

## 综述

## 输尿管通路鞘在泌尿系结石手术中的应用研究进展

郭祖金<sup>1,2</sup>, 李室霖<sup>3,4</sup>, 何敬腾<sup>1</sup>, 张乾<sup>1</sup>, 范连慧<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>北部战区总医院泌尿外科, 辽宁沈阳 110000; <sup>2</sup>锦州医科大学研究生院, 辽宁锦州 121001; <sup>3</sup>南方科技大学全科医学院, 广东深圳 518109; <sup>4</sup>南方科技大学附属龙华医院(深圳市龙华区人民医院)泌尿外科, 广东深圳 518109

[中图分类号] R699 [文献标志码] A [DOI] 10.11855/j.issn.0577-7402.1603.2025.1011

[声明] 本文所有作者声明无利益冲突

[引用本文] 郭祖金, 李室霖, 何敬腾, 等. 输尿管通路鞘在泌尿系结石手术中的应用研究进展[J]. 解放军医学杂志, 2026, 51(2): 300-308.

[收稿日期] 2025-08-04 [录用日期] 2025-09-13 [上线日期] 2025-10-11

**[摘要]** 输尿管通路鞘(UAS)在泌尿系结石手术中应用广泛且价值显著,能有效改善手术视野清晰度,降低肾内压,并提升结石清除率(SFR)。新型UAS在优化SFR、调控肾内压及减少并发症方面展现出良好潜力,但仍需通过更多高质量临床试验明确其临床优劣势、验证安全性与有效性,进而推动其向精准化、个体化应用方向发展。本文系统综述UAS的临床价值与现存挑战,总结新型UAS的临床应用进展,旨在为其临床优化使用提供参考。

**[关键词]** 输尿管通路鞘; 泌尿系结石; 输尿管镜碎石术

## Advances in the application of ureteral access sheaths for urological stone surgery

Guo Zu-Jin<sup>1,2</sup>, Li Shi-Lin<sup>3,4</sup>, He Jing-Teng<sup>1</sup>, Zhang Qian<sup>1</sup>, Fan Lian-Hui<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Department of Urology, General Hospital of Northern Theater Command, Shenyang, Liaoning 110000, China<sup>2</sup>Graduate School, Jinzhou Medical University, Jinzhou, Liaoning 121001, China<sup>3</sup>School of General Medicine, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, Guangdong 518109, China<sup>4</sup>Department of Urology, Longhua Hospital Affiliated to Southern University of Science and Technology (People's Hospital of Longhua, Shenzhen), Shenzhen, Guangdong 518109, China

\*Corresponding author, E-mail: fanlianhui1@163.com

**[Abstract]** Ureteral access sheaths (UAS) are widely used in urinary stone surgery, offering significant benefits by effectively improving the clarity of the surgical field, lowering intrarenal pressure (IRP), and increasing the stone-free rate (SFR). Novel UAS designs show promising potential for further optimizing the SFR, managing IRP, and minimizing complications. However, more high-quality clinical trials are required to clearly define their clinical advantages and disadvantages and to validate their safety and efficacy, thereby facilitating their development toward more precise and individualized application. This review provides a systematic summary of the clinical value and existing challenges of UAS and summarizes advances in the clinical application of novel UAS, aiming to provide a reference for their optimized clinical use.

**[Key words]** ureteral access sheath; urinary calculi; ureteroscopic lithotripsy

近年来,受生活方式改变等因素影响,泌尿系结石发病率与复发率居高不下,全球发病率2%~20%,5年复发率可达21%~53%<sup>[1]</sup>。我国居民发病率1%~5%,南方地区高达5%~10%<sup>[2]</sup>。泌尿系结石的肾绞痛、血尿等症状影响患者生活质量,严重时可引发肾功能不全、脓毒血症等危及生命的并发症<sup>[3]</sup>。输尿管镜碎石术(ureteroscopic lithotripsy, URSL)是泌尿系结石的常用临床治疗方式,但传统URSL因术中

肾内压(intrarenal pressure, IRP)升高,可引发肾盂静脉反流使含细菌及内毒素的尿液反流入血,还易导致肾盏穹隆部、肾小管细胞等的损伤而削弱肾的防御功能,并加重机体应激反应引发免疫功能紊乱,最终增加术后感染风险<sup>[4-6]</sup>。

输尿管通路鞘(ureteral access sheath, UAS)凭借其具备微创、高效辅助碎石及降低并发症发生率等优势,逐步成为URSL的关键辅助器械,尤其适用于

[作者简介] 郭祖金,硕士研究生,主要从事泌尿系结石和肿瘤方面的研究

[通信作者] 范连慧, E-mail: fanlianhui1@163.com

药物或体外碎石(extracorporeal shock wave lithotripsy, ESWL)治疗失败的患者<sup>[7]</sup>。但UAS对IRP的调控作用既是核心优势,也存在不可忽视的局限;临床实践显示,并非所有患者均可一期顺利置入UAS,一期置鞘失败率可高达8.6%~22.0%<sup>[8]</sup>;另外,在提升SFR等方面的效果仍存争议。本文从UAS的临床应用出发,分析其对IRP的影响,梳理潜在风险、影响置入的关键因素及优化策略,并综述新型UAS的技术革新进展,旨在为其临床优化使用提供参考。

## 1 UAS在URSL术中的应用价值

作为URSL的核心辅助器械,UAS的应用可显著提升手术的安全性与有效性。其核心价值体现在“建立有效循环”与“感染控制”两大维度。

**1.1 提供稳定通道而建立有效循环** UAS的基础价值在于可为URSL构建肾盂到膀胱的连续术中操作通道,可促进冲洗液顺畅流动,显著改善手术视野的清晰度,让术者能够更准确地定位结石和操作器械<sup>[9]</sup>;并可通过减少镜体与输尿管壁的直接接触,降低镜体反复进出的频率,减少输尿管黏膜的机械性损伤,进而降低术后输尿管狭窄的风险<sup>[10]</sup>。

**1.2 降低术后感染风险** 术后感染是URSL的常见并发症,其主要诱因与IRP升高导致的反流直接相关<sup>[4]</sup>。多项临床研究结果均显示UAS通过降低IRP,可显著降低感染发生率:Traxer等<sup>[11]</sup>的多中心前瞻性研究纳入1494例患者,结果显示,UAS组术后发热、尿路感染发生率均低于非UAS组;Bozzini等<sup>[12]</sup>的前瞻性研究也发现,UAS组术后发热、尿脓毒和细菌培养阳性率更低;Villa等<sup>[13]</sup>回顾性分析显示,UAS组术后发热发生率11.5%、脓毒血症发生率2.2%,而未使用UAS组的尿脓毒症发生率70%、脓毒性休克发生率83.3%。上述结果验证了UAS在控制术后感染风险中的核心作用,其关键因素正是对IRP的有效调控。

## 2 UAS应用对IRP的影响

IRP是URSL术中的核心监测指标,其水平直接关系到手术安全性(如反流、感染风险)与患者预后。UAS对IRP的调控作用是其区别于传统URSL的关键优势,但也存在难以持续维持安全范围的局限。

**2.1 调控IRP的优势** UAS通过连续引流可实现IRP的有效降低,进而实现:(1)减少反流相关并发症。健康成人输尿管直径约3 mm,传统URSL中冲洗液易在肾盂内蓄积导致IRP升高;而UAS构建的引流通路可实时排出多余冲洗液,使IRP维持在相对稳定的水平。IRP稳定对规避肾盂肾小管反流、肾盂静脉反流、术后肾积水及肾盂破裂等严重并发症至关

重要<sup>[10]</sup>;当IRP控制在安全范围(0~20 cmH<sub>2</sub>O)时,上述并发症发生率可降低60%以上<sup>[14]</sup>。(2)间接降低感染风险。UAS组术后感染率显著低于非UAS组,其核心机制正是IRP下降减少了反流液吸收入血的概率。体外研究显示,当IRP>35 mmHg时,会发生肾盂肾小管反流<sup>[15]</sup>;达40 mmHg时,反流现象进一步加剧<sup>[16]</sup>;而反流液中的细菌一旦入血,可能引发严重的尿脓毒症<sup>[15,17]</sup>。UAS通过将IRP控制在较低水平,可从源头阻止这一感染路径。

**2.2 调控IRP的局限性** 尽管UAS的应用可降低IRP,但临床实践中,IRP的安全范围难以持续维持;IRP的安全值通常为0~20 cmH<sub>2</sub>O,超出此范围即可能增加并发症风险<sup>[14]</sup>。体外研究显示,IRP>30 mmHg即存在安全隐患,>35 mmHg会发生肾盂肾小管反流<sup>[15]</sup>。但一项多中心研究纳入120例患者后发现,即使使用UAS,术中IRP波动超过安全阈值的情况仍不罕见,且UAS使用与术中平均IRP无显著相关性,难以确保维持IRP<30 mmHg的安全水平<sup>[18]</sup>。

IRP的控制效果还与UAS尺寸、冲洗液速率及术者操作相关。例如,当内镜-鞘直径比(RESD) $\geq 0.89$ 时,即使是新型负压UAS也难以维持IRP<40 cmH<sub>2</sub>O<sup>[19]</sup>。若术中为追求清晰视野而提高冲洗液速率,也可能抵消UAS的引流作用,导致IRP升高。当IRP处于27~95 cmH<sub>2</sub>O时,术后并发症(如尿脓毒症、肾损伤)发生率与IRP水平呈正相关<sup>[14]</sup>。使用UAS后仍有3%~5%的患者因IRP短暂超标而出现术后发热<sup>[18]</sup>,提示IRP调控需结合实时监测与个体化操作。

所以,UAS应用有利于对IRP的调控,可显著降低反流与感染风险,但受器械设计(如RESD比值)、操作参数(如冲洗速率)及术中监测不足等因素影响,难以确保IRP持续维持在安全范围,需通过新型UAS技术(如实时监测功能)与标准化操作流程进一步优化。

## 3 UAS临床应用的其他潜在风险

除了存在IRP调控方面的相关局限以外,UAS的临床应用还伴随其他潜在风险,这些风险主要与器械特点、个体差异及操作因素相关。

**3.1 输尿管狭窄或损伤风险** UAS置入过程中可能造成输尿管损伤,主要源于器械尺寸与输尿管生理管径的不匹配,健康成人输尿管直径上限约3 mm,而临床常用的14Fr UAS外径(约4.7 mm)远超这一上限,置入时易对输尿管壁施加剪切力,进而引发黏膜损伤<sup>[20]</sup>。

Bozzini等<sup>[12]</sup>和Traxer等<sup>[20]</sup>发现,UAS相关输尿管损伤发生率分别为41.3%和46.5%,尽管其中86.6%

为轻度损伤,但仍需警惕个体差异带来的风险;Traxer等<sup>[18]</sup>还发现,女性重度损伤发生率低于男性( $P<0.024$ ),年轻患者发生率低于老年患者( $P<0.018$ ),提示性别与年龄可能通过输尿管弹性或收缩力的差异,间接改变损伤风险。

目前无明确证据表明UAS使用与输尿管狭窄存在因果关系。一项荟萃分析显示,UAS置入后输尿管狭窄的发生率为0.5%<sup>[21]</sup>;另一项2019年发表,针对12/14FrUAS引起的输尿管狭窄的研究也显示,56例患者中仅1例发生狭窄<sup>[22]</sup>。此外,Aykanat等<sup>[23]</sup>的一项前瞻性研究显示,大尺寸UAS(12/14Fr)应用的输尿管狭窄发生率与使用小尺寸UAS(9.5/11.5Fr)的狭窄发生率差异不明显。不过,Fulla等<sup>[24]</sup>的多因素分析指出,输尿管近端直径较窄是损伤风险升高的独立因素。这提示临床需要通过术前影像学评估,如测量输尿管管径,并针对性选择UAS尺寸,以进一步降低损伤风险。

综上所述,UAS相关输尿管损伤以轻度为主,与UAS尺寸、输尿管管径直接相关,但与输尿管狭窄无明确因果关系。术前通过影像学评估输尿管直径、针对性选择UAS尺寸(如窄输尿管选用小尺寸鞘或一期留置双J管),并结合术者操作经验,可有效降低损伤风险,而性别与年龄等个体因素也需纳入术前风险评估体系。

**3.2 术后疼痛** URSL术后疼痛是患者术后复诊常见原因之一,但UAS与术后疼痛的关联性尚未达成共识;不同研究结论的差异,反映了疼痛影响因素的复杂性。一项回顾性研究显示,术后疼痛与UAS的使用明显相关,也是UAS组患者急诊就诊的主要原因(48%)<sup>[25]</sup>。而一项纳入所有使用UAS的前瞻性研究则报道,UAS的大小、术中停留时间与疼痛无明显相关性( $P>0.05$ ),但女性术后疼痛风险为男性的3.6倍( $P<0.05$ )<sup>[26]</sup>;该结果提示性别可能是比器械因素更关键的疼痛影响因素。Damar等<sup>[27]</sup>则提出相反的观点,认为使用UAS可减轻术后疼痛,其数据显示未使用UAS组术后疼痛比例更高。从临床实际应用来看,术后患者使用一般的止痛药均可有效解决疼痛问题。

综上所述,URSL术后疼痛可能涉及性别(女性风险更高)、UAS置入时的牵拉程度及患者对疼痛的敏感度,而非单纯由UAS本身决定;临床中可通过术前疼痛风险评估(如优先关注女性患者)、术中轻柔操作及术后规范镇痛,有效管理此类疼痛,无须因疼痛顾虑过度限制UAS的使用。

**3.3 SFR提升效果存在争议** 负压UAS理论上可以通过高效液体循环与负压吸引,促进结石碎片排出,尤其适用于较大或复杂的结石,进而提升SFR<sup>[10]</sup>。

然而,多项临床研究结果对这一理论上的优势提出质疑:Han等<sup>[16]</sup>的前瞻性研究显示,未使用UAS组与UAS组的SFR差异无统计学意义,但该研究纳入的多数结石直径 $<10\text{ mm}$ ;Yitgin等<sup>[28]</sup>对比58例未使用UAS患者与46例使用传统UAS患者,发现两组SFR差异不明显(93% vs. 90%,  $P=0.306$ );Meier等<sup>[29]</sup>的大样本研究( $n=5316$ )结果显示,UAS使用与SFR提升无明显相关性,且会增加急诊就诊或住院的概率( $P<0.01$ )。与之相反,Du等<sup>[30]</sup>针对直径 $>15\text{ mm}$ 复杂结石的研究显示,负压UAS组SFR明显高于传统UAS组,且联合取石网篮后SFR进一步提升至89%。总之,目前UAS应用与SFR提升的结论尚不一致,主要与结石复杂度、UAS型号及手术经验相关。

**3.4 手术时间延长的风险** URSL手术时间延长与并发症发生率呈正相关<sup>[31]</sup>;而UAS的使用可能间接导致手术时间延长<sup>[32]</sup>。Sari等<sup>[33]</sup>回顾性分析显示,尽管UAS组手术成功率更高,但手术时间明显长于非UAS组,主要耗时步骤在于UAS的置入操作。Ozimek等<sup>[34]</sup>的一项单中心研究也发现,UAS组手术时间明显长于非UAS组(99 min vs. 66 min,  $P<0.0001$ ),且住院 $>48\text{ h}$ 的比例(22.49% vs. 10.81%,  $P=0.015$ )、术后全身炎症反应综合征(SIRS)发生率(13.27% vs. 4.32%,  $P=0.013$ )均明显升高,推测与手术时间延长导致的组织刺激增加相关。这一现象还与术中碎石卡顿相关;有研究指出,碎石碎片可能夹在软镜与鞘管间隙,需反复进镜清理,进而延长操作时间<sup>[35]</sup>。

UAS使用可能延长手术时间,主要与置入操作耗时、术中碎石卡顿于软镜与鞘管间隙相关,且手术时间延长可能间接增加住院时间与SIRS发生。通过提升术者UAS置入熟练度、选择内壁光滑的防卡顿UAS(如涂层鞘管),来缩短手术时间,能否降低相关并发症风险,需后续临床研究验证。

**3.5 肾内温度过高的风险** 随着新型铥光纤(TFL)在碎石中的应用,“肾内温度升高”成为新的风险点;TFL虽具有更高的碎石效率(较软激光提升约30%),但产热较多<sup>[36]</sup>。若术中长期使用高能量设备且灌流速率较低,可能导致输尿管及集合系统温度超出生理范围( $>40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),损伤尿路上皮细胞,甚至引发热损伤相关并发症(如肾实质坏死)。遗憾的是,目前尚无明确证据表明UAS可降低这一温度升高风险,现有UAS仅能引流冲洗液,无法主动调控温度,而高灌流速率虽可降温,但也可能致IRP升高,形成“温度-压力”调控矛盾。

高功率激光碎石伴随的肾内温度升高是UAS临床应用的潜在风险,现有UAS难以平衡温度控制与IRP稳定的矛盾,未来需探索UAS与灌流系统的协同设计,或在UAS集成温度监测功能,以实现“温

度-压力”双参数的动态平衡,避免热损伤并发症。

#### 4 影响UAS置入的关键因素

UAS的临床风险与应用效果,很大程度上取决于其置入过程的顺利与否。临床数据显示,一期UAS置入失败率高达8.6%~22.0%<sup>[8]</sup>;而置入失败不仅可能延长手术时间、增加输尿管损伤风险,还可能导致手术方案被迫调整(如改为二期手术)。

**4.1 输尿管功能的年龄相关差异** 年龄是影响UAS置入的独立危险因素,且呈现年轻患者置入难度更高的特点。段海峰等<sup>[37]</sup>的单中心研究结果显示,成年患者年龄<29.5岁,是输尿管镜进镜失败的独立危险因素。Waseda等<sup>[38]</sup>对1010例患者的回顾分析也显示,年龄≤45岁是UAS置入困难的独立危险因素。这一现象的核心机制在于输尿管功能会随着年龄发生相关性变化;随着年龄增长,输尿管平滑肌收缩力降低<sup>[39]</sup>,弹性蛋白纤维减少、肌层增厚<sup>[40]</sup>,输尿管顺应性随之提升,更易耐受UAS置入。

**4.2 术前留置双J管** 术前留置双J管的核心价值在于通过被动扩张输尿管,为UAS置入创造更宽松的空间,进而提升置入成功率,降低损伤风险<sup>[41]</sup>。Law等<sup>[42]</sup>纳入3831例患者的研究显示,留置双J管者UAS置入成功率明显高于无留置者( $P<0.00001$ );廖文彪等<sup>[43]</sup>的回顾性研究也支持这一结论,术前预置双J管者可使UAS的放置成功率提升32.7倍。

但欧洲泌尿外科学会(EAU)指南仍未建议常规术前留置双J管<sup>[44]</sup>。因其可能引发患侧腹痛、尿频、尿急、尿痛、膀胱输尿管反流、支架管移位或结石附着等,降低生活质量,部分患者还需要二次介入拔除<sup>[45]</sup>。

**4.3 术前药物干预** 术前使用药物的主要目的,是通过松弛输尿管平滑肌、降低输尿管内压力,减少UAS置入时的阻力与损伤风险;其中 $\alpha$ 受体阻滞剂的应用较为广泛<sup>[46]</sup>。Koo等<sup>[47]</sup>和Kim等<sup>[48]</sup>均报道,使用 $\alpha$ 受体阻滞剂后,术中UAS置入最大插入力和术后输尿管损伤率明显低于对照组。

除 $\alpha$ 受体阻滞剂外,联合用药或其他类型扩输尿管药物也呈现良好效果。张庆玲等<sup>[49]</sup>发现,术前应用 $\alpha$ 受体阻滞剂和M受体阻滞剂可通过协同松弛输尿管平滑肌,提升UAS置入的成功率。李水清等<sup>[50]</sup>发现,术前使用间苯三酚的剂量与UAS置入成功率呈正相关,间苯三酚高剂量组(160~200 mg)的成功率最高可达88.2%。这些研究为术前临床药物的选择提供了更多差异化方案。

**4.4 输尿管解剖特征** 输尿管的解剖特征是决定UAS置入难度的因素之一,其中管径大小与开口形态尤为关键。健康成年人输尿管管径约3 mm,而逆

行肾内手术(retrograde intrarenal surgery, RIRS)常规使用14Fr(约4.7 mm)的UAS,外径远超这一生理管径;若输尿管本身存在狭窄或管径偏细,易导致UAS置入失败,需改为一期留置双J管以待二期手术。

临床研究进一步明确了可用于预测UAS置入成功率的解剖指标。申广等<sup>[51]</sup>提出,通过肾盂静脉造影(IVP)和计算机断层扫描尿路造影(CTU)测量输尿管宽度和输尿管上、中、下1/3最狭窄处的平均宽度,可有效预测一期手术置入UAS的成功率。胡智玉<sup>[52]</sup>报道,术前IVP延迟30 min完全不显影,会增加UAS放置不佳的发生率;这一征象可能提示输尿管蠕动功能异常或潜在狭窄。此外,Azhar等<sup>[53]</sup>还发现,输尿管开口呈帐篷状也是UAS置入困难的危险因素。

综上归纳,UAS置入效果受年龄(年轻患者难度高)、术前干预(双J管或药物可提升成功率)及输尿管解剖(管径窄、开口异常者难度高)共同影响。临床需通过术前多维度评估(如年龄分层、影像学测量输尿管管径、评估开口形态),结合个体化预处理方案,如年轻患者术前使用 $\alpha$ 受体阻滞剂,可将一期UAS置入成功率提升至90%以上,减少置入失败的相关风险。

#### 5 UAS置入的优化策略与技术方法

明确影响UAS置入的关键因素后,如何针对性地规避风险、提升置入成功率,成为临床实践的核心需求。基于前述年龄、输尿管解剖、术前干预等影响因素,临床已探索形成一系列精准的优化策略与技术方法。这些方法从操作模式革新与术前预处理两个层面,为UAS的安全高效置入提供保障。

**5.1 直视下置鞘技术** 传统URSL多采用“顺超滑导丝盲插法”;该方法依赖术者经验判断,若患者存在输尿管狭窄、开口异常等解剖变异或导丝位置偏差,易导致UAS置入方向错误,增加输尿管损伤风险。而直视下置鞘技术,通过内镜实时引导,将“盲查法”转为“可视化操作”,可精准观察UAS尖端与输尿管壁的相对位置,避免盲目推送造成的损伤,尤其适用于复杂解剖变异或高风险区域(如输尿管上段)的操作。

陈少锴等<sup>[54]</sup>验证了直视下置鞘技术的优势,采用输尿管镜下直视置入UAS的46例患者,其成功率明显高于采用盲查法的对照组(97.83% vs. 82.61%);且直视组术后输尿管损伤发生率更低(2.2% vs. 15.8%)。然而,直视下置鞘技术也存在一定局限,其依赖专用内镜设备及术者的内镜操作经验,可能增加医疗成本与学习曲线,临床推广需结合医疗机构设备条件与术者技术水平逐步开展。

**5.2 球囊扩张技术** 对于术前未预留双J管且输尿管管径偏细的患者, 顺行球囊扩张(sequential balloon dilation, SBD)是有效的预处理手段。通过球囊的可控性扩张, 主动扩大输尿管管腔, 可为UAS置入创造足够空间, 避免因管径不匹配导致的置入失败或损伤。

一项对124例术前未预留双J管患者的回顾性研究显示, SBD后UAS插入的成功率明显高于直接插入组(92.7% vs. 12.9%,  $P=0.01$ ), 验证了该技术的有效性; 该研究同时指出SBD的潜在风险, SBD+UAS组术后发热、腰痛、血尿发生率明显高于直接插入组(28.2% vs. 12.9%,  $P=0.023$ ), 可能与球囊扩张对输尿管黏膜的刺激, 或扩张后黏膜屏障功能暂时下降有关<sup>[54]</sup>。因此, 临床应用SBD时, 需严格控制扩张压力(通常 $\leq 1000$  kPa)与扩张时间(单次扩张 $\leq 30$  s), 术后加强尿常规、体温监测, 及时处理潜在感染或出血风险<sup>[55]</sup>。

直视下置鞘技术与SBD预处理是提高UAS置入成功率的重要手段。直视下置鞘适用于解剖变异或高风险患者, 可降低损伤风险。SBD适用于未预置双J管且管径偏细的患者, 但需警惕术后炎症反应。临床需根据患者术前评估结果选择适配策略, 而非单一依赖某一种技术。

## 6 新型UAS的技术革新与临床应用

传统UAS在IRP精准控制、解剖适应性(特别是肾下盏结石处理)、SFR提升等核心功能方面仍存在局限性。新型UAS的技术正逐步展开, 通过整合负压吸引、可弯曲结构、智能监测等功能, 可为解决传统UAS的不足提供新型治疗方案。

**6.1 负压UAS** 负压UAS的主要创新在于内置“负压吸引系统”, 通过主动引流肾盂内冲洗液, 进一步提升IRP控制精度, 一定程度上弥补传统UAS的局限, 同时促进碎石碎片排出。

Du等<sup>[30]</sup>的随机对照试验显示, 与传统UAS组相比, 负压UAS组术后炎症相关因子(如C反应蛋白、白细胞介素-6)水平、发热发生率(5.2% vs. 14.8%)、二次手术发生率(3.1% vs. 10.5%)均显著降低, SFR显著提升(89% vs. 72%)。体外实验进一步量化了负压UAS的IRP控制能力, 当内镜-鞘直径(RESD)比例为0.87时, 传统UAS难以维持IRP $< 40$  cmH<sub>2</sub>O的安全水平; 而负压UAS可稳定控制IRP在25~35 cmH<sub>2</sub>O, 同时可减少细菌反流入血, 进一步降低术后发热风险<sup>[56-57]</sup>。

但负压UAS仍存在不足: (1)解剖适应性不足。其鞘管远端仅能置于肾盂与输尿管连接部(ureteropelvic junction, UPJ), 无法进入肾盏, 因此对肾下盏、严重肾积水的深盏结石清除效果欠佳,

无法完全替代取石网篮, 且深盏结石SFR仅为65%~70%, 明显低于中上段结石的85%~90%。(2)手术效率未提升。可能因碎石卡顿于软镜与鞘之间, 需要反复进镜清理, 反而可能延长手术时间<sup>[58]</sup>。(3)设备依赖度高。需要额外配备负压控制台与专用连接管路, 对医疗机构硬件条件及术者操作熟练度要求更高。

**6.2 尖端可弯曲负压吸引UAS(S-UAS)** 针对传统UAS无法进入肾盏的缺陷, S-UAS通过鞘体末端可弯曲设计, 可实现对肾盏解剖的适配(图1)。其弯曲角度通常可达120°~180°, 末端可随输尿管镜同步弯曲, 能深入肾下盏、肾上盏等传统UAS难以触及的术区, 近距离接触结石, 结合负压吸引促进碎石排出; 尤其适用于肾下盏结石、多发结石患者。

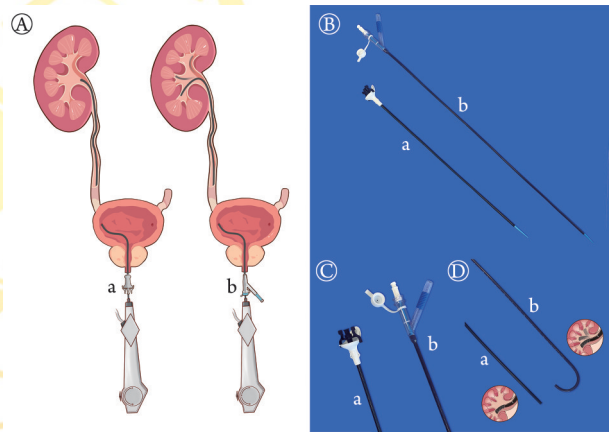


图1 传统输尿管通路鞘(UAS)与尖端可弯曲负压吸引UAS(S-UAS)的手术应用及结构对比

**Fig.1** Comparison of surgical application and the structure of traditional ureteral access sheaths (UAS) and tip bendable suction UAS (S-UAS)

A. 传统UAS和S-UAS在逆行肾内手术(RIRS)中的应用; B. 传统UAS和S-UAS整体示意图; C. 远端示意图; D. 近端示意图。  
a. 传统UAS; b. S-UAS

临床研究验证了S-UAS的优势, 对多发结石及肾盏内结石患者, S-UAS的即刻SFR与术后SFR显著高于传统UAS, 其中肾下盏结石SFR达82%~85%, 传统UAS仅65%~70%, 部分患者可达到完全无石状态<sup>[59-60]</sup>; IRP控制上, 可穿越UPJ, 将末端放置于近结石的肾盏内, 可缩短冲洗液的引流路径, 减少UPJ堵塞, 降低术后感染、出血、疼痛等并发症的发生, 并将IRP稳定控制在20~30 cmH<sub>2</sub>O的安全水平<sup>[60]</sup>。

鞘体弯曲操作对术者熟练度要求更高, 需协调软镜与鞘管的同步弯曲, 学习曲线较长。目前尚无证据表明S-UAS的应用能缩短手术时间, 反而可能因弯曲调整耗时, 导致操作时间增加<sup>[58]</sup>。

**6.3 智能 IRP 监测可弯曲输尿管软镜鞘 (FANS-UAS)** FANS 是当前创新性较为突出的 UAS 类型, 其整合了实时 IRP 监测、负压吸引、尖端可弯曲三大核心功能, 通过微型压力传感器融合现代传感技术、微电子技术与自动化控制技术, 有望从根本上解决传统 UAS 难以实时监测 IRP 的局限性, 实现 IRP 监测-动态调控-解剖适配的一体化(附图 1)。Yuen 等<sup>[61]</sup>的一项体外研究比较了四种新型无创 IRP 监测设备: 智能 IRP 监测 FANS-UAS(i-MIMERsys™、Tidor™)、带集成压力传感器的可弯曲输尿管软镜(LithoVue Elite™、ZebraScope™); 发现其与尿动力学系统(UDS)一致性良好(ICC 值 0.915~0.975), 平均压力差 <2 mmHg, 测量精度可满足临床需求。上述四种无创 IRP 监测设备外观见附图 2。

近期一项多中心临床研究的初步结果显示,

FANS-UAS 的应用可将术中 IRP 的波动范围从 18.0% 降至 6.2%, 且未出现如尿脓毒血症等严重压力相关并发症; 但 FANS-UAS 在肾下盏结石操作中仍存在鞘体弯曲角度不足的问题, 导致部分盏颈角度 <30° 的深盏结石仍无法触及<sup>[62]</sup>。

FANS-UAS 的临床应用仍需突破多重挑战: (1)技术复杂度高。传感器维护、数据传输稳定性对设备管理要求高, 基层医院推广难度大。(2)体内干扰因素多。血液、脓液可能影响压力传感器精度, 需优化传感材料的抗污染性能。(3)成本较高。相较于传统 UAS, FANS-UAS 单价提升约 30%, 可能增加患者经济负担, 所以成本效益比尚需进一步评估。

三类新型 UAS 的核心性能、优势、局限及适用人群见表 1。

**表 1** 三类新型输尿管通路鞘(UAS)的核心性能、优势、局限性及适用人群对比

**Tab.1** Comparison of performance, advantage, disadvantage and target patients of 3 new types of ureteral access sheaths (UAS)

项目	负压 UAS	S-UAS	FANS-UAS
核心创新	内置负压吸引系统, 主动引流冲洗液	鞘体末端可弯曲(120°~180°)进入肾盏	集成实时 IRP 监测、负压吸引、尖端可弯曲
IRP 控制能力	RESD=0.87 时可维持, RESD ≥0.89 时失效 (Shi 等 <sup>[53]</sup> 体外实验, n=30)	缩短引流路径, 减少 UPJ 堵塞, 维持 20~30 cmH <sub>2</sub> O	监测误差 <2 mmHg, 可动态调整负压
SFR 提升效果	较传统 UAS 提高 (89% vs. 72%), 但对肾下盏结石效果有限 (65%~70%)	较传统 UAS 提高 35%, 肾下盏结石达 82%~85% (Chen 等 <sup>[56]</sup> 多中心研究, n=120)	需大样本 RCT 验证 (目前体外研究显示优势)
并发症控制	术后发热率降至 5.2%, 减少细菌反流	降低尿脓毒血症风险 (OR=0.32, 95% CI 0.18~0.58) <sup>[54]</sup> , 出血、疼痛风险降低 >30%	理论上无严重压力相关并发症 (如尿脓毒血症)
手术效率	碎石易卡顿于软镜-鞘间隙, 可能延长手术时间	弯曲调整耗时, 无显著时间优势	操作复杂可能延长手术时间 (10~15 min)
解剖适应性	仅能置于 UPJ, 无法进入肾盏	可深入肾下盏、肾上盏, 适应性较强	继承可弯曲鞘优势, 深盏适配性优于负压 UAS
临床验证	多中心 RCT 证据充分	多中心研究支持	以体外研究为主, 临床验证样本量 <100 例
适用患者	感染风险高、结石直径 <2 cm (非肾下盏结石)	肾下盏、多发结石, 肾积水严重	需进一步临床验证

S-UAS. 尖端可弯曲负压吸引 UAS; FANS-UAS. 智能肾内压监测可弯曲输尿管软镜鞘; IRP. 肾内压; RESD. 内镜-鞘直径比; UPJ. 肾盂与输尿管链接部; SFR. 结石清除率; OR. 比值比; 95%CI. 95%置信区间; RCT. 随机对照试验

## 7 结论与展望

**7.1 UAS 的价值与现存局限** 从单纯的机械操作通道到集成引流、负压吸引, 再发展到智能监测的综合性手术平台, UAS 已成为 URSL 术中提升安全性与有效性的核心器械。其临床价值主要体现在两方面: 一是通过构建肾盂-膀胱连续通路, 稳定冲洗液循环以改善手术视野, 为术者精准操作提供支持; 二是借助引流作用降低 IRP, 降低反流风险, 进而减少术后感染, 可为 ESWL 治疗失败的患者提供微创治疗选择。然而, 当前 UAS 技术仍存在显著局限, 传统 UAS 一期置入失败率达 8.6%~22.0%, 负压 UAS 因无

法深入肾盏导致肾下盏结石清除率仅为 65%~70%, S-UAS 操作需与软镜同步协调、学习曲线较长, FANS-UAS 缺乏大样本临床验证, 且高功率钪光纤激光(TFL)碎石场景下的“温度-压力”矛盾尚未解决 (升温易引发肾损伤, 高灌流降温又会升高 IRP), 上述问题尚待通过多学科协作逐步解决。

### 7.2 未来 UAS 技术的发展方向

**7.2.1 UAS 材料的改进** 当前 UAS 多采用不可降解高分子材料, 存在长期留置时黏膜刺激风险, 且缺乏抗菌效能, 未来引入新的材料可考虑以下两方面: (1)生物安全性评估。使用人输尿管上皮细胞检测材料对细胞增殖、凋亡的影响。采用小型猪输尿管原

位置入实验,通过病理切片观察黏膜炎症反应。(2)抗菌涂层优化。研发二氧化硅纳米涂层等抗摩擦材料,结合输尿管仿生蠕动装置开展磨损实验,以涂层磨损量>5%、抗菌率<80%为失效标准,确保手术全程对常见致病菌抑制率≥90%<sup>[63-64]</sup>。

**7.2.2 智能监测调控系统的优化** 现有 FANS-UAS 虽可实现 IRP 实时监测,但仍缺乏肾内温度、冲洗液流量等关键参数的协同监测,可进一步行以下优化:(1)降低传导干扰。开发含氟硅烷修饰的超疏水涂层应用于输尿管镜或 UAS 压力传感器,减少血液、脓液干扰,降低 IRP 测量误差<sup>[65]</sup>。(2)个体化调控。按照内生肌酐清除率(Ccr)分级,对 Ccr<60 ml/min 的患者自动设定 IRP 阈值≤25 mmHg<sup>[66]</sup>。(3)温度-负压协同调控。实时监测肾内温度,>40℃时自动提升冲洗液流速至 35 ml/min,同时维持 IRP<30 mmHg,平衡降温与压力安全<sup>[67]</sup>。

**7.2.3 UAS 个体化设计** 针对现有 UAS 尺寸适配性差的问题,可从以下两方面着手:(1)基于术前 CTU,获取输尿管管径、狭窄位置等参数建立预测模型,选择推荐个性化尺寸。(2)对于泌尿系统解剖复杂的特定患者,可借助 3D 打印技术制作专属 UAS,并通过体外相关试验评估其安全性。

**7.3 临床实践与推广** 新型 UAS 在基层医疗单位的普及面临操作复杂性高、长期安全性数据匮乏等挑战,建议从以下三方面推进:(1)操作与培训。将操作拆解为“定位-扩张-置入”三步标准流程,结合虚拟现实训练缩短术者学习曲线。(2)长期监测。组建多中心队列研究,统一监测指标(如术后输尿管狭窄、肾功能损伤等),通过长期随访构建 FANS-UAS 安全数据库,为临床选择提供循证医学依据。(3)成本控制。将核心部件国产替代,结合集中采购降低患者经济负担。

综上,UAS 技术的演进应以解决临床实际需求为核心,通过材料科学、智能控制与泌尿外科临床深度融合,依托基础实验研究与临床实践的紧密结合,逐步解决现存的置入难、调控局限、适配性差等难题,同时通过多中心临床试验,建立系统的评价体系,推动泌尿系结石微创治疗向精准化模式转变,以为患者提供最优治疗方案。

#### 【附加材料】

附图 1—2 见 <https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.0577-7402.1603.2025.1011FJ>。

请扫描右方二维码获取。



#### 【参考文献】

[1] Tzelvels L, Türk C, Skolarikos A. European Association of Urology

uroolithiasis guidelines: where are we going? [J]. *Eur Urol Focus*, 2021, 7(1): 34-38.

- [2] Li S, Huang X, Liu J, *et al.* Trends in the incidence and DALYs of urolithiasis from 1990 to 2019: results from the Global Burden of Disease Study 2019 [J]. *Front Public Health*, 2022, 10: 825541.
- [3] Washino S, Hosohata K, Miyagawa T. Roles played by biomarkers of kidney injury in patients with upper urinary tract obstruction [J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(15): 5490.
- [4] Akram M, Jahrreiss V, Skolarikos A, *et al.* Urological guidelines for kidney stones: overview and comprehensive update [J]. *J Clin Med*, 2024, 13(4): 1114.
- [5] 吴荣佩, 李晓飞, 郭颖, 等. 肾盂内高压灌注对肾单位结构影响的实验研究 [J]. *中华泌尿外科杂志*, 2006, 27(3): 162-165.
- [6] 杨嗣星, 宋超. 重视上尿路结石手术中肾盂高压与液体反流的管理 [J]. *中华外科杂志*, 2018, 56(10): 729-732.
- [7] Khoder WY, Bader M, Sroka R, *et al.* Efficacy and safety of Ho:YAG laser lithotripsy for ureteroscopic removal of proximal and distal ureteral calculi [J]. *BMC Urol*, 2014, 14:62.
- [8] Mogilevkin Y, Sofer M, Margel D, *et al.* Predicting an effective ureteral access sheath insertion: a bicenter prospective study [J]. *J Endourol*, 2014, 28(12): 1414-1417.
- [9] Auge BK, Pietrow PK, Lallas CD, *et al.* Ureteral access sheath provides protection against elevated renal pressures during routine flexible ureteroscopic stone manipulation [J]. *J Endourol*, 2004, 18(1): 33-36.
- [10] Chen P, Mi G, Chen J, *et al.* Comparison of suction technique and non-suction technique in retrograde intrarenal stone surgery: a systematic review and meta-analysis [J]. *Int Urol Nephrol*, 2025, 57(4): 1051-1062.
- [11] Traxer O, Wendt-Nordahl G, Sodha H, *et al.* Differences in renal stone treatment and outcomes for patients treated either with or without the support of a ureteral access sheath: The Clinical Research Office of the Endourological Society Ureteroscopy Global Study [J]. *World J Urol*, 2015, 33(12): 2137-2144.
- [12] Bozzini G, Bevilacqua L, Besana U, *et al.* Ureteral access sheath-related injuries vs. post-operative infections. Is sheath insertion always needed? A prospective randomized study to understand the lights and shadows of this practice [J]. *Actas Urol Espan*, 2021, 45(9): 576-581.
- [13] Villa L, Dioni P, Candela L, *et al.* Understanding the role of ureteral access sheath in preventing post-operative infectious complications in stone patients treated with ureteroscopy and Ho: YAG laser lithotripsy: results from a tertiary care referral center [J]. *J Clin Med*, 2023, 12(4): 1457.
- [14] Aghamir SMK, Salavati A. Endovisually guided zero radiation ureteral access sheath placement during ureterorenoscopy [J]. *Minim Invas Ther Allied Techn*, 2018, 27(3): 143-147.
- [15] Hong A, du Plessis J, Browne C, *et al.* Mechanism of urosepsis: relationship between intrarenal pressures and pyelovenous backflow [J]. *BJU Int*, 2023, 132(5): 512-519.
- [16] Han Z, Wang B, Liu X, *et al.* Intrarenal pressure study using 7.5 French flexible ureteroscope with or without ureteral access sheath in an *ex-vivo* porcine kidney model [J]. *World J Urol*, 2023, 41(11): 3129-3134.
- [17] 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.

- [18] Croghan SM, Cunnane EM, O'Meara S, *et al.* *In vivo* ureteroscopic intrarenal pressures and clinical outcomes: a multi-institutional analysis of 120 consecutive patients[J]. *BJU Int*, 2023, 132(5): 531-540.
- [19] 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.
- [20] Traxer O, Thomas A. Prospective evaluation and classification of ureteral wall injuries resulting from insertion of a ureteral access sheath during retrograde intrarenal surgery[J]. *J Urol*, 2013, 189(2): 580-584.
- [21] Moretto S, Saita A, Scoffone CM, *et al.* Ureteral stricture rate after endoscopic treatments for urolithiasis and related risk factors: systematic review and meta-analysis[J]. *World J Urol*, 2024, 42(1): 234.
- [22] Stern KL, Loftus CJ, Doizi S, *et al.* A prospective study analyzing the association between high-grade ureteral access sheath injuries and the formation of ureteral strictures[J]. *Urology*, 2019, 128: 38-41.
- [23] Aykanat C, Balci M, Senel C, *et al.* The impact of ureteral access sheath size on perioperative parameters and postoperative ureteral stricture in retrograde intrarenal surgery[J]. *J Endourol*, 2022, 36(8): 1013-1017.
- [24] Fulla J, Prasanchaimontri P, Rizk A, *et al.* Ureteral diameter as predictor of ureteral injury during ureteral access sheath placement [J]. *J Urol*, 2021, 205(1): 159-164.
- [25] Cristallo C, Santillán D, Tobia I, *et al.* Flexible ureteroscopy without ureteral access sheath[J]. *Actas Urol Esp (Engl Ed)*, 2022, 46(6): 354-360.
- [26] Oğuz U, Şahin T, Şenocak Ç, *et al.* Factors associated with postoperative pain after retrograde intrarenal surgery for kidney stones[J]. *Turk J Urol*, 2017, 43(3): 303-308.
- [27] Damar E, Senocak C, Ozbek R, *et al.* Does ureteral access sheath affect the outcomes of retrograde intrarenal surgery: a prospective study[J]. *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 2022, 31(5): 777-781.
- [28] Yitgin Y, Yitgin E, Verep S, *et al.* Is access sheath essential for safety and effective retrograde intrarenal stone surgery? [J]. *J Coll Physicians Surg Pak*, 2021, 31(10): 1202-1206.
- [29] Meier K, Hiller S, Dauw C, *et al.* Understanding Ureteral Access Sheath Use Within a Statewide Collaborative and Its Effect on Surgical and Clinical Outcomes[J]. *J Endourol*, 2021, 35(9): 1340-1347.
- [30] Du C, Song L, Wu X, *et al.* A study on the clinical application of a patented perfusion and suctioning platform and ureteral access sheath in the treatment of large ureteral stones below L4 level[J]. *Int Urol Nephrol*, 2019, 51(2): 207-213.
- [31] 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.
- [32] Ito H, Kuroda S, Kawahara T, *et al.* Clinical factors prolonging the operative time of flexible ureteroscopy for renal stones: a single-center analysis[J]. *Urolithiasis*, 2015, 43(5): 467-475.
- [33] Sari S, Cakici MC, Aykac A, *et al.* Outcomes with ureteral access sheath in retrograde intrarenal surgery: a retrospective comparative analysis[J]. *Ann Saudi Med*, 2020, 40(5): 382-388.
- [34] Ozimek T, Wiessmeyer JR, Struck JP, *et al.* The dilemma of 12/14F ureteral access sheath (UAS) usage: a case control study[J]. *BMC Urol*, 2022, 22(1): 84.
- [35] Zhu W, Liu S, Cao J, *et al.* Tip bendable suction ureteral access sheath *versus* traditional sheath in retrograde intrarenal stone surgery: an international multicentre, randomized, parallel group, superiority study[J]. *EclinicalMedicine*, 2024, 74: 102724.
- [36] Okhunov Z, Jiang P, Afyouni AS, *et al.* Caveat emptor: the heat is "ON" -an *in vivo* evaluation of the thulium fiber laser and temperature changes in the porcine kidney during dusting and fragmentation modes[J]. *J Endourol*, 2021, 35(11): 1716-1722.
- [37] 段海峰, 戴艳萍, 谢潇, 等. 输尿管镜入镜失败危险因素分析及预测模型构建: 一项单中心、前瞻性临床研究[J]. *临床泌尿外科杂志*, 2023, 38(11): 862-866.
- [38] Waseda Y, Takazawa R, Kobayashi M, *et al.* Risk factors and predictive model for incidence of difficult ureter during retrograde ureteroscopic lithotripsy[J]. *Int J Urol*, 2022, 29(6): 542-546.
- [39] Lim I, Chess-Williams R, Sellers D. Altered ureteral contractility with ageing: role of the rho-kinase pathway[J]. *Mech Ageing Dev*, 2018, 171: 31-36.
- [40] Sokolis DP. Alterations with age in the biomechanical behavior of human ureteral wall: Microstructure-based modeling[J]. *J Biomech*, 2020, 109: 109940.
- [41] Jeong JY, Cho KS, Jun DY, *et al.* Impact of preoperative ureteral stenting in retrograde intrarenal surgery for urolithiasis[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2023, 59(4): 744.
- [42] Law YXT, Teoh JYC, Castellani D, *et al.* Role of pre-operative ureteral stent on outcomes of retrograde intra-renal surgery (RIRS): systematic review and meta-analysis of 3831 patients and comparison of Asian and non-Asian cohorts[J]. *World J Urol*, 2022, 40(6): 1377-1389.
- [43] 廖文彪, 蒋立量, 余娅兰, 等. 输尿管软镜术中成功置入输尿管通道鞘的多因素分析: 单中心回顾性研究[J]. *微创泌尿外科杂志*, 2018, 7(5): 314-317.
- [44] Tzelvels L, Türk C, Skolarikos A. European Association of Urology Urolithiasis Guidelines: where are we going? [J]. *Eur Urol Focus*, 2021, 7(1): 34-38.
- [45] Byrne RR, Auge BK, Kourambas J, *et al.* Routine ureteral stenting is not necessary after ureteroscopy and ureteropyeloscopy: a randomized trial[J]. *J Endourol*, 2002, 16(1): 9-13.
- [46] Tran TY, Hernandez Bustos N, Kambadakone A, *et al.* Emergency ureteral stone treatment score predicts outcomes of ureteroscopic intervention in acute obstructive uropathy secondary to urolithiasis [J]. *J Endourol*, 2017, 31(9): 829-834.
- [47] Koo KC, Yoon J-H, Park N-C, *et al.* The impact of preoperative  $\alpha$ -adrenergic antagonists on ureteral access sheath insertion force and the upper limit of force required to avoid ureteral mucosal injury: a randomized controlled study[J]. *J Urol*, 2018, 199(6): 1622-1630.
- [48] Kim JK, Choi CI, Lee SH, *et al.* Silodosin for prevention of ureteral injuries resulting from insertion of a ureteral access sheath: a randomized controlled trial[J]. *Eur Urol Focus*, 2022, 8(2): 572-579.
- [49] 张庆玲, 顾晓箭, 徐彦, 等. 联合应用  $\alpha$  受体和 M 受体阻滞剂提高输尿管软镜手术中输尿管通道鞘置入成功率的效果[J]. *江苏医药*, 2016, 42(21): 2360-2362.
- [50] 李水清, 陈银威, 刘威, 等. 术前使用间苯三酚对输尿管软镜钬激光碎石取石术的作用研究[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2022, 42(7): 1001-1006.
- [51] 申广, 武立新, 李龙. 一期输尿管软镜治疗上尿路结石的疗效

- 及影响因素分析[J]. 临床泌尿外科杂志, 2021, 36(10): 782-784.
- [52] 胡智玉. 首次输尿管软镜术通道鞘放置不理想临床分析[D]. 郑州: 郑州大学, 2018.
- [53] Azhar RA, Alghamdi MM, Khawaji AA, *et al.* Effective ureteral access sheath insertion during flexible ureteroscopy: Influence of the ureteral orifice configuration[J]. *Can Urol Assoc J*, 2022, 16(7): E375-E380.
- [54] 陈少镛, 黄炎松, 吴紫扬. 分析输尿管镜直视下输尿管软镜鞘一期置入的成功率及应用效果[J]. 系统医学, 2021, 6(21): 136-139.
- [55] Elmekresh A, Tsai L, Villarreal V, *et al.* Safety and efficacy of sequential balloon dilation prior to ureteral access sheath insertion in nonstented patients undergoing ureteroscopy[J]. *Proc (Bayl Univ Med Cent)*, 2022, 35(2): 168-171.
- [56] 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.
- [57] Giulioni C, Castellani D, Traxer O, *et al.* Experimental and clinical applications and outcomes of using different forms of suction in retrograde intrarenal surgery. Results from a systematic review[J]. *Actas Urol Esp (Engl Ed)*, 2024, 48(1): 57-70.
- [58] Zhu W, Liu S, Cao J, *et al.* Tip bendable suction ureteral access sheath versus traditional sheath in retrograde intrarenal stone surgery: an international multicentre, randomized, parallel group, superiority study[J]. *EClinicalMedicine*, 2024, 74: 102724.
- [59] Chen Y, Cheng X, Yang H, *et al.* Optimal placement of flexible ureteral access sheath in retrograde intrarenal surgery[J]. *Urolithiasis*, 2023, 51(1): 106.
- [60] Chen Y, Li C, Gao L, *et al.* Novel flexible vacuum-assisted ureteral access sheath can actively control intrarenal pressure and obtain a complete stone-free status[J]. *J Endourol*, 2022, 36(9): 1143-1148.
- [61] Yuen SKK, Chen Z, Yuen S, *et al.* Novel non-invasive intrarenal pressure monitoring devices in flexible ureteroscopy: an *in-vitro* comparative study[J]. *World J Urol*, 2025, 43(1): 402.
- [62] Zeng G, Jiang K, Liu S, *et al.* Flexible ureteroscopy with a flexible and navigable suction ureteral access sheath *versus* mini-percutaneous nephrolithotomy for treatment of 2-3 cm renal stones: an international, multicenter, randomized, noninferiority trial[J]. *Eur Urol*, 2026, 89(1): 45-54.
- [63] 裴文祥, 马世杰, 杨浪飞, 等. 温敏聚合物修饰中空介孔二氧化硅纳米粒子及其复合纳米纤维的构建与释药性能[J]. 复合材料学报, 2024, 41(10): 5400-5411.
- [64] 颜蓓蓓. 可降解硅基纳米生物材料的设计、制备与应用研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2023.
- [65] Li Y, Wang X, Chen Z, *et al.* Superhydrophobic coatings for biomedical sensors to reduce protein fouling and improve long-term stability[J]. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2024, 16(32): 22789-22799.
- [66] Croghan SM, Cunnane EM, O'Meara S, *et al.* *In vivo* ureteroscopic intrarenal pressures and clinical outcomes: a multi-institutional analysis of 120 consecutive patients[J]. *BJU Int*, 2023, 132(5): 531-540.
- [67] Okhunov Z, Jiang P, Afyouni AS, *et al.* Caveat Emptor: The Heat Is "ON" -An *In Vivo* Evaluation of the Thulium Fiber Laser and Temperature Changes in the Porcine Kidney During Dusting and Fragmentation Modes[J]. *J Endourol*, 2021, 35(11): 1716-1722.

(责任编辑: 蒋铭敏)