

基于解剖学特征的肾下盏结石个体化诊疗策略研究进展

熊 锦¹, 洪 涛^{2*}

¹绍兴文理学院医学院, 浙江 绍兴

²浙江省台州医院泌尿外科, 浙江 绍兴

收稿日期: 2025年12月21日; 录用日期: 2026年1月16日; 发布日期: 2026年1月26日

摘 要

肾下盏结石因其解剖位置特殊(肾下盏漏斗部与肾盂夹角小、尿液引流不畅), 临床治疗存在争议。随着影像学技术如计算机断层扫描尿路成像(Computed Tomography Urography, CTU)、三维超声及微创手术器械的进步, 其诊断与治疗策略近年取得显著进展。本文综述肾下盏结石的流行病学特征、病因机制、诊断技术及治疗策略, 重点探讨手术方式选择(体外冲击波碎石术、经皮肾镜取石术、输尿管软镜手术)的适应证与疗效差异。流行病学显示, 肾下盏结石占肾结石的35%~40%, 其形成与代谢综合征、糖尿病及肥胖密切相关。诊断方面, CT尿路成像已成为金标准, 而人工智能辅助诊断系统可提高结石检出率。治疗策略需结合结石负荷、解剖特点及患者全身状况: 体外冲击波碎石术适用于直径 ≤ 2 cm 结石, 但清除率受解剖参数影响; 经皮肾镜取石术对复杂结石清除率高, 但并发症风险需关注; 输尿管软镜手术在 ≤ 3 cm 结石中住院时间更短。未来需进一步探索个体化治疗算法, 并纳入基因多态性、尿液代谢组学等生物标志物优化决策。本研究为临床医师提供基于循证医学的诊疗参考, 推动肾下盏结石管理向精准化发展。

关键词

肾下盏结石, 计算机断层扫描尿路成像, 三维超声, 冲击波碎石术, 经皮肾镜取石术, 输尿管软镜手术

Progress in Research on Individualized Diagnosis and Treatment Strategies for Lower Calyx Kidney Stones Based on Anatomical Features

Jin Xiong¹, Tao Hong^{2*}

*通讯作者。

文章引用: 熊锦, 洪涛. 基于解剖学特征的肾下盏结石个体化诊疗策略研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(1): 2556-2564. DOI: 10.12677/acm.2026.161316

¹School of Medicine, Shaoxing University, Shaoxing Zhejiang²Department of Urology, Taizhou Hospital, Shaoxing Zhejiang

Received: December 21, 2025; accepted: January 16, 2026; published: January 26, 2026

Abstract

Lower calyx kidney stones pose clinical treatment challenges due to their specific anatomical location (narrow infundibulum-pelvic angle and poor urine drainage). With advancements in imaging technologies such as Computed Tomography Urography (CTU), three-dimensional ultrasonography, and minimally invasive surgical instruments, significant progress has been made in the diagnosis and treatment strategies in recent years. This paper reviews the epidemiological characteristics, etiological mechanisms, diagnostic techniques, and treatment strategies for lower calyx kidney stones, with a focus on the selection of surgical methods (extracorporeal shock wave lithotripsy, percutaneous nephrolithotomy, and ureteroscopic surgery) and the differences in their indications and efficacy. Epidemiological data show that lower calyx stones account for 35%~40% of kidney stones, and their formation is closely associated with metabolic syndrome, diabetes, and obesity. In terms of diagnosis, CTU has become the gold standard, while AI-assisted diagnostic systems can improve stone detection rates. Treatment strategies should consider stone burden, anatomical characteristics, and overall patient condition: Extracorporeal shock wave lithotripsy is suitable for stones ≤ 2 cm in diameter, although clearance rates are influenced by anatomical parameters; percutaneous nephrolithotomy has a high clearance rate for complex stones but carries a risk of complications; ureteroscopic surgery offers shorter hospitalization for stones ≤ 3 cm. Future research should further explore individualized treatment algorithms and incorporate biomarkers such as genetic polymorphisms and urinary metabolomics to optimize decision-making. This study provides clinical physicians with evidence-based diagnostic and treatment references and promotes precision management of lower calyx kidney stones.

Keywords

Lower Calyx Kidney Stones, Computed Tomography Urography, Three-Dimensional Ultrasonography, Shock Wave Lithotripsy, Percutaneous Nephrolithotomy, Ureteroscopic Surgery

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

1. 引言

肾下盏结石是泌尿系结石中的常见类型, 约占所有肾结石的 35%~40%, 因其特殊的解剖位置(如肾下盏漏斗部与肾盂夹角通常 $<90^\circ$ 、漏斗部狭长等)导致尿液引流不畅、结石易滞留, 临床处理较为棘手[1]。近年来, 随着全球生活方式和饮食结构的改变, 肾结石的总体患病率呈上升趋势。据统计, 2020~2025 年, 全球肾结石患病率预计将从 15.2%增长至 18.3%, 其中女性患者比例显著增加, 可能与肥胖和代谢性疾病流行有关[2]。肾下盏结石的形成与多种代谢异常密切相关, 包括糖尿病、肥胖及代谢综合征等, 该类患者发生结石的风险较普通人群高出 60%以上[3]。

在诊断方面, 计算机断层扫描尿路成像(Computed Tomography Urography, CTU)因其极高的敏感度(98%)与特异度(96%)已成为术前评估的金标准, 可精确显示结石大小、位置及肾下盏解剖结构, 为治疗

策略的制定提供关键依据[4]。此外, 三维超声等新成像技术能够量化肾下盏关键解剖参数(如漏斗部长宽、夹角等), 进一步辅助个体化手术规划[5]。在临床治疗方面, 微创技术如体外冲击波碎石术(Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy, ESWL)、经皮肾镜取石术(Percutaneous Nephrolithotomy, PCNL)和输尿管软镜手术(Flexible Ureterscopy, FURS)已经成为主流, 但其疗效深受结石负荷与局部解剖的影响。尽管目前已有的相关指南推荐如何根据解剖特征与患者具体情况选择最优疗法仍存争议, 但是缺乏高级别循证依据。因此, 本研究旨在系统性综述肾下盏结石的流行病学背景、诊断进展及治疗策略, 重点结合肾下盏解剖参数和患者代谢特征, 探讨个体化手术方案选择的优化路径, 以提升结石清除率、降低并发症, 推动其临床管理向精准医学模式转变。

2. 流行病学特征与危险因素

2.1. 全球及地区性流行病学特征

肾结石是全球范围内常见的泌尿系统疾病, 肾下盏结石约占全部肾结石病例的 35%~40% [2]。近年来, 其患病率呈显著上升趋势。全球疾病负担(Global Burden of Disease, GBD)相关研究显示 2021 年全球尿石症年龄标准化发病率为 1242.84/10 万, 较 1990 年下降 0.87%, 且男性发病率普遍高于女性(性别比 2.07), 其中东欧地区发病率最高(3557.08/10 万), 而中国年龄标准化发病率(964.70/10 万)显著低于全球水平且下降速度更快[6]。一项中国的多中心横断面研究报道症状性肾结石的总体患病率约为 6.4%, 其中肾下盏结石占比居高, 而且农村地区的发病率增长速度快于城市[7]。此外, 肾下盏结石的发病存在明显的性别与年龄差异, 中年男性为高发人群, 但近年女性患病率增速明显, 可能与肥胖、饮食习惯改变及代谢综合征流行密切相关[3]。

2.2. 代谢异常与结石形成

代谢异常是肾下盏结石形成的重要促进因素。多项研究证实, 肥胖(体质指数 $BMI \geq 30 \text{ kg/m}^2$)、2 型糖尿病(Type 2 Diabetes Mellitus, T2DM)及代谢综合征(Metabolic Syndrome, MetS)显著增加结石发生风险[8]。胰岛素抵抗及高胰岛素血症可促进尿钙排泄增加和尿酸化能力下降, 从而形成有利于草酸钙结晶析出的尿液环境[9]。此外, 高尿酸血症不仅是尿酸结石的直接病因, 也可通过促进尿路结晶和炎症反应加剧草酸钙结石的形成[10]。近年来, 脂代谢紊乱与肾结石的关联也受到广泛关注。研究发现高甘油三酯血症及低高密度脂蛋白胆固醇(High-Density Lipoprotein Cholesterol, HDL-C)血症是结石形成的独立危险因素, 可能与其引发的氧化应激和炎症状态有关[11]。

2.3. 遗传易感性及环境交互作用

肾下盏结石的发生是遗传易感性和环境暴露共同作用的结果。全基因组关联研究(Genome-Wide Association Study, GWAS)已识别出多个与肾结石风险相关的基因位点, 例如维生素 D 受体(Vitamin D Receptor, VDR)、钙感受受体(Calcium-Sensing Receptor, CASR)及成纤维细胞生长因子 23 (Fibroblast Growth Factor 23, FGF23)基因等[12]。这些基因的多态性可影响钙、磷和草酸的代谢平衡, 显著增加个体结石形成倾向。值得注意的是, 遗传背景并非独立起作用, 其效应常与环境因素(如高钠、高动物蛋白饮食)存在交互作用。研究表明高钠饮食与 CASR 基因特定变异协同作用, 可显著提升肾结石风险[13]。此外, 低液体摄入量、高温工作环境及慢性脱水状态也被证实是重要的环境促石因素[14]。因此, 肾下盏结石的预防策略需兼顾遗传风险评估与环境行为干预, 以期实现更精准的一级预防。

3. 肾下盏结石多模态诊断技术体系构建

肾下盏结石因其解剖位置的特殊性, 其诊断需要结合多种技术手段以提高准确性和治疗决策的科学

性。近年来,随着影像学、分子生物学及人工智能技术的快速发展,肾下盏结石的多模态诊断技术体系逐渐完善,为临床提供了更为全面和精准的诊断手段。

3.1. 传统影像学诊断技术

传统影像学诊断技术在肾下盏结石的诊断中占据核心地位。CTU 凭借其高敏感度(98%)和高特异度(96%),已经成为肾下盏结石诊断的金标准,其诊断效能显著优于传统影像学检查方法[15]。CTU 不仅能清晰显示结石的位置、大小和数量,还能评估肾积水程度及尿路解剖结构,为手术方案的选择提供重要依据。一项基于大规模临床数据的研究表明 CTU 在肾下盏结石诊断中的准确性显著高于静脉尿路造影(Intravenous Urography, IVU),尤其在微小结石和复杂解剖结构的识别上具有明显优势[16]。三维超声技术通过量化肾下盏的解剖参数,如漏斗部长度、宽度和夹角,为手术决策提供了更为精细的解剖学信息。研究表明,肾下盏漏斗部夹角小于 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 时,结石自然排出率降低且治疗难度增加,三维超声可准确量化这一关键解剖参数,为临床决策提供有力支持[17]。三维超声能够准确测量这些参数,帮助医生评估手术风险并制定个体化治疗方案[18]。此外,三维超声还具有无创、可重复性强等优点,适用于结石的长期随访和疗效评估,在肾下盏结石的全程管理中发挥着重要作用。

3.2. 分子生物学检测技术

分子生物学检测技术的进步推动了肾下盏结石管理从基于人群统计的普适性策略向融合个体解剖特点、结石理化性质以及分子特征的精准诊疗模式发展。尿液代谢组学和药物基因组学通过构建检测、分型和干预的转化路径,为肾结石的个体化精准管理提供了关键工具。

3.2.1. 基于尿液代谢组学的病因分型与靶向治疗

尿液代谢组学通过高通量分析尿液中的小分子代谢物能够系统性揭示个体的代谢特征谱。不仅有助于评估结石形成风险,更能依据特异的代谢紊乱模式进行病因分型,为靶向治疗提供直接依据。如虽同为草酸钙结石,但其代谢背景存在本质的差异。部分患者表现为低枸橼酸尿症合并高钙尿症,提示肾小管酸中毒等潜在病因;另一部分表现为高草酸尿症伴特定肠道菌群代谢物异常,提示肠道吸收功能紊乱[19]。精细分型促使预防策略从普适性经验用药转向精准干预。低枸橼酸尿症患者的核心疗法是补充碱性枸橼酸盐(如枸橼酸钾),剂量可根据尿枸橼酸基线水平及动态监测结果进行个体化调整[19]。高草酸尿症患者则需要针对性地限制膳食草酸摄入、随餐补充钙剂以结合肠腔草酸或者尝试应用益生菌调节肠道菌群[20]。研究证实基于代谢表型指导的干预在纠正尿液生化异常和降低结石复发率方面均优于标准化经验治疗[21]。代谢组学通过阐明结石形成的特异性分子通路,推动了诊疗模式从传统的成分分析向基于病因的个体化管理的发展跨越[14]。然而,其临床广泛应用仍然需要检测流程的标准化、分析成本的降低以及更多大型前瞻性研究对分型和干预策略的有效性与价值进行验证。

3.2.2. 基因组学与药物基因组学指导的精准预防

遗传学研究已从疾病易感基因的鉴定发展为药物基因组学,即通过分析基因变异来预测个体对药物的反应差异,从而指导个体化的预防策略。钙感受受体(Calcium-Sensing Receptor, CASR)基因的单核苷酸多态性(如 rs1801725)可能影响肾脏钙重吸收及对噻嗪类利尿剂的降尿钙反应,筛查该位点有助于优化该类一线预防药物的使用[14]。参与尿酸转运的溶质载体家族 2 成员 9 (Solute Carrier Family 2 Member 9, SLC2A9)基因变异与尿酸排泄及别嘌醇的疗效差异相关,可以辅助指导降尿酸治疗[22]。此外,维生素 D 受体(Vitamin D Receptor, VDR)基因多态性(如 FokI)与维生素 D 代谢活性相关,评估其状态有助于补充钙剂或维生素 D,评估诱发高尿钙的潜在风险[23]。整合多个位点的多基因风险评分(Polygenic Risk Score,

PRS)有望在临床症状出现前识别高危个体, 指导早期干预。药物基因组学通过解析遗传信息能解释患者对标准疗法反应各异的现象, 为根据遗传特征制定个体化的治疗决策提供科学依据。通过评估相关基因型, 临床医生能更精准地预测药物反应, 优化方案、提升预防效率并减少无效治疗。

4. 治疗策略与手术方式优化

肾下盏结石的治疗策略需综合考虑结石大小、位置、肾下盏解剖结构、患者全身状况及医疗资源可及性。目前主流微创治疗方式包括 ESWL、PCNL 和 FURS, 各有其适应证与局限性。近年来, 随着手术器械与影像导航技术的进步, 个体化与多模态联合治疗策略逐渐成为趋势。

4.1. 体外冲击波碎石术

ESWL 因其非侵入性、门诊可操作等优势, 仍是治疗肾下盏小结石(直径 ≤ 2 cm)的首选方式之一[24]。然而, 其疗效高度依赖肾下盏解剖结构。研究表明, 当肾下盏漏斗部宽度 > 5 mm、长度 < 3 cm、夹角 $> 30^\circ$ 时, ESWL 后的结石清除率(Stone-Free Rate, SFR)可达 70%以上; 反之, 若解剖条件不佳, SFR 可降至 40%以下[25]。近年来, 低剂量 CT 与实时超声融合导航技术的应用显著提高了 ESWL 的精准度, 减少了周围组织损伤[5]。此外, 联合物理振动排石(External Physical Vibration Lithocbole, EPVL)等辅助技术可进一步提升排石效果。研究显示, ESWL 联合 EPVL 治疗肾下盏结石的 SFR 可达 83.3%, 显著高于单纯 ESWL 组的 56.7% [5]。然而, ESWL 仍存在重复治疗率高(约 30%~40%)和可能引起肾周血肿等局限性, 因此适用于解剖条件良好、无肥胖或出血倾向的患者[5]。

4.2. 经皮肾镜取石术

PCNL 是处理复杂性肾下盏结石(直径 > 2 cm、多发结石或 ESWL 失败病例)的金标准术式, 其优势在于高 SFR (可达 85%~95%), 尤其适用于漏斗部狭窄或角度锐利的患者[26]。近年来, 微通道经皮肾镜取石术(Mini-Percutaneous Nephrolithotomy, Mini-PCNL)与超微通道经皮肾镜取石术(Supermini Percutaneous Nephrolithotomy, SMP)的发展显著降低了手术创伤与出血风险。一项对比研究显示 SMP 在治疗 < 2 cm 肾下盏结石时, 其手术时间、术中出血量及住院时间均优于 FURS, 且术后 1 个月 SFR 可达 95.45% [26]。此外, 术中联合超声或电磁导航可提高穿刺准确性, 减少集合系统损伤。然而, PCNL 仍存在出血、感染、胸腹腔脏器损伤等风险, 因此需严格掌握适应证, 并由经验丰富的医师操作。

4.3. 输尿管软镜手术

FURS 凭借其高灵活性、低创伤性, 在肾下盏结石治疗中日益重要, 尤其适用于直径 1~2 cm 的结石[27]。新一代高弯曲度软镜(如 270° 高弯曲力软镜)与高功率钬激光的应用, 显著提高了碎石效率与手术安全性, 甚至能够处理一些经皮肾镜难以触及的隐蔽性结石[28]。研究表明, FURS 治疗肾下盏结石的 SFR 可达 78.5% [26]。值得注意的是, 肾下盏的解剖结构, 如较小的肾盂肾盏夹角(Caliceal Pelvic Angle, CPA $< 57.8^\circ$), 可能会对输尿管软镜到达结石所在位置并成功碎石产生不利影响[26]。对于因解剖因素导致软镜难以原位碎石的病例, 可采用结石移位技术(Lithotripsy Dusting and Stone Relocation Technique, DRST), 将结石移位至更易于操作的中上盏再进行粉碎, 有望提高清石效率[27]。此外, 术中应用阻石网篮与负压吸引系统进一步降低了结石残留率与感染风险[28]。

4.4. 联合治疗策略

针对解剖复杂或结石负荷较大的肾结石, 联合治疗策略通过整合不同微创技术的优势, 成为提升 SFR 并降低创伤的关键。其中, FURS 常作为 ESWL 后有效的补救性治疗。系统评价与荟萃分析证实对于直

径 $< 2\text{ cm}$ 的儿童肾结石, FURS 的结石清除率显著高于 ESWL (相对风险 $RR = 1.29$, 95% CI: 1.13~1.48) [29]。对于更大、更复杂的结石, PCNL 联合 FURS 的“双镜”方案显示出重要价值。研究显示负压组合式输尿管镜联合 FURS 治疗 2~4 cm 结石, 其术后疼痛评分与住院时间均优于传统 PCNL, 而且结石清除率相当[30]。最新证据亦表明, 对于下极肾结石, PCNL 的 SFR 相较 FURS 仍具有边际但显著的优势($RR = 1.07$, 95% CI: 1.01, 1.12) [31]。未来, 随着超声引导等精准技术的发展, 联合治疗的个体化与微创化水平将进一步提升。

5. 人工智能在肾下盏结石精准诊疗中的应用

随着医疗大数据与计算技术的快速发展, 人工智能(Artificial Intelligence, AI)中的机器学习与深度学习等关键技术对肾下盏结石的诊疗范式产生深刻的影响。AI 技术已经融入肾下盏结石诊疗的全流程, 涵盖从基于高精度医学影像的精准诊断到依据患者个体特征制定的个性化治疗决策, 再到对患者预后情况的动态监测与管理等多个关键环节, 为构建基于解剖结构特征以及多组学数据特征的真正个体化医疗模式, 提供强大的技术支撑。

5.1. 影像识别与解剖参数自动测量

AI 在医学影像分析中的应用已经进入了对复杂解剖结构进行精准量化评估的新阶段。基于卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)的深度学习模型在低剂量 CT 以及三维超声影像中自动识别、分割肾下盏结石的准确率与敏感度(均 $>95\%$), 能显著提升微小结石和阴性结石的检出率[32]。AI 能够实现关键解剖参数的全自动、高重复性测量, 如肾下盏漏斗部长度与宽度、肾盂下盏角及肾盂肾盏夹角等。AI 自动测量的结果与人工金标准测量具有高度一致性(组内相关系数 $ICC > 0.85$), 而且其效率更高[33], 为临床研究和实践提供了客观、可复现的标准化解剖数据。目前, 其应用面临的核心挑战为数据标准化与模型泛化能力。不同医疗机构影像设备的参数、扫描协议存在差异, 对解剖标志点的标注缺乏统一的标准, 导致在一个中心训练的模型迁移至其他中心时性能可能会显著下降。此外, 大多数模型仍然需要在高质量的对照增强 CT 图像上运行, 对普及更广的非增强 CT 或超声图像的适用性有待提高。未来, 构建多中心、标准化的高质量影像数据库, 开发对扫描参数变化更具鲁棒性的算法。同时, 探索多模态影像融合 AI, 如将 CT 的精确结构与超声的实时动态信息相结合, 有望在术中提供更丰富的导航信息。

5.2. 术式选择预测模型的构建与应用

基于多维度临床数据所构建的机器学习预测模型, 大量的临床验证与数据分析显示其能有效辅助制定个体化手术方案。通过集成结石特征(大小、密度、位置)、肾下盏解剖参数(肾盂下盏角、漏斗部狭窄程度)以及患者的基本情况(体质指数、合并症等), 集成学习算法如 LightGBM、随机森林能够预测不同术式(ESWL、FURS、PCNL)后的结石清除率(Stone-Free Rate, SFR)和主要并发症风险。有模型指出对于结石负荷 $> 1.8\text{ cm}$, 肾盂漏斗夹角(Infundibulopelvic Angle, IPA) $< 35^\circ$ 的患者, PCNL 相较于 FURS 可能带来更高的 SFR [33]。这类模型向前瞻性临床决策支持系统发展, 能为临床医生提供更好的实时、量化的治疗建议。目前, 其主要挑战为模型的临床可解释性与决策权归属。模型预测基于历史数据, 可能存在无法涵盖所有罕见情况或最新进展。应该考虑在实际应用中如何融合 AI 建议与医生的临床经验。未来的研究将侧重于开发可解释性 AI 模型, 如利用机器学习模型的可解释性工具(SHapley Additive exPlanations, SHAP)值直观展示各个特征对预测结果的贡献度。此外, 开展更多前瞻性随机对照试验比较“AI 辅助决策”与“传统经验决策”在临床结局、卫生经济学指标上的差异, 是验证其临床效用、推动指南采纳的重要路径。

5.3. 手术风险评估与预后判断

AI 在围手术期风险分层与长期预后管理中的应用日益深入。术前通过分析实验室指标(如白细胞计数、C 反应蛋白)、影像学特征以及患者共病, AI 模型可已有效预测 PCNL 术后大出血、FURS 术后尿源性脓毒症等严重并发症的风险, 有助于预防性干预[32]。预后判断方面, 基于长期随访数据构建的生存分析或复发预测模型能够识别结石复发的高危个体。已有研究尝试整合尿液代谢组学图谱与影像解剖参数, 利用神经网络预测患者 2 年内的复发风险, 结果显示出较高的预测效能, 曲线下面积(Area Under Curve, AUC)达 0.82 [21] [32]。构建可靠的预后模型需要大规模、长期、且随访信息完整的队列数据, 此类数据获取的成本高、难度大。同时, 模型预测的复发风险如何转化为患者能理解、可执行的个性化预防方案(如具体的饮食、药物调整等), 目前仍有待探究。未来需要构建长期的患者数字健康档案与动态风险预警系统。通过连续收集患者的影像、代谢、生活方式等时序数据, AI 能动态更新其风险等级, 提供个性化的监测与预防建议。再结合可穿戴设备数据, AI 有望实现结石形成早期趋势的预警。通过与分子标志物研究的深度融合, AI 模型将助力实现从“预测复发”到“精准预防”的跨越, 涵盖疾病复发预测、预防策略制定、效果动态评估等环节的完整诊疗流程体系。

6. 讨论与展望

本研究系统性综述了基于解剖学特征的肾下盏结石个体化诊疗策略进展包括流行病学、诊断及治疗三方面。目前, 实现个体化治疗仍然面临挑战, 特别是对于直径 1~2 cm 而且伴有肾下盏不利解剖结构(如 IPA < 30°)的结石。针对此类不利解剖、中等负荷的复合亚型, 临床上面临输尿管软镜粉末化碎石与经皮肾镜取石术一步清石的选择困境, 两种策略的优劣对比缺乏高级别循证医学证据的支持。现有的指南多基于结石大小的单一维度, 缺乏该特定复合亚型的前瞻性随机对照试验证据。影像学测量的解剖参数(如 IPA、漏斗部长宽)指导临床决策的阈值尚未统一, 而且未与结石硬度、患者代谢特征等进行有效的整合。未来, 开展针对 1~2 cm 合并不利解剖肾下盏结石的特定亚型的多中心、前瞻性随机对照试验, 以术后无辅助 SFR 为主要终点, 直接比较 FURS 与 PCNL 的疗效与安全性。通过构建前瞻性队列并外部验证整合了影像解剖、结石理化特性及患者代谢特征等多维度数据的预测模型, 实现个体化的预后评估。采用阶梯楔形整群随机试验设计, 在临床中心分阶段引入整合模型的人工智能临床决策支持系统, 客观评估其对提升诊疗规范性、减少实践差异及改善患者预后的实际效果, 推动其有效转化。

参考文献

- [1] Luo, D., Xu, Z., Ding, T., Liu, Y. and Li, J. (2025) Paired Analysis of Flexible and Navigable Suction Ureteral Access Sheath Vs. Conventional Ureteral Access Sheath, Both Combined with Needle-Perc Assisted Endoscopic Surgery, for the Treatment of < 2 cm Lower Calyceal Stones with Unfavorable Anatomy. *Frontiers in Surgery*, **12**, Article 1586882. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2025.1586882>
- [2] Sorokin, I., Mamoulakis, C., Miyazawa, K., et al. (2022) Epidemiology of Stone Disease across the World. *World Journal of Urology*, **40**, 1127-1136.
- [3] Kittanamongkolchai, W., Mara, K.C., Mehta, R.A., et al. (2022) Risk of Hypertension among First-Time Symptomatic Kidney Stone Formers. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, **17**, 1073-1081.
- [4] Türk, C., Petřík, A., Sarica, K., et al. (2023) EAU Guidelines on Diagnosis and Conservative Management of Urolithiasis. *European Urology*, **83**, 234-242.
- [5] 孙海鹏, 沈善林, 陈洪延, 等. 体外冲击波碎石术联合物理振动排石治疗肾下盏结石的临床研究[J]. 重庆医学, 2023, 52(16): 2448-2452.
- [6] Zheng, J., Zhang, Q., Zhang, J., Yao, Y., Chen, L., Liu, Y., et al. (2025) Trends and Sex Disparities in the Burden of Urolithiasis in 204 Countries and Territories, 1990-2021. *Chinese Medical Journal*, **138**, 1973-1983. <https://doi.org/10.1097/cm9.0000000000003622>

- [7] 曾国华, 麦赞林, 夏术阶, 等. 中国成年人群尿石症患病率横断面调查[J]. 中华泌尿外科杂志, 2015, 36(7): 528-532.
- [8] Ludwig, W.W., Daignault-Newton, S., Sivalingam, S., *et al.* (2023) The Metabolic Syndrome and Its Components Are Associated with Incident Kidney Stones. *Urology*, **175**, 66-72.
- [9] 姚湘洋. SIRT1 通过代谢调控草酸钙结晶诱导的肾小管上皮细胞损伤的机制研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2022.
- [10] Beeko, R., Schneeberger, W., Hesse, A. and Vahlensieck, W. (1985) The Significance of Hyperuricemia and Hyperuricosuria in Calcium Oxalate Stone Formers. In: Schwille, P.O., Smith, L.H., Robertson, W.G. and Vahlensieck, W., Eds., *Urolithiasis and Related Clinical Research*, Springer US, 351-353. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7272-1_73
- [11] Ding, Q., Ouyang, J., Fan, B., Cao, C., Fan, Z., Ding, L., *et al.* (2019) Association between Dyslipidemia and Nephrolithiasis Risk in a Chinese Population. *Urologia Internationalis*, **103**, 156-165. <https://doi.org/10.1159/000496208>
- [12] Howles, S.A. and Thakker, R.V. (2020) Genetics of Kidney Stone Disease. *Nature Reviews Urology*, **17**, 407-421. <https://doi.org/10.1038/s41585-020-0332-x>
- [13] Palsson, R., Indridason, O.S., Edvardsson, V.O. and Oddsson, A. (2018) Genetics of Common Complex Kidney Stone Disease: Insights from Genome-Wide Association Studies. *Urolithiasis*, **47**, 11-21. <https://doi.org/10.1007/s00240-018-1094-2>
- [14] Ferraro, P.M., Bargagli, M., Trinchieri, A., *et al.* (2023) Risk of Kidney Stones: Influence of Dietary Factors, Dietary Patterns, and Vegetarian-Vegan Diets. *Nutrients*, **15**, Article No. 363.
- [15] Assimos, D., Krambeck, A., Miller, N.L., Monga, M., Murad, M.H., Nelson, C.P., *et al.* (2016) Surgical Management of Stones: American Urological Association/Endourological Society Guideline, PART I. *Journal of Urology*, **196**, 1153-1160. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2016.05.090>
- [16] Alrwaili, A. (2019) A Non-Contrast Computed Tomography and Intravenous Urography Interrogation in Patients with Renal Colic at Hospitals. *SM Journal of Clinical Medicine*, **4**, Article 1036.
- [17] Skolarikos, A., Geraghty, R., Somani, B., Tailly, T., Jung, H., Neisius, A., *et al.* (2025) European Association of Urology Guidelines on the Diagnosis and Treatment of Urolithiasis. *European Urology*, **88**, 64-75. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2025.03.011>
- [18] Türk, C., Petřík, A. and Neisius, A. (2021) Ureteral Stones: Shockwave Lithotripsy or Ureterscopy, Which Is Best? *European Urology*, **80**, 55-56. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2021.03.029>
- [19] Kowalczyk, N.S., Prochaska, M.L. and Worcester, E.M. (2023) Metabolomic Profiles and Pathogenesis of Nephrolithiasis. *Current Opinion in Nephrology & Hypertension*, **32**, 490-495. <https://doi.org/10.1097/mnh.0000000000000903>
- [20] Hanstock, S., Chew, B. and Lange, D. (2024) The Role of the Gut Microbiome in Kidney Stone Disease. *Urologic Clinics of North America*, **51**, 475-482. <https://doi.org/10.1016/j.ucl.2024.06.003>
- [21] Skolarikos, A., Somani, B., Neisius, A., Jung, H., Petřík, A., Tailly, T., *et al.* (2024) Metabolic Evaluation and Recurrence Prevention for Urinary Stone Patients: An EAU Guidelines Update. *European Urology*, **86**, 343-363. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2024.05.029>
- [22] Wu, S., Li, C., Li, Y., Liu, J., Rong, C., Pei, H., *et al.* (2024) SLC2A9 RS16890979 Reduces Uric Acid Absorption by Kidney Organoids. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, **11**, Article 1268226. <https://doi.org/10.3389/fcell.2023.1268226>
- [23] Xu, N., Yang, M., Liu, J. and Li, X. (2022) Association of Vitamin D Receptor Genetic Polymorphisms with Nephrolithiasis and End-Stage Renal Disease: A Meta-Analysis. *Transplantation Proceedings*, **54**, 1773-1780. <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2022.04.022>
- [24] Patel, N., Stephenson-Smith, B., Roberts, J. and Kothari, A. (2023) Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy: Prematurely Falling Out of Favour? A 7 Year Retrospective Study from an Australian High-Volume Centre. *BJUI Compass*, **5**, 460-465. <https://doi.org/10.1002/bco2.314>
- [25] 谢飞. 基于三维重建技术的肾下盏解剖对输尿管软镜钬激光碎石术治疗肾下盏结石的影响的前瞻性观察性研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 中国人民解放军海军军医大学, 2022.
- [26] 刘付国琛. 输尿管软镜碎石术和经皮超微肾镜碎石术治疗肾下盏结石疗效及安全性[J]. 泌尿外科杂志(电子版), 2021, 13(4): 45-47.
- [27] 浦静洁, 蒋民军, 陈建春, 等. 结石移位技术在输尿管软镜治疗肾下盏结石中的应用研究[J]. 临床泌尿外科杂志, 2025, 40(5): 425-429.
- [28] 刘耀雷, 刘建, 王同庆, 等. 可弯曲负压吸引鞘联合输尿管软镜治疗肾下盏结石临床分析[J]. 临床泌尿外科杂志, 2025, 40(7): 652-655.
- [29] Geraghty, R., Lombardo, R., Yuan, C., Davis, N., Tzelves, L., Petrik, A., *et al.* (2023) Outcomes of Flexible Ureterscopy

-
- vs Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy for Renal Stones in Pediatric Patients: A European Association of Urology Urolithiasis Guidelines Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Urology*, **210**, 876-887. <https://doi.org/10.1097/ju.0000000000003696>
- [30] 蔡嘉辉, 农光任, 李鸿海, 等. 双镜联合治疗肾结石或输尿管上段结石的疗效分析[J]. 中国现代医生, 2024, 62(32): 34-37, 81.
- [31] MacLennan, S., Wiseman, O., Smith, D., Starr, K., Aucott, L., Hernández, R., *et al.* (2025) Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy, Flexible Ureterorenoscopy, and Percutaneous Nephrolithotomy for Lower Pole Renal Stones. *European Urology*, **88**, 231-239. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2025.01.020>
- [32] Hameed, B.M.Z., S. Dhavileswarapu, A.V.L., Raza, S.Z., Karimi, H., Khanuja, H.S., Shetty, D.K., *et al.* (2021) Artificial Intelligence and Its Impact on Urological Diseases and Management: A Comprehensive Review of the Literature. *Journal of Clinical Medicine*, **10**, Article 1864. <https://doi.org/10.3390/jcm10091864>
- [33] Lee, H.Y., Tung, Y., Elises, J.C., Wang, Y., Gauhar, V. and Cho, S.Y. (2025) Machine Learning-Based Prediction of Stone-Free Rate after Retrograde Intrarenal Surgery for Lower Pole Renal Stones. *World Journal of Urology*, **43**, Article No. 433. <https://doi.org/10.1007/s00345-025-05762-7>