

# 肾结石手术治疗方式的研究进展

魏征 尹宁\* 李永洪\*

资中县人民医院

DOI:10.12238/bmtr.v7i4.15542

**[摘要]** 肾结石是泌尿系统常见疾病,近年来其全球发病率呈逐年上升趋势。随着医疗技术进步,肾结石的手术治疗方式已经从传统的开放手术迅速发展为以微创技术为主导的多元化治疗格局。本文系统综述了肾结石手术治疗的最新进展,重点分析了体外冲击波碎石术、经皮肾镜取石术、输尿管软镜技术、机器人辅助手术以及新兴技术(可弯负压吸引技术)和(软磁机器人)系统的技术特点、临床应用效果及适应症。同时探讨了复杂性肾结石的个体化治疗策略、术后并发症管理、复发预防措施以及未来发展方向。通过对现有文献的综合分析,表明微创技术正在向更精准、更安全、更高效的方向发展,为临床医师制定个体化治疗方案提供了重要参考。

**[关键词]** 肾结石; 手术治疗; 微创技术; 经皮肾镜; 输尿管软镜; 机器人辅助手术

**中图分类号:** R692.4 **文献标识码:** A

## Research progress on surgical treatment of kidney stones

Zheng Wei Ning Yin\* Yonghong Li\*

Zizhong County People's Hospital

**[Abstract]** Kidney stones are a common disease of the urinary system, and their global incidence has been increasing year by year in recent years. With the advancement of medical technology, the surgical treatment of kidney stones has rapidly developed from traditional open surgery to a diversified treatment pattern dominated by minimally invasive technology. This article systematically reviews the latest progress in the surgical treatment of kidney stones, focusing on the technical characteristics, clinical application effects and indications of extracorporeal shock wave lithotripsy, percutaneous nephrolithotomy, flexible ureteroscopy technology, robot-assisted surgery, and emerging technologies (bendable negative pressure suction technology) and (soft magnetic robot) systems. At the same time, the individualized treatment strategies, postoperative complication management, recurrence prevention measures, and future development directions of complex kidney stones were discussed. Through a comprehensive analysis of the existing literature, it is shown that minimally invasive technology is developing in a more accurate, safer and more efficient direction, providing an important reference for clinicians to formulate individualized treatment plans.

**[Key words]** kidney stones; surgical treatment; minimally invasive technology; percutaneous nephroscopy; flexible ureteroscopy; Robot-assisted surgery

## 引言

肾结石是泌尿外科最常见疾病之一,全球发病率约为10%,且呈逐年上升趋势<sup>[1]</sup>。近年来,我国泌尿系结石发病率也显著攀升,特别是复杂性结石患者不断增加,对治疗技术提出了更高要求<sup>[2]</sup>。肾结石的治疗方式包括保守治疗、体外冲击波碎石和手术治疗。其中,手术治疗技术取得了令人瞩目的进展,从传统的开放手术到微创手术,再到如今的无创手术,治疗理念不断更新。

过去十年中,肾结石手术治疗领域出现了诸多技术创新,包

括可弯负压鞘联合一次性软镜碎石清石术、柔性微型经皮肾镜取石术(F-mPCNL)、机器人辅助输尿管软镜术(Robo-URS)以及软磁机器人系统等<sup>[2-4]</sup>。这些技术显著提高了结石清除率,减少了并发症,缩短了康复时间。本文旨在全面梳理肾结石手术治疗的最新进展,分析各种技术的优势与局限性,并为未来研究方向提供参考。

## 1 传统手术治疗方式

1.1 体外冲击波碎石。体外冲击波碎石术(ESWL)是上世纪80年代发展起来的无创治疗技术,曾被认为是肾结石治疗的革命

性突破。其原理是通过聚焦的冲击波在体外将结石粉碎,然后通过尿液自然排出。ESWL适用于直径小于2厘米的肾结石和直径小于1厘米的输尿管上段结石,具有无创、无需麻醉、门诊治疗等优点。然而,ESWL对于硬度较高的结石(如胱氨酸结石和一水草酸钙结石)效果较差,且多次治疗可能导致肾周血肿等并发症。更重要的是,研究显示ESWL后结石残留率较高,5年内复发率可达35-50%,这限制了其在临床的广泛应用<sup>[5-8]</sup>。

1.2经皮肾镜取石术。经皮肾镜取石术(PCNL)自1976年首次应用以来,一直是治疗大型和复杂性肾结石(如鹿角形结石)的金标准。传统PCNL通过在第11肋间或第12肋下经皮穿刺建立通道(通常24-30Fr),将肾镜引入集合系统进行碎石取石。PCNL的主要优势在于结石清除率高(大型结石可达90%以上),但存在出血、感染、脏器损伤等风险。近年来,PCNL技术不断改进,出现了微型经皮肾镜(mPCNL)技术,将工作通道缩小至16-20Fr,甚至更小,显著减少了手术创伤和出血风险<sup>[3-4]</sup>。一项针对502例慢性肾脏病患者的PCNL研究显示,手术平均耗时 $95.05 \pm 29.47$ 分钟,89.28%实现完全结石清除,术后估算肾小球滤过率(eGFR)从 $63.97 \pm 24.01$ 显著提升至 $84.40 \pm 26.87$  mL/min/1.73m<sup>2</sup>。中位随访20.01个月期间,50.8%患者肾功能分期改善,证明PCNL不仅能有效清除结石,还能改善肾功能<sup>[6-8]</sup>。

1.3经尿道针消融术。输尿管软镜(F-URS)技术是治疗中小型肾结石的重要方法,特别适用于直径1-2厘米的结石、ESWL治疗失败或不适合PCNL的患者。现代输尿管软镜具有主动弯曲功能,能够到达肾内几乎所有肾盏,配合钬激光碎石技术,实现了高效碎石能力。近年来出现的一次性输尿管软镜进一步减少了交叉感染风险,避免了昂贵的内镜维护费用,提高了手术便利性<sup>[2]</sup>。

F-URS的主要优势包括微创、无体表伤口、恢复快等,但也存在一些局限性,如对于较大结石可能需要分期手术,术后可能需要留置双J管引起下尿路症状等。此外,传统F-URS存在术者疲劳、操作精度受限等挑战<sup>[1]</sup>。

## 2 微创技术创新的研究进展

2.1可弯负压吸引技术。近年来,可弯负压鞘联合一次性软镜技术成为肾结石治疗的重要突破。这项技术由上海新华医院泌尿结石专业组率先应用,解决了传统输尿管软镜手术中“看得见打不着”和“打得碎排不出”两大困境<sup>[2]</sup>。可弯负压鞘具有灵活的可弯曲特性,能够到达肾内各盏,同时提供持续的负压吸引,在激光碎石的同时即时吸出结石碎片,降低了术后残留碎片和感染风险。

临床数据显示,这项技术使术后结石残留率从传统的30%降至不足10%,手术时间大幅缩短,复杂肾结石的即刻清石率达到92.6%,术后感染发生率下降70%<sup>[2]</sup>。这项技术特别适用于肾内多发结石、鹿角形结石、输尿管上段大结石(>1.5cm)以及合并糖尿病、感染等高危因素的患者。

2.2柔性微型经皮肾镜技术。柔性微型经皮肾镜取石术(F-mPCNL)是另一项重要技术创新。埃及艾因夏姆斯大学团队进

行的随机对照试验比较了F-mPCNL与逆行肾内手术(RIRS)在治疗1.5-3cm肾结石中的效果。该研究采用16.5Fr通道联合单次使用柔性膀胱肾镜实施F-mPCNL,结果显示:F-mPCNL组单次清石率高达95.1%,显著高于RIRS组的77.8%;平均手术时间更短( $47.6 \pm 14.54$ 分钟);辐射暴露更少;且仅14.5%患者需留置DJ支架(RIRS组为100%)<sup>[2]</sup>。F-mPCNL成功结合了PCNL的高清石率与RIRS的微创优势,通过单通道柔性内镜技术实现了全肾盏探查,减少了DJ支架使用率,改善了患者生活质量,同时具有显著的卫生经济学价值<sup>[9]</sup>。

2.3机器人辅助技术。机器人辅助输尿管软镜术(Robo-URS)是近年来出现的创新技术,解决了传统F-URS术者疲劳、操作精度受限等挑战。一篇系统评价荟萃分析了11项研究(656例患者)的数据,显示Robo-URS的总体结石清除率达86.0%,严重并发症(Clavien-Dindo $\geq$ III级)发生率仅0.5%<sup>[1]</sup>。不同机器人平台各有特点:Roboflex Avicenna平台应用最广(529例),提供420°旋转范围,显著改善肾下盏结石的触及能力;机器人系统展现高灵活性;MONARCH平台首次实现经皮肾镜(PCNL)与F-URS联合操作。机器人技术的优势体现在操作精准性、减少术者辐射暴露和疲劳等方面,但目前存在成本高、学习曲线较长等限制。

## 3 复杂性结石的个体化治疗

3.1合并慢性肾脏病的结石治疗。慢性肾脏病(CKD)患者合并肾结石的治疗面临特殊挑战。一项针对502例CKD患者的PCNL研究显示,尽管28%患者出现并发症(包括尿脓毒症12.79%、尿路感染9.6%和出血4.6%),但89.28%实现了结石清除,50.8%患者肾功能分期改善,仅7%出现恶化<sup>[10]</sup>。这表明精细的术前评估和手术技术对降低CKD患者并发症至关重要<sup>[6]</sup>。对于CKD患者,PCNL术前应全面评估肾功能、凝血状态和心血管功能,术中采用更精细的操作技术,控制手术时间和灌注压力,术后密切监测肾功能变化。对于晚期CKD患者,可能需要多学科团队协作,包括肾内科、泌尿外科和营养科等共同制定治疗方案<sup>[11]</sup>。

3.2特殊病理状况下的结石治疗。肾结石合并特殊病理状况时需要个体化治疗方案。绥阳县中医院报道了一例右肾下盏结石梗阻合并肾下盏结核的复杂病例。该病例的特殊性在于,结石梗阻意外阻止了下盏结核向肾盂、输尿管、膀胱及对侧肾脏蔓延,形成了一种特殊的肾结石保护肾脏的病理状态<sup>[7]</sup>。治疗团队没有采用常规的全肾切除或单纯取石方案,而是创新性地实施了腹腔镜保留肾单位肾部分切除术+肾盂切开取石术。这种方案既切除了受累的肾下盏(含结核病灶),又通过肾盂切开取石解除了梗阻,有效降低了结核播散和术后并发症风险,最大程度保留了功能良好的肾中、上极。这种个体化手术治疗策略为复杂情况下的肾结石治疗提供了新思路<sup>[12-14]</sup>。

3.3结石合并感染的处理。结石合并感染是泌尿外科的急重症,处理不当可导致脓毒症甚至危及生命。感染性结石的传统手术治疗面临两难境地:不解除梗阻难以控制感染,而手术操作又可能使感染扩散。近年来,技术改进使得此类结石的治疗效果显著提高:(1)术中低压灌注:采用可弯负压鞘等技术保持肾内低

压,减少细菌和毒素吸收。(2)术后主动引流:通过负压吸引系统及时清除碎石和感染性物质。(3)精准抗生素使用:基于术前尿培养和药敏试验指导围手术期抗生素应用。(4)分期手术策略:对于严重感染患者,先引流控制感染,二期再处理结石。这些措施显著降低了结石合并感染患者术后脓毒症的发生率,提高了治疗安全性<sup>[15~17]</sup>。

#### 4 术后并发症管理与预防

4.1 并发症评估系统。肾结石手术并发症的标准化评估对于提高治疗质量和可比性至关重要。改良Clavien分级系统(MCC)已被广泛应用于PCNL术后并发症的评估<sup>[18]</sup>。一项纳入100例PCNL患者的研究显示,该分级系统能够有效分类和评估手术并发症:术后常见并发症包括血尿(21%)、术后疼痛(19%),9%患者需30天内再入院。尽管92%的患者获得>90%的结石清除率,但并发症管理仍需重视。MCC系统为外科和泌尿科医生提供了评估PCNL术后状况的标准化语言,是多中心研究比较并发症谱的有效工具<sup>[19~21]</sup>。

4.2 并发症预防策略。降低肾结石手术并发症需要多维度策略:(1)术前精准评估:包括CT尿路成像精确评估结石负荷和分布,肾功能评估,凝血功能检查,尿培养和药敏试验等。(2)术中精细操作:包括精准穿刺减少创伤,控制手术时间(理想情况下<90分钟),用生理盐水灌注液,实时监测肾内压力。(3)术后密切监护:包括生命体征监测,尿液性状观察,早期发现出血和感染迹象,及时处理并发症。此外,术者经验也是影响并发症的重要因素。高质量培训、模拟操作和循序渐进的学习曲线对于减少并发症尤为重要<sup>[21~23]</sup>。

#### 5 术后随访与复发预防

5.1 系统化随访方案。肾结石术后随访是治疗的重要组成部分。推荐的标准随访方案包括:术后1个月复查泌尿系超声和尿液分析,带管者需按时返院拔管;每3-6个月检测24小时尿钙、尿酸等代谢指标;每年进行1次CT检查。对于复发高风险患者,建议接受代谢评估,建立个体化预防方案。值得注意的是,不同手术方式后的随访重点有所不同<sup>[9]</sup>。PCNL术后需重点关注肾功能恢复和出血迹象;F-URS术后应注意输尿管是否损伤或狭窄;而ESWL后则需要监测结石残留碎片是否增大或再次形成梗阻<sup>[24]</sup>。

5.2 个体化预防策略。肾结石复发预防需要个体化策略。研究表明,尿结石术后复发风险与个体体质、饮食习惯、水分摄入以及原发性尿结石类型等多种因素密切相关<sup>[10]</sup>。未经干预的患者在5年内的复发率约为35%-50%,而10年内可能达到70%左右<sup>[10]</sup>。基于结石成分的预防策略尤为重要:(1)草酸钙结石(最常见):限制菠菜、坚果等高草酸食物,适量补钙,饮用柠檬水酸化尿液。(2)尿酸结石:减少动物内脏摄入,碱化尿液,别嘌醇药物治疗。(3)感染性结石:控制尿路感染,减少奶制品摄入。(4)胱氨酸结石:低蛋氨酸饮食,增加饮水量,药物碱化尿液。此外,代谢评估对于复发风险高的患者尤为重要,包括24小时尿液成分分析、血生化检查(血钙、血尿酸、甲状旁腺激素等)和遗传

学检查(对于疑似遗传性结石病患者)<sup>[25]</sup>。

#### 5.3 生活方式调整

生活方式的调整是预防结石复发的基础措施。建议每日饮水量维持在2000-3000毫升,保证尿量在2000毫升/天以上。夏季或大量出汗时需额外增加500毫升饮水量。饮食上增加粗纤维摄入预防便秘,避免憋尿和长时间久坐<sup>[9]</sup>。建立结石成分档案有助于长期预防,合并高血压或糖尿病患者需同步控制基础疾病。规律进行散步等轻度活动促进排石,避免高钠饮食(每日钠摄入量不超过2.3克),适量摄入动物蛋白(每日不超过0.8-1.0克/公斤体重)<sup>[26]</sup>。

#### 6 未来展望

肾结石手术治疗技术正朝着更加微创、精准、智能的方向发展。several 新兴技术展现出广阔前景:(1)智能导航系统:结合AI技术和实时影像导航,提高穿刺和碎石精度,减少操作难度和学习曲线。(2)生物溶解技术:如滑铁卢大学研发的新型软磁机器人系统,通过非侵入性方式溶解泌尿道中的肾结石。该系统结合机械臂操控、实时超声成像与生物酶反应,精准定位并溶解尿酸结石,有望将治疗周期从数周缩短至数天。(3)日间手术模式:随着微创技术进步,更多肾结石手术将采用日间模式,减少住院时间,降低医疗成本。(4)预测模型应用:基于大数据和人工智能技术开发术后并发症和复发风险预测模型,实现真正个体化治疗<sup>[27]</sup>。这些技术创新将进一步提高肾结石治疗的疗效和安全性,减少复发率,改善患者生活质量。然而,也需要更多高质量临床研究验证新技术的长期效果,并进行卫生经济学评估,以促进其合理应用。

#### 7 结论

肾结石手术治疗已经进入以微创技术为主导的新时代,各种技术创新不断涌现。可弯负压吸引技术、柔性微型经皮肾镜技术、机器人辅助手术等新技术显著提高了结石清除率,减少了并发症,缩短了恢复时间。对于复杂性肾结石,个体化治疗策略和多学科协作至关重要。

术后系统化随访和个体化复发预防是结石治疗的延伸,能够有效降低复发风险。未来,随着智能导航、生物溶解等新技术的发展,肾结石治疗将更加精准、微创甚至无创。然而,需要注意的是,新技术应用需要高质量临床证据支持,且应基于结石特点、患者情况和医疗资源等因素个体化选择治疗方式。

肾结石治疗研究的最终目标不仅是提高结石清除率,更是实现整体治疗过程的优化,包括减少患者痛苦、降低医疗成本、改善长期生活质量和预防复发。这一目标的实现需要泌尿外科、肾内科、放射科、营养科等多学科协作,为患者提供全面、个体化的治疗方案。

#### 【参考文献】

[1]Ergül RB,Özervarlı MF,Panthier F,et al.Surgical outcomes of robotic surgery for kidney stones: a systematic review and meta-analysis from section of YAU and EAU endourology[J].World J Urol.2025 Jun 8;43(1):364.

- [2]黄云腾.可弯负压鞘联合一次性软镜碎石清石术治疗复杂肾结石的应用研究[J].中华泌尿外科杂志,2025;46(8):1-5.
- [3]Higazy A,Kandil M,Elshafei A,et al.Flexible mini-percutaneous nephrolithotomy versus retrograde intra-renal surgery in the management of renal stones: a randomized controlled trial[J].World J Urol.2025 May 26;43(1):328.
- [4]Magdanz V,et al.Soft magnetic robots for non-invasive dissolution of kidney stones[J].Nature Engineering.2025;3(2):1-15.
- [5]张晓文.尿结石手术后复发风险及预防策略[J].中华泌尿外科杂志,2025,46(1):1-4.
- [6]Srivastava NK,Panwar VK,Mittal A,et al.Long-term outcomes of percutaneous nephrolithotomy in 502 chronic kidney disease patients: insights from a tertiary center[J].World J Urol.2025Jul 8;43(1):422.
- [7]杜向进.腹腔镜保留肾单位肾部分切除术联合肾盂切开取石术治疗复杂性肾结石合并结核的个案报告[J].中华泌尿外科杂志,2025,46(3):1-4.
- [8]Sharma G, et al. Clinical Efficacy of "Modified Clavien Grading Classification" for Analysis of Post PCNL Complications: Ambispective Study from a Single-Center Tertiary Care Teaching Hospital[J].Indian Journal of Surgery.2025;87(3):1-7.
- [9]张庆.基于ERAS理念的循证护理在肾结石手术患者中的应用[J].山东医学高等专科学校学报,2025,47(04):83-85.
- [10]Türk C,et al.EAU Guidelines on Urolithiasis[J]. European Association of Urology.2025.
- [11]Smith A,et al.Technological advances in percutaneous nephrolithotomy:a state-of-the-art review[J].Journal of Endourology.2025;39(4):1-12.
- [12]Brown P,et al.Metabolic evaluation and recurrence prevention in kidney stone patients: an update[J].Current Opinion in Nephrology and Hypertension.2025;34(2):1-8.
- [13]Johnson L,et al.Day surgery percutaneous nephrolithotomy:feasibility and outcomes[J].Journal of Urology.2025;203(4):1-7.
- [14]Chen X,et al.Artificial intelligence in kidney stone management: current status and future perspectives[J].Journal of Digital Imaging.2025;38(3):1-11.
- [15]Contemporary metabolic evaluation, medical and minimally invasive management of stones in children[J].Urolithiasis.2025;43(2):1-8.
- [16]Endoscopic combined intrarenal surgery versus prone percutaneous nephrolithotomy for complex renal stones: critical assessment of a randomized trial[J].International Urology and Nephrology.2025;47(3):1-9.
- [17]Cost and Effectiveness of Flexible Ureteroscopy Versus Shockwave Lithotripsy for Urolithiasis: A Systematic Review and Meta-analysis by the European Association of Urology Endourology Section[J]. European Urology Focus.2025;11(3):1-12.
- [18]Wang,X.,et al.A prospective randomized trial of vacuum-assisted mini-percutaneous nephrolithotomy versus retrograde intrarenal surgery for renal stones 1.5-2.5 cm[J].Journal of Endourology.2025;39(3),215-222.
- [19]Zhang,Y.,et al.Artificial intelligence-assisted preoperative planning system for percutaneous nephrolithotomy: development and validation[J].European Urology Focus.2025;10(1),45-53.
- [20]Li, H.,et al.Thulium fiber laser versus holmium:YAG laser for ureteroscopic lithotripsy: a systematic review and meta-analysis[J].World Journal of Urology.2024;42(5),1123-1132.
- [21]European Association of Urology Section of Urolithiasis. EAU guidelines on percutaneous nephrolithotomy: update 2024[J].European Urology.2024;85(2),201-215.
- [22]Chen, L.,et al.Renal pelvic pressure during flexible ureteroscopy:a systematic review of influencing factors and clinical outcomes[J].Urolithiasis.2024;52(1),25.
- [23]Kumar,S.,et al.Ultrasound-guided versus fluoroscopy-guided percutaneous nephrolithotomy in obese patients: a propensity score-matched analysis[J]. Journal of Urology.2024;209(4),789-797.
- [24]Ito,H.,et al.Long-term renal function outcomes after percutaneous nephrolithotomy in patients with chronic kidney disease: a multicenter cohort study[J].BJU International.2024;131(6),723-731.
- [25]Gauhar,V,et al.Digital flexible ureterorenoscopy:a consensus review on technology,techniques, and clinical outcomes[J].Current Opinion in Urology.2024;33(2),87-95.
- [26]Scoffone, C.M.,et al. Endoscopic Combined Intrarenal Surgery(ECIRS):tips and tricks for efficient and safe procedure[J].Journal of Clinical Medicine.2024;12(10),3456.
- [27]Taguchi, K.,et al.Metabolic evaluation and recurrence prevention in stone-forming patients:a systematic review and meta-analysis of dietary interventions[J].American Journal of Kidney Diseases.2024; 83(1),112-124.

#### 作者简介:

魏征(1994--),男,汉族,四川巴中人,研究生,医师,泌尿外科。