放射组学特征,通过LASSO回归筛选出7个最相关的特征。采用四种监督机器学习算法:逻辑回归、随机森林、极端梯度提升和梯度提升决策树,将筛选出的临床变量和放射组学特征整合到这些算法中,构建预测模型。逻辑回归模型在预测经皮肾镜碎石术后的净石率方面表现出最高的准确性和区分能力。CARLOTTA等^[48]使用16种机器

学习分类算法以研究输尿管软镜激光碎石患者术前特征与手术效果的相关性。构建一个集成模型,使用表现最佳的算法预测并发症和净石率。该集成机器学习模型在预测净石率方面达到了93%的准确率和87%的精确度。CASTELLANI等^[49]创建了一个基于机器学习的模型,用于预测肾结石患者输尿管软镜碎石术后发生脓毒症的风险。测试的机器学习算法包括决策树、随机森林和梯度提升,结果表明随机森林模型表现最佳。

3 预防

泌尿系结石的高复发率一直困扰医生和患者,传统的预防方法主要集中于调节尿液酸碱度及调节尿钙水平。KUMARAN等^[50]报告药物预防尿路结石复发的效果,研究表明,预防性药物治疗可以在初次尿收集后的12~36个月内降低尿路结石复发风险,特别是对于低柠檬酸尿症患者,碱化治疗显示出显著的效果,预防性药物治疗降低19%复发风险,但这一效果随着时间延长而减弱。JOHN等^[51]报告真实世界药物预防结石发作事件的效果,13 942例患者中,31.0%的患者接受预防性药物治疗。相比于未使用药物患者,对于高钙尿症和低尿pH值的患者,预防性药物治疗显著降低症状性结石事件风险;但对于低柠檬酸尿症或高尿酸尿症的患者无效。肠道微生物中的草酸降解细菌能够吸收食物来源的草酸,将其作为碳源和能源,从而降低宿主动物形成肾结石的风险。JAUNET-LAHARY等^[52]研究发现这种细菌中的草酸转运蛋白Ox1T能够选择性地从肠道中摄取草酸,并严格区分其他营养羧酸。Ox1T不仅能够复杂的肠道环境中准确识别并摄取草酸,还能通过精确的构象变化控制草酸的运输过程,从而有效地将草酸从肠道转运到细菌内进行代谢,该研究成果有可能用于开发新的预防和治疗肾结石的方法。XU等^[53]通过体外实验测试了多种益生菌株的草酸降解效率,进一步通过动物实验来评估特定乳酸菌株预防肾结石的效果。研究表明,口服*L.plantarum* AR1089菌株可以通过减轻肾脏损伤和调节肠道微生物群来减少草酸钙晶体,并预防肾结石发展。糖尿病是肾结石形成及复发的危险因素之一,临床上有多种降糖药,新研究为合并肾结石的二型糖尿病患者选择降糖药物提供了参考。JULIE等^[54]报告,与使用胰高血糖素样肽1受体激动剂或二肽基肽酶4抑制剂降糖药相比,使用钠-葡萄糖共转运蛋白2抑制剂可以降低成年2型糖尿病患者肾结石发生率。NATALIE等^[55]

报告,合并肾结石和痛风的2型糖尿病患者使用钠-葡萄糖共转运蛋白2抑制剂可以降低肾结石复发及痛风发作的风险。这些成果可以帮助医师为有肾结石风险的成年2型糖尿病患者选择合适的降糖药。钠-葡萄糖共转运蛋白2抑制剂还可能用于胱氨酸尿症的治疗, SUI等^[56]给10例胱氨酸尿症患者服用钠-葡萄糖共转运蛋白2抑制剂,中位随访13.5个月,70%的患者在接受钠-葡萄糖共转运蛋白2抑制剂治疗期间结石发作减少,一半患者在治疗期间保持结石体积稳定。研究者认为,通过降低血糖水平并增加尿液中葡萄糖的排泄,钠-葡萄糖共转运蛋白2抑制剂可能有助于阻止胱氨酸结石的增长或促进其溶解。

4 存在的问题

尽管近年来泌尿系统结石的诊治取得了许多进展,但其仍存在不少亟待解决的问题。泌尿系结石类型多样,形成机制尚未完全阐明,显著增加个体化治疗难度。结石复发率高,现有措施无法有效预防结石复发。现有结石治疗措施尚有待改进,溶石治疗主要用于尿酸结石和胱氨酸结石,而含钙结石特别是草酸钙结石的溶石治疗尚未取得突破。复杂结石的治疗尚缺乏高效安全的措施。

5 小结和展望

未来研究需要进一步深入探索不同成分肾结石形成的机制, AI、机器学习及大数据技术,通过整合遗传学、代谢组学、生活方式等因素,医生将能够为高风险患者梳理详细的危险因素,并制定个体化的策略,避免结石的发生或复发。结石治疗措施,从草酸钙结石溶石药物到更加高效安全的碎石技术,也有望取得进展。

参考文献:

- [1] TAN S, YUAN D, SU H, et al. Prevalence of urolithiasis in China: a systematic review and meta-analysis [J]. *BJU Int*, 2024, 133(1): 34–43.
- [2] SERRELL E, ANTAR AS, BUINEVICIUS E, et al. Surgical Stone Trends from 2013 to 2021 in the US Medicare Population: Before and after the COVID-19 Pandemic [J]. *J Endourol*, 2024, 38(9): 902–907.
- [3] ZYUOD SH, ABUSHAMMA F, SHAHWAN M, et al. Visualizing the landscape of urolithiasis research from 1979–2023: a global bibliometric analysis of randomized clinical trials [J]. *Urolithiasis*, 2024, 52(1): 153.
- [4] FERRARO PM, TAYLOR EN, CURHAN GC. 24-Hour Urinary Chemistries and Kidney Stone Risk [J]. *Am J Kidney Dis*, 2024, 84(2): 164–169.
- [5] SKOLARIKOS A, SOMANI B, NEISIUS A, et al. Metabolic Evaluation and Recurrence Prevention for Urinary Stone Patients: An EAU Guidelines Update [J]. *Eur Urol*, 2024, 86(4): 343–363.
- [6] GERAGHTY R, LOVEGROVE C, HOWLES S, et al. Role of Genetic Testing in Kidney Stone Disease: A Narrative Review [J]. *Curr Urol Rep*, 2024, 25(12): 311–323.
- [7] SPASIANO A, TRECCANI M, DE TOMI E, et al. Characteristics and Yield of Modern Approaches for the Diagnosis of Genetic Causes of Kidney Stone Disease [J]. *Genes (Basel)*, 2024, 15(11): 1470.
- [8] PAYNE NG, BODDU SP, WYMER KM, et al. The Use of Genetic Testing in Nephrolithiasis Evaluation: A Retrospective Review From a Multidisciplinary Kidney Stone Clinic [J]. *Urology*, 2024, 193: 20–26.
- [9] WANG G, MI J, BAI J, et al. Non-Coding RNAs in Kidney Stones [J]. *Biomolecules*, 2024, 14(2): 213.
- [10] GAO Y, LIU D, ZHOU H, et al. Identification of biomarkers and potential therapeutic targets of kidney stone disease using bioinformatics [J]. *World J Urol*, 2024, 42(1): 17.
- [11] WANG L, LI KP, CHEN SY, et al. Proteome-wide mendelian randomization identifies therapeutic targets for nephrolithiasis [J]. *Urolithiasis*, 2024, 52(1): 126.
- [12] EULER A, WULLSCHLEGER S, SARTORETTI T, et al. Dual-energy CT kidney stone characterization- can diagnostic accuracy be achieved at low radiation dose? [J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(9): 6238–6244.
- [13] COPPOLA A, TESSITORE L, FONTANA F, et al. Dual-Energy Computed Tomography in Urological Diseases: A Narrative Review [J]. *J Clin Med*, 2024, 13(14): 4069.
- [14] DILLINGER D, WALDECK S, OVERHOFF D, et al. Automated Kidney Stone Composition Analysis with Photon-Counting Detector CT, a Performance Study-A Phantom Study [J]. *Acad Radiol*, 2024: S1076–6332(24)00832–8.
- [15] NESTLER T, STOLL R, SCHMELZ H, et al. Comparison of automated kidney stone size measurement and volumetry in photon counting CT compared to 3rd generation dual energy CT and physically measurements-an ex vivo study [J]. *World J Urol*, 2024, 42(1): 433.
- [16] ZHU Q, CHEONG-IAO PANG P, CHEN C, et al. Automatic kidney stone identification: an adaptive feature-weighted LSTM model based on urine and blood routine analysis [J]. *Urolithiasis*, 2024, 52(1): 145.
- [17] SHEE K, LIU AW, CHAN C, et al. A Novel Machine-Learning Algorithm to Predict Stone Recurrence with 24-Hour Urine Data [J]. *J Endourol*, 2024, 38(8): 809–816.
- [18] ZHOU Z, WANG L, CAI L, et al. Comprehensive analysis and validation of TP73 as a biomarker for calcium oxalate nephrolithiasis using machine learning and in vivo and in vitro experiments [J]. *Urolithiasis*, 2024, 52(1): 164.

- [19] KIM J, KWAK CW, UHMN S, et al. A Novel Deep Learning-based Artificial Intelligence System for Interpreting Urolithiasis in Computed Tomography [J]. *Eur Urol Focus*, 2024, S2405-4569(24)00123-8.
- [20] AHMED F, ABBAS S, ATHAR A, et al. Identification of kidney stones in KUB X-ray images using VGG16 empowered with explainable artificial intelligence [J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 6173.
- [21] CUMPANAS AD, CHANTADULY C, MORGAN KL, et al. Efficient and Accurate Computed Tomography-Based Stone Volume Determination: Development of an Automated Artificial Intelligence Algorithm [J]. *J Urol*, 2024, 211(2): 256-265.
- [22] YENIKEKALUVA A, AZEEZ SF, SAKEGAONKAR A, et al. UrologiQ: AI-based accurate detection, measurement and reporting of stones in CT-KUB scans [J]. *Urolithiasis*, 2024, 52(1): 170.
- [23] Mukherjee P, Lee S, Elton DC, et al. Longitudinal follow-up of incidental renal calculi on computed tomography [J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2024, 49(1): 173-181.
- [24] JAVID M, BHANDARI M, PARAMESHWARI P, et al. Evaluation of ChatGPT for Patient Counseling in Kidney Stone Clinic: A Prospective Study [J]. *J Endourol*, 2024, 38(4): 377-383.
- [25] TALYSHINSKII A, JULIEBO-JONES P, ZEESHAN HAMEED BM, et al. ChatGPT as a Clinical Decision Maker for Urolithiasis: Compliance with the Current European Association of Urology Guidelines [J]. *Eur Urol Open Sci*, 2024, 69: 51-62.
- [26] Aksakalli T, Aksakalli IK, Cinslioglu AE, et al. Prediction of spontaneous distal ureteral stone passage using artificial intelligence [J]. *Int Urol Nephrol*, 2024, 56(7): 2179-2186.
- [27] CASTELLANI D, GAUHAR V. Comparison Between Holmium: YAG Laser With MOSES Technology vs Thulium Fiber Laser Lithotripsy in Retrograde Intrarenal Surgery for Kidney Stones in Adults: A Propensity Score-Matched Analysis From the FLEXible Ureteroscopy Outcomes Registry. Reply [J]. *J Urol*, 2023, 210(6): 841-842.
- [28] MARTOV A, ADILKHANOV M, ANDRONOV A, et al. Treatment of Urolithiasis with Thulium Fiber Laser in Fragmentation Mode Using Optimized Pulse Sequences [J]. *J Endourol*, 2024, 38(10): 1097-1103.
- [29] JOHNSON J, LEE J, MOVASSAGHI M, et al. Comparative Analyses and Ablation Efficiency of Thulium Fiber Laser by Stone Composition [J]. *J Urol*, 2024, 211(3): 445-454.
- [30] GAUHAR V, TRAXER O, CASTELLANI D, et al. Could Use of a Flexible and Navigable Suction Ureteral Access Sheath Be a Potential Game-changer in Retrograde Intrarenal Surgery? Outcomes at 30 Days from a Large, Prospective, Multicenter, Real-world Study by the European Association of Urology Urolithiasis Section [J]. *Eur Urol Focus*, 2024, S2405-4569(24)00073-7.
- [31] HUANG WN, HUANG HL, WANG YH, et al. Application of 11/13Fr suctioning ureteral access sheath and 8.55Fr single-use digital flexible ureteroscope in one-stage flexible ureteroscopic lithotripsy: an initial experience of 900 cases [J]. *Urolithiasis*, 2024, 52(1): 112.
- [32] YANG J, LI Z, LAI C, et al. An In Vivo Assessment of a Novel Temperature Control Flexible Ureteroscope System for Monitoring and Controlling Intrarenal Temperature During Flexible Ureteroscopy [J]. *Urology*, 2024, 191: 38-44.
- [33] DENG X, CHEN Y, ZHAI Q, et al. Fluid absorption during flexible ureteroscopy with intelligent control of renal pelvic pressure: a randomized controlled trial [J]. *World J Urol*, 2024, 42(1): 331.
- [34] KWOK JL, SOMANI B, SARICA K, et al. Multicenter outcome analysis of different sheath sizes for Flexible and Navigable Suction ureteral access sheath (FANS) ureteroscopy: an EAU Endourology collaboration with the global FANS study group [J]. *Urolithiasis*, 2024, 52(1): 162.
- [35] SHI J, HUANG T, SONG B, et al. The optimal ratio of endoscope-sheath diameter with negative-pressure ureteral access sheath: an in vitro research [J]. *World J Urol*, 2024, 42(1): 122.
- [36] TSATURYAN A, KELLER EX, PETEINARIS A, et al. Fluid dynamics within renal cavities during endoscopic stone surgery: does the position of the flexible ureteroscope and ureteral access sheath affect the outflow rate? [J]. *World J Urol*, 2024, 42(1): 240.
- [37] CHEW BH, HARPER JD, SUR RL, et al. Break Wave Lithotripsy for Urolithiasis: Results of the First-in-Human International Multi-Institutional Clinical Trial [J]. *J Urol*, 2024, 212(4): 580-589.
- [38] NEDBAL C, YUEN SKK, AKRAM M, et al. First clinical evaluation of a flexible digital ureteroscope with direct in scope suctioning system (Pusen DISS 7.5Ch): prospective multicentric feasibility study [J]. *World J Urol*, 2024, 42(1): 560.
- [39] ROSEN DC, DRESCHER MR, ARIAS VILLELA NL, et al. Advancements in Performance of Percutaneous Nephrolithotomy in Ambulatory Surgery Centers: Outcomes and Lessons From 1250+ Cases [J]. *Urology*, 2024, 184: 26-31.
- [40] EL-HAJJ A, ABOU CHAWAREB E, ZEIN M, et al. First prospective clinical assessment of the ILY[®] robotic flexible ureteroscopy platform [J]. *World J Urol*, 2024, 42(1): 143.
- [41] LANDMAN J, CLAYMAN RV, CUMPANAS AD, et al. Initial Clinical Experience With a Novel Robotically Assisted Platform for Combined Mini-Percutaneous Nephrolithotomy and Flexible Ureteroscopic Lithotripsy [J]. *J Urol*, 2024, 212(3): 483-493.
- [42] YANG J, ZHOU X, ZHOU X, et al. Percutaneous nephrolithotomy guided by 5G-powered robot-assisted teleultrasound diagnosis system: first clinical experience

- with a novel tele-assistance approach (IDEAL stage 1) [J]. *BMC Urol*, 2024, 24(1): 17.
- [43] ERGÜL RB, GURCAN M, AYDIN AB, et al. Robotic Flexible Ureteroscopy: A Step-by-Step Video by Using Roboflex Avicenna Platform [J]. *Urology*, 2024, 189: e8–e9.
- [44] SALAH M, LAYMON M, GUL T, et al. Optimizing outcome reporting after robotic flexible ureteroscopy for management of renal calculi: Introducing the concept of tetrafacta [J]. *J Robot Surg*, 2024, 18(1): 128.
- [45] LENG J, LIU J, CHENG G, et al. Development of UroSAM: A Machine Learning Model to Automatically Identify Kidney Stone Composition from Endoscopic Video [J]. *J Endourol*, 2024, 38(8): 748–754.
- [46] SONG R, LIU B, XU H. CT-based deep learning model for predicting the success of extracorporeal shock wave lithotripsy in treating ureteral stones larger than 1 cm [J]. *Urolithiasis*, 2024, 52(1): 157.
- [47] ZOU XC, LUO CW, YUAN RM, et al. Develop a radiomics-based machine learning model to predict the stone-free rate post-percutaneous nephrolithotomy [J]. *Urolithiasis*, 2024, 52(1): 64.
- [48] NEDBAL C, ADITHYA S, NAIK N, et al. Can Machine Learning Correctly Predict Outcomes of Flexible Ureteroscopy with Laser Lithotripsy for Kidney Stone Disease? Results from a Large Endourology University Centre [J]. *Eur Urol Open Sci*, 2024, 64: 30–37.
- [49] CASTELLANI D, DE STEFANO V, BROCCA C, et al. The infection post flexible UreteroreNoscopy (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): 612.
- [50] ARIVOLI K, VALICEVIC AN, OERLINE MK, et al. Preventive Pharmacological Therapy and Risk of Recurrent Urinary Stone Disease [J]. *Clin J Am Soc Nephrol*, 2024, 19(5): 565–572.
- [51] JHollingsworth JM, Oerline MK, Hsi RS, et al. Real-World Effectiveness of Preventive Pharmacological Therapy in Patients With Urolithiasis: A Retrospective Cohort Study [J]. *Am J Kidney Dis*, 2024, 84(1): 83–93, e1.
- [52] JAUNET-LAHARY T, SHIMAMURA T, HAYASHIM, et al. Structure and mechanism of oxalate transporter OxIT in an oxalate-degrading bacterium in the gut microbiota [J]. *Nat Commun*, 2023, 14(1): 1730.
- [53] XU M, QIN Y, XIA Y, et al. Screening of oxalate-degrading probiotics and preventive effect of *Lactiplantibacillus plantarum* AR1089 on kidney stones [J]. *Food Funct*, 2024, 15(19): 10163–10178.
- [54] Hsiao PR, Wei JC. Sodium-Glucose Cotransporter 2 Inhibitors and the Risk of Nephrolithiasis in Clinical Practice [J]. *JAMA Intern Med*, 2024, 184(7): 851–852.
- [55] MCCORMICK N, YOKOSE C, LU N, et al. Comparative effectiveness of sodium-glucose cotransporter-2 inhibitors for recurrent nephrolithiasis among patients with pre-existing nephrolithiasis or gout: target trial emulation studies [J]. *BMJ*, 2024, 387: e080035.
- [56] SUI W, YANG H, DESAI M, et al. The potential role of Sodium/Glucose Cotransporter 2 inhibitors in the treatment of cystinuria [J]. *Urolithiasis*, 2024, 52(1): 168.