

# 输尿管支架在输尿管狭窄治疗中的应用进展\*

陈智威 综述 王彦\*\* 审校

(遵义医科大学第三附属医院 遵义市第一人民医院泌尿外科, 遵义 563000)

文献标识: A 文章编号: 1009-6604(2022)04-0333-05

doi: 10.3969/j.issn.1009-6604.2022.04.010

输尿管狭窄是指各种疾病导致的输尿管管腔变窄,尿液引流受限,从而引起以肾盂及输尿管扩张为影像学表现的上尿路梗阻,如果治疗不及时,可能会引起肾区疼痛和上尿路感染,甚至患侧肾功能衰竭<sup>[1]</sup>。传统治疗方法包括开放重建手术和腔内微创手术,不管哪种手术方式,输尿管支架在输尿管狭窄的治疗中的地位是十分重要的,因其具有支撑、引流尿液、促进输尿管重建和降低术后并发症的优点<sup>[2,3]</sup>,因此,输尿管支架在泌尿外科得到广泛应用。支架置入术已经成为目前腔内治疗输尿管狭窄首选的方法<sup>[4,5]</sup>。随着现代科技和材料学的发展,输尿管支架已从最开始的高分子聚合物支架发展到金属支架,以及目前处于研究阶段的药物涂层支架和生物可降解支架等。本文就输尿管支架在输尿管狭窄治疗中的特点、存在的问题以及发展趋势进行文献总结。

## 1 不同类型输尿管支架在输尿管狭窄中的应用

### 1.1 双 J 输尿管支架(double-J ureteric stent, DJS)

1978 年 Finney<sup>[6]</sup>首次提出现代 DJS,经过 40 多年的发展和临床应用,DJS 已成为目前临床上使用最多的输尿管支架。DJS 因两末端 J 形卷曲而得名,由聚氨酯、硅胶或各种聚合物制成,体内留置时,一般需要每隔 3~6 个月更换 1 次。该支架通常用于辅助治疗泌尿系结石,解除良性或恶性梗阻,促进输尿管愈合,控制尿漏,或在手术前放置以帮助术中

识别输尿管。虽然留置 DJS 是微创治疗方式,但传统 DJS 管径较细,力学性能较差,对输尿管狭窄部位达不到理想的支撑效果,而且还存在尿路刺激症状、感染、支架移位、支架表面结壳和患者疼痛不适等症状<sup>[7]</sup>。另外,支架遗忘取出也时有发生,被遗忘 DJS 发生率为 3.8%~16%<sup>[8]</sup>。短段的良性输尿管狭窄(长度 < 1.5 cm)内镜下治疗后留置 2 根 DJS 的引流效果虽然比留置 1 根 DJS 效果好,远期效果也更佳<sup>[9]</sup>,但留置 2 根双 J 管引起的并发症却和留置 1 根双 J 管没有差异<sup>[10]</sup>。对于输尿管狭窄的患者,特别是良性输尿管狭窄患者,需要长期更换 DJS,患者生活质量受到很大的影响。由于 DJS 的价格相对较低,使其成为目前临床上使用最多和最广泛的输尿管支架,对于需要长期引流的患者,目前仍无最佳的输尿管支架可供选择。

### 1.2 金属输尿管支架

为克服聚合物输尿管支架径向力不足和需要经常更换的缺点,金属输尿管支架应运而生,目前,临床上常用的金属输尿管支架有 Resonance 支架、Memokath 051 支架、Allium 支架和 Uventa 支架等,各支架的特点如下。

#### 1.2.1 Resonance 支架

Resonance 支架是第 1 个在日本上市的金属输尿管支架,可与 MRI 兼容,主要用于治疗由恶性或良性狭窄引起的输尿管梗阻。该支架两端闭塞,由镍-钴-铬-钼合金缠绕制成的紧密线圈结构,两端没有侧孔,当尿液流经输尿管

\* 基金项目:国家自然科学基金项目(81660121);贵州省科技支撑计划项目(黔科合 SY 字[2012]3148 号);遵义市科技计划课题(遵市科合 HZ(2020)106 号)

\*\* 通讯作者, E-mail: wyly11@163.com

时,尿液沿着支架的螺旋槽流入膀胱。该支架口径为  $F_6$ ,主要用于抵抗外部压迫,可留置时间为 12 个月。该支架极难因外部压力而变形,与聚氨酯或硅胶材料相比,能够抵抗外部压迫和增生组织的植入,在恶性梗阻病人中有较好的效果<sup>[11]</sup>。Patel 等<sup>[12]</sup>对 21 例实施 52 次 Resonance 支架置入术,中位年龄 58 岁(39~90 岁),Resonance 支架成功率为 96%,在良性梗阻中支架中位停留时间为 19.5 月,恶性梗阻为 12 个月。Chow 等<sup>[13]</sup>报道 42 例输尿管恶性梗阻 DJS 治疗失败后共置入 50 个 Resonance 支架,90% (45/50) 置入支架侧肾积水消退或维持稳定,90% (38/42) 的患者血肌酐下降或保持稳定,2 种支架虽然支架相关症状相似,但 Resonance 支架的功能持续时间比聚合物支架平均延长 4 个月 ( $P < 0.0001$ ),聚合物支架和金属支架的中位功能持续时间分别为 1.7 (95% CI: 1.4~2.6)、5.3 (95% CI: 2.7~8.8) 月。非金属支架一般每 3 个月更换一次,金属支架可以保留 12 个月,意味着对患者的侵入性手术更少、更方便,总体成本更低<sup>[14]</sup>。2013 年 Kadles 等<sup>[15]</sup>报道使用 Resonance 支架治疗 47 例慢性输尿管梗阻(恶性梗阻 27 例,良性 20 例)的 5 年随访结果,47 例共置入 139 个 Resonance 支架,其中 15 例(32%)为双侧梗阻,支架平均停留时间 8 个月,失败率为 28%,原因包括疼痛、进行性肾功能不全、反复尿路感染、支架移位、进行性肾积水、尿失禁、下尿路症状和支架结壳等支架相关并发症。以上研究结果表明,根据梗阻病因的不同,支架置入术后的结果差异很大,而且该支架一般需要在透视下放置与拔除<sup>[16]</sup>。虽然 Resonance 支架置入术是治疗良性和恶性疾病导致输尿管狭窄安全有效的方法,而且女性患者主观症状相对较少<sup>[17]</sup>,但因其耐受性相对较差,并没有在临床上广泛使用。

**1.2.2 Memokath 051 支架** Memokath 051 支架是一种可热膨胀的镍钛合金螺旋支架,与 MRI 兼容,用于治疗由恶性或良性狭窄引起的输尿管梗阻。根据温度不同,支架有 2 种存在形式,在 10 °C 以下支架变软,当重新加热到 55 °C 以上时又恢复原形态,而且可以重复进行冷却和加热。未扩张时,支架长轴直径为  $F_{9.5}$ ,近端直径为  $F_{10.5}$ ,扩张时支架长轴直径为  $F_{10.5}$ ,近端直径为  $F_{22}$ ,长度有 3、6、10、15、20 cm。支架需要用 <10 °C 的无菌水冷却软化材料,

并通过用异物钳抓住线圈下端将其取出。该支架 1996 年开始在临床使用,早期主要用于肾移植患者或腹膜后纤维化等导致的输尿管狭窄<sup>[18,19]</sup>。一项 91 例的队列研究报告显示<sup>[20]</sup>,Memokath 051 支架中位留置时间为 355 d(7~2125 d),大部分支架因移位(42%)或堵塞(40%)而取出,肾功能正常(患侧肾小球滤过率  $\geq 60$  ml/min)患者的留置时间明显长于肾病患者(386 d vs. 317 d,  $P < 0.01$ );与良性狭窄相比,活动性恶性疾病导致输尿管狭窄患者通畅时间明显缩短(455 d vs. 190 d,  $P < 0.01$ ),表明 Memokath 051 支架为输尿管狭窄提供安全的中期效果,特别是对无活动性恶性肿瘤和肾功能良好的患者。Maan 等<sup>[21]</sup>对 41 例同时患有恶性和良性输尿管狭窄采用输尿管支架症状问卷(USSQ)评估,比较传统 DJS 与 Memokath 支架相关症状和生活质量,结果显示使用 DJS 患者中,69.6% (16/23) 的患者尿频不超过 2 h,使用 Memokath 支架患者这一比例为 44.4% (8/18);使用 DJS 患者中,30.4% (7/23) 的患者受到泌尿症状的严重困扰,使用 Memokath 支架患者这一比例为 5.6% (1/18);使用 DJS 患者中,65.2% (15/23) 的患者对目前的泌尿症状生活持负面看法,使用 Memokath 支架患者这一比例为 33.3% (6/18)。可见,置入 Memokath 支架患者在疼痛、泌尿道症状指数和一般健康状况上更好,特别是在活动方面。然而,Memokath 051 支架的并发症也较多,包括支架移位、支架结垢、医源性损伤(如血肿、尿漏)、感染等<sup>[22]</sup>。虽然 Memokath 051 支架与 DJS 相比具有相同的成功率和患者更好的耐受性<sup>[23]</sup>,但它在腔内泌尿外科实践中的作用还没有明确,主要是因为缺乏长期随访的大型、多中心的研究,需要将来进一步的检验其效能,明确临床应用范围。

**1.2.3 艾利姆输尿管支架 (Allium stent)** Allium 支架是一种自膨式的输尿管金属支架,由超弹性镍钛合金制成,外面覆盖着一种聚合物材料,可以防止组织植入,主要用于由恶性或良性狭窄引起的输尿管梗阻。支架有  $F_{24}$  或  $F_{30}$  供选择,长度有 6、8、10、12 cm(无锚定端)和 10、12 cm(带锚定端),带锚定端可以防止支架移位,通过顺行或逆行途径置入输尿管,气囊充气压力为 20 atm,支架可在输尿管中留置时间长达 3 年,而且支架移除比较简单和安全。

Gao 等<sup>[24]</sup>回顾 33 例接受 Resonance 和 Allium 支架治疗的非恶性原因(主要是腹膜后纤维化)引起的输尿管狭窄, Resonance 支架组随访时间明显长于 Allium 支架组[(36.2 ± 24.0)月 vs. (9.4 ± 5.0)月,  $P < 0.001$ ], 2 种支架对肾功能均有良好的保护作用, 但 Resonance 支架的刺激性并发症相对较多(7/18 vs. 1/15), 支架移位(1/18 vs. 4/15)和再梗阻(0/18 vs. 5/15)较少。北京大学人民医院泌尿外科是国内最早应用 Allium 支架的医疗单位, 截止于 2019 年 12 月 31 日, 该中心完成 86 例 Allium 支架置入手术治疗输尿管狭窄, 平均随访 20 个月, 末次随访血肌酐、肾盂宽度和 USSQ 总分相较于术前均显著降低, 其中 Allium 支架的总体通畅率为 94.2% (81/86), 最常见并发症是支架相关症状(12.8%, 11/86), 但症状评分较低, 其他常见并发症还包括支架头端继发性狭窄(3.5%, 3/86)、支架移位(5.8%, 5/86)、支架结壳(3.5%, 3/86)和尿路感染(5.8%, 5/86)<sup>[25]</sup>。Moskovitz 等<sup>[26]</sup>报道 40 例放置 49 个 Allium 输尿管支架的随访结果, 平均随访 21 个月(1 ~ 63 个月), 初始成功率为 98%, 支架移位率仅 14.2%, 无支架结壳现象, 平均留置时间 17 个月。崔澍等<sup>[27]</sup>对 20 例共留置 24 个 Allium 支架中位随访 11 个月, 输尿管通畅率 83.3% (20/24), 并发症发生率 16.7% (4/24), 其中支架移位为主要并发症(4.1%, 1/24)。由于该支架临床应用时间不长, 目前还缺乏 Allium 输尿管支架耐受性的有效评估报告和长期随访结果, 但从目前看, 该支架的优良表现不断在临床上得到认可, 术后 2 年内可保持较高的输尿管通畅率和较低的并发症, 可以明显改善患者的肾功能和生活质量, 有望在临床上逐渐推广。

**1.2.4 Uventa 输尿管支架** Uventa 输尿管支架呈圆柱形, 直径有 7、8、10 mm, 长 6 ~ 20 cm, 由 3 层结构组成: 外层镍钛网提供高摩擦力, 防止移位; 中间层由聚四氟乙烯组成, 防止组织内生; 内层镍钛支架增强整体径向力。支架末端柔软以避免对输尿管产生刺激, 并带有 3 个不透射线的标志物来确定支架的位置。该支架以压缩形式包装, 通过专用护套输送到狭窄部位, 在长段狭窄的情况下, 可以放置多个链状支架。Uventa 输尿管支架主要用于恶性输尿管梗阻。Choi 等<sup>[28]</sup>报道 21 例置入 Uventa 输尿管支架术后随访 1 年, 支架成功率为 75.4%。Kim 等<sup>[29]</sup>

报道 44 例慢性梗阻(50 个 Uventa 输尿管支架)中位随访时间 30.9 月, 支架失败率高达 70%。Chung 等<sup>[30]</sup>对 54 例(置入 71 个 Uventa 输尿管支架)共 25 个支架失败的原因进行分析, 肿瘤进展占 72% (18/25), 支架处反应性增生占 12% (3/25), 原发肿瘤的膀胱侵犯占 8% (2/25)和支架相关疼痛占 8% (2/25)。该支架并发症与女性、宫颈癌、输尿管狭窄长度( $\geq 60$  mm)和放置时间( $\geq 24$  个月)呈正相关<sup>[8]</sup>。这些数据突出长期随访的不良临床结果, 因此, 需要每年更换。由于 Uventa 输尿管支架短期有较好的通畅率和较低的支架并发症, 因此, Uventa 输尿管支架是短期治疗输尿管狭窄患者的有效选择。

## 2 处于研发阶段的可降解输尿管支架和药物洗脱支架

与普通聚合物 DJS 相比, 由金属材料合成的输尿管支架具有更强的机械性能和更长的使用寿命<sup>[31]</sup>。金属输尿管支架在恶性肿瘤手术和(或)放射治疗后导致输尿管狭窄的治疗中是有效和安全的, 且支架置入后可改善患者肾积水<sup>[32]</sup>。然而, 在长时间的体内留置过程中, 由于生物膜的形成而导致的感染和菌尿是不可避免的。成人支架植入后不到 1 周, 细菌定植率为 28% ~ 90%, 其中尿路感染发生率为 7% ~ 34%<sup>[33, 34]</sup>。输尿管支架的生物结壳和随后的尿路感染主要来自蛋白质和微生物的吸附和黏附以及随后的增殖。为克服输尿管支架需要再次取出和细菌定植的问题, 生物可降解输尿管支架(biodegradable ureteral stents, BUS)应运而生。BUS 的主要优点是不需要手术二次取出, 在降低患者经济负担的同时提高患者医从性<sup>[35]</sup>。Gao 等<sup>[36]</sup>成功制备 1 种具有流体驱动防结壳功能的 BUS——纤维膜结构输尿管支架, 该支架通过将聚多巴胺覆盖到支架表面, 然后引入亲水性端氨基超支化聚酰胺结构来实现, 此结构为支架表面提供大量的氨基阳离子, 从而增加亲水性和杀菌功能。该支架对带正负电荷的蛋白质均表现出很强的排斥性, 具有高度的抗污性, 对革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌均有杀菌作用。他们利用猪为动物模型进行的体内实验表明, 所制备的支架可以防止生物膜的形成, 消除输尿管的炎症。Tie 等<sup>[37]</sup>认为可生物降解的镁锶银(Mg-Sr-Ag)合金在抗菌可降解输尿管支架方面显示出巨大的潜力, 体

外和体内实验结果均表明该合金具有良好的生物相容性,组织学评价和生物指标分析表明,降解过程中无组织损伤、炎症和泌尿系统损害,从尿动力学结果看,支架还改善了术后膀胱功能。这些研究结果为预防输尿管支架引起的尿路感染和避免输尿管支架置入术引起患者的不适提供了实验依据,但支架降解的可控性和支架降解产生的碎片迁移仍然是一个需要克服的问题<sup>[38]</sup>,这是 BUS 即使经过多年研究仍没有正式进入临床的主要原因。如何更好的抑制支架生物膜的形成和支架降解的可控性及支架降解产生的碎片迁移问题,仍然需要不断的深入研究解决。理想的抗生物膜输尿管支架应具备 2 个主要特征:首先,可以干预生物膜形成的所有阶段,具有持久的杀菌活性以杀灭病原微生物;其次,支架的自清洁表面可以抵抗宿主蛋白的黏附并清除细菌碎片。要实现这些功能,关键的一步是操纵材料-蛋白质和材料-细菌的界面作用力,以使排斥作用比黏附吸引更强。

### 3 小结与展望

输尿管支架置入术具有操作简单、住院时间短、并发症少及临床效果明显等优点,且金属输尿管支架通畅性较好,在良性输尿管狭窄中疗效更为满意。与传统输尿管支架相比,输尿管金属支架有许多优点,如通畅率更高,留置时间更长,需要更换的次数更少等。早期支架相关的不良反应包括医源性损伤、支架移位和患者不适,晚期并发症包括感染、支架更换困难、支架故障、感染和支架结壳等。目前,输尿管支架的研究主要集中在新材料和药物涂层的开发。制造药物涂层 BUS 已经被研究用来减少细菌感染和粘连,并改善患者的整体舒适度,是未来支架发展的一个方向。理想的输尿管支架应该是可以简单的置入和移除,留置期间不易移位,泌尿道刺激症状轻微,能防止生物膜形成和结壳,并在透视下可见;另外,支架也应该有足够的支撑强度、与组织的相容性和相对较低的成本效益。

目前,各种输尿管支架在输尿管狭窄治疗中都有优缺点,对于输尿管金属支架的临床应用,仍需要进行多中心大宗病例的 RCT 来明确每一款产品的应用范围和特点。在临床诊疗过程中,如何更好地选取输尿管支架,需要我们根据患者个体差异及狭窄特征个性化选择支架,努力将治疗效益最大化,患者经济负

担最小化。药物涂层 BUS 已经在心血管领域获得比裸支架和药物洗脱支架更好的治疗效果。如何解决药物在尿液的冲刷下可以缓慢稳定地释放药物,支架降解产生碎片堵塞输尿管的问题以及支架对输尿管蠕动的影 响,是制约药物涂层 BUS 进入临床的首要问题,相信随着药物涂层 BUS 在泌尿系统研究的不断深入,以及腔内微创治疗技术的不断进步,新型的 药物涂层 BUS 在输尿管狭窄的腔内微创治疗优势也会凸显出来,输尿管狭窄患者的生活质量也将大大改善。

### 参考文献

- Xiong S, Wang J, Zhu W, et al. Onlay repair technique for the management of ureteral strictures: A comprehensive review. *Biomed Res Int*,2020,2020:6178286.
- Awad K, Woodward MN, Shalaby MS. Long-term outcome of JJ stent insertion for primary obstructive megaureter in children. *J Pediatr Urol*,2019,15(1):66.e1-66.e5.
- Beysens M, Tailly TO. Ureteral stents in urolithiasis. *Asian J Urol*,2018,5(4):274-286.
- Salter S, Lee A, Jaya J, et al. Timely surgical intervention for ureteric complications ensures adequate graft function in renal transplantation: a 10-year review. *ANZ J Surg*,2020,90(7-8):1340-1346.
- Castagnetti M, Iafrate M, Esposito C, et al. Searching for the least invasive management of pelvi-ureteric junction obstruction in children: A critical literature review of comparative outcomes. *Front Pediatr*,2020,8:252.
- Finney RP. Experience with new double J ureteral catheter stent. *J Urol*,1978,120(6):678-681.
- Lange D, Bidnur S, Hoag N, et al. Ureteral stent-associated complications - where we are and where we are going. *Nat Rev Urol*,2015,12(1):17-25.
- Cheng W, Chiu YC, Fan YH, et al. Risks of forgotten double-J ureteric stents after ureterorenoscopic lithotripsy in Taiwan: a nationwide population-based study. *Sci Rep*,2020,10(1):20711.
- Mohyelden K, Hussein HA, El Helaly HA, et al. Long-term outcomes of two ipsilateral vs single double-J stent after laser endoureterotomy for bilharzial ureteral strictures. *J Endourol*,2021,35(6):775-780.
- 刘杰,薛江辉,冉光勇,等.同侧两根双J管引流在结石伴息肉导致输尿管狭窄患者中的应用. *中华腔镜泌尿外科杂志(电子版)*,2019,13(4):251-254.
- Kang Q, Jiang F, Yu Y, et al. Application of resonance metallic stents for malignant ureteral obstruction. *Minim Invasive Ther Allied Technol*,2018,27(6):333-338.
- Patel C, Loughran D, Jones R, et al. The resonance<sup>®</sup> metallic

- ureteric stent in the treatment of chronic ureteric obstruction: a safety and efficacy analysis from a contemporary clinical series. *BMC Urol*, 2017, 17(1):16.
- 13 Chow PM, Chiang IN, Chen CY, et al. Malignant ureteral obstruction: functional duration of metallic versus polymeric ureteral stents. *PLoS One*, 2015, 10(8):e0135566.
- 14 Fiuk J, Bao Y, Callearly JG, et al. The use of internal stents in chronic ureteral obstruction. *J Urol*, 2015, 193(4):1092-1100.
- 15 Kadlec AO, Ellimootill CS, Greco KA, et al. Five-year experience with metallic stents for chronic ureteral obstruction. *J Urol*, 2013, 190(3):937-941.
- 16 Cedars B, Abedi G, Sur RL. Placement of resonance stent for malignant or benign ureteral obstruction. *J Endourol*, 2021, 35(S2):S52-S55.
- 17 Miyazaki J, Onozawa M, Takahashi S, et al. The resonance<sup>®</sup> metallic ureteral stent in the treatment of malignant ureteral obstruction: a prospective observational study. *BMC Urol*, 2019, 19(1):137.
- 18 Bach C, Kabir MN, Goyal A, et al. A self-expanding thermolabile nitinol stent as a minimally invasive treatment alternative for ureteral strictures in renal transplant patients. *J Endourol*, 2013, 27(12):1543-1545.
- 19 Bourdumis A, Kachrilas S, Kapoor S, et al. The use of a thermoexpandable metal alloy stent in the minimally invasive management of retroperitoneal fibrosis: a single center experience from the United Kingdom. *J Endourol*, 2014, 28(1):96-99.
- 20 Bier S, Amend B, Wagner E, et al. The thermoexpandable nitinol stent: a long-term alternative in patients without nephropathy or malignancy. *Scand J Urol*, 2017, 51(5):388-391.
- 21 Maan Z, Patel D, Moraitis K, et al. Comparison of stent-related symptoms between conventional double-J stents and a new-generation thermoexpandable segmental metallic stent: a validated-questionnaire-based study. *J Endourol*, 2010, 24(4):589-593.
- 22 Sampogna G, Grasso A, Montanari E. Expandable metallic ureteral stent: indications and results. *Minerva Urol Nefrol*, 2018, 70(3):275-285.
- 23 Eaton Turner E, Jenks M, McCool R, et al. The Memokath-051 stent for the treatment of ureteric obstruction: A nice medical technology guidance. *Appl Health Econ Health Policy*, 2018, 16(4):445-464.
- 24 Gao W, Xing T, Ou T. The resonance and the allium ureteral stents in the treatment of non-malignant refractory ureterostenosis. *BMC Urol*, 2021, 21(1):53.
- 25 徐涛,唐鑫伟,胡浩. 输尿管狭窄的内镜治疗:现状与未来. *中华腔镜泌尿外科杂志(电子版)*, 2021, 15(3):177-181.
- 26 Moskovitz B, Halachmi S, Nativ O. A new self-expanding, large-caliber ureteral stent: results of a multicenter experience. *J Endourol*, 2012, 26(11):1523-1527.
- 27 崔澍,许长宝,赵兴华,等. Allium 覆膜输尿管支架治疗良恶性输尿管狭窄 20 例. *中国微创外科杂志*, 2021, 21(10):889-893.
- 28 Choi J, Chung KJ, Choo SH, et al. Long-term outcomes of two types of metal stent for chronic benign ureteral strictures. *BMC Urol*, 2019, 19(1):34.
- 29 Kim M, Hong B, Park HK. Long-term outcomes of double-layered polytetrafluoroethylene membrane-covered self-expandable segmental metallic stents (Uventa) in patients with chronic ureteral obstructions: Is it really safe? *J Endourol*, 2016, 30(12):1339-1346.
- 30 Chung KJ, Park BH, Park B, et al. Efficacy and safety of a novel, double-layered, coated, self-expandable metallic mesh stent (Uventa<sup>TM</sup>) in malignant ureteral obstructions. *J Endourol*, 2013, 27(7):930-935.
- 31 Fu J, Su Y, Qin YX, et al. Evolution of metallic cardiovascular stent materials: A comparative study among stainless steel, magnesium and zinc. *Biomaterials*, 2020, 230:119641.
- 32 Wang W, Gao X, Chen J, et al. Metal stent for the ureteral stricture after surgery and/or radiation treatment for malignancy. *BMC Urol*, 2021, 21(1):146.
- 33 Vallée M, Bey E, Bouiller K, et al. Epidemiology and risk factors for ureteral stent-associated urinary tract infections in non-transplanted renal patients: a systematic review of the literature. *World J Urol*, 2021, 39(10):3845-3860.
- 34 Buhmann MT, Abt D, Altenried S, et al. Extraction of biofilms from ureteral stents for quantification and cultivation-dependent and-independent analyses. *Front Microbiol*, 2018, 9:1470.
- 35 Wiesinger CG, Lee J, Herrera-Caceres JO. Future developments in ureteral stents. *Curr Opin Urol*, 2019, 29(2):124-128.
- 36 Gao L, Liu X, Xu M, et al. Biodegradable anti-biofilm fiber-membrane ureteral stent constructed with a robust biomimetic superhydrophilic polycationic hydration surface exhibiting synergistic antibacterial and antiprotein properties. *Small*, 2021, 17(20):e2006815.
- 37 Tie D, Hort N, Chen M, et al. In vivo urinary compatibility of Mg-Sr-Ag alloy in swine model. *Bioact Mater*, 2022, 7:254-262.
- 38 Wang L, Yang G, Xie H, et al. Prospects for the research and application of biodegradable ureteral stents: from bench to bedside. *J Biomater Sci Polym Ed*, 2018, 29(14):1657-1666.

(收稿日期:2021-12-05)

(修回日期:2022-03-09)

(责任编辑:李贺琼)