

本文引用格式:孙宏亮,邹厦.输尿管支架管附壁结石的预防和处理措施研究进展[J].安徽医学,2024,45(1):121-125.DOI:10.3969/j.issn.1000-0399.2024.01.026

输尿管支架管附壁结石的预防和处理措施研究进展

孙宏亮 邹厦

[摘要] 输尿管支架管是泌尿外科常用于保护输尿管的工具,但其易产生输尿管支架管附壁结石,可能造成患者出现严重并发症,甚至损伤输尿管,因此,预防支架管附壁结石是一项很重要的临床工作。在患者出现输尿管支架管附壁结石时,医师应在拔除支架管前进行充分评估,根据支架管附壁结石的分级及评分,选择合适的拔除支架管的治疗方案。本综述总结了支架管附壁结石的成分、形成的风险因素、预防方法和难点,以及输尿管支架管附壁结石的评估和处理,旨在为输尿管支架管附壁结石的预防和管理提供有价值的参考信息,为输尿管支架管在临床的应用和发展提供新的科学依据和技术支持,将有助于简化患者的就医过程。

[关键词] 输尿管支架管;支架管附壁结石;预防;管理

doi:10.3969/j.issn.1000-0399.2024.01.026

输尿管支架管是泌尿外科诊疗过程中使用的一种两端呈J型弯曲,需置入输尿管内的辅助治疗器械^[1]。自1978年首次使用以来,随着泌尿外科微创诊疗技术的发展,输尿管支架管在泌尿外科诊疗过程中的应用的越发普遍,广泛用于泌尿系结石术后、输尿管狭窄的治疗、泌尿道感染的治疗及肾功能的保护^[2],具有一定的临床应用价值。然而,输尿管支架管是一把双刃剑,其带来的并发症也愈发明显,主要包括:血尿、腰酸、支架管断裂、支架管遗忘、泌尿道感染、支架管附壁结石等。这些并发症可能影响患者的治疗效果,加重患者的经济负担,给患者的生活带来困扰。其中,输尿管支架管附壁结石常导致输尿管支架管取出困难、输尿管粘膜损伤或断裂等风险增加。输尿管支架管附壁结石,其本质为矿物质沉积在支架管表面和管腔内的一种结痂。输尿管支架管结痂使得其管壁钙化变脆,失去抗拉强度,在取出过程中极易断裂,损伤输尿管;输尿管支架管结痂可与输尿管黏膜发生相互作用,造成输尿管黏膜损伤^[3]。因此,输尿管支架管附壁结石需引起泌尿外科医师们的重视^[4-6]。本综述总结支架管附壁结石的成分、形成的风险因素、预防方法和难点,并概括支架管附壁结石评估和处理方法,旨在为输尿管支架管在泌尿外科临床应用的发展提供科学依据,进一步提升患者的就医、预后水平,改善其生活质量。

1 支架管附壁结石的成分

泌尿系结石主要成分有十几种,依据化学成分,大致可以分为五类:草酸钙类结石、磷酸钙类结石、尿酸类结石、磷酸铵镁结石和胱氨酸结石,其中原发结石大多为草酸钙类结石。有综述报道,在处理泌尿系结石手术中放置的输尿管支架管,其支架管附壁结石与原发结石成分不同,主要以尿酸类结石为主^[7];然而,其他研究表明,76%的支架管附壁结石与原发结石成分相同^[8],对于服用枸橼酸钾的患者,草酸钙和尿酸在支架管上的黏

附显著减少^[9];另有研究显示支架管附壁结石以草酸钙类结石为主,与原发性结石的主要成分一致^[10]。鉴于此,若手术中无结石标本留存,可通过分析其输尿管支架管附壁结石的成分,推测其原发结石的成分,为制定预防患者再次形成结石的方案提供一定的参考依据。

2 支架管附壁结石形成的风险因素

2.1 支架管附壁结石的形成机制 通常在输尿管支架管置入体内24h后,尿液中多糖蛋白已经聚集在管壁上形成调节膜,最终可能表现出3种不同结果:①支架管的调节膜未进一步演变;②多种细菌在糖蛋白复合体的调节膜上聚集并相互粘连,形成细菌生物膜;③形成结痂^[11-12]。见图1。Wollin等^[13]发现取出的输尿管支架管100%覆盖了调节膜,47%的支架管表面存在结痂,13%的支架管被细菌生物膜覆盖。另一项对输尿管支架管定植菌的研究报道,超过90%的输尿管支架管中存在定植菌,其中55%的支架管表面形成了生物膜^[14],而对定植菌的分类研究发现,主要病原体为大肠杆菌、链球菌和假单胞菌^[15]。此外,流行病学研究表明,细菌生物膜可能在支架管结痂的形成过程中起着关键作用^[16],但对支架表面生物膜的形成以及如何沉淀矿物质并诱导结痂形成尚不清楚。同时,哪些特定病原体可以促进结痂形成也没有得到专家共识,需要泌尿微生物组进行更深层次的研究进一步探索和明确。

2.2 支架管附壁结石的形成与滞留时间的关联性 1991年的一项单中心研究表明,输尿管支架管附壁结石形成的概率,在术后6周时取出支架管约为9%,在术后6~12周期间取出支架管则上升至48%,术后12周后取出支架管则高达77%,并且指出12周前取出输尿管支架管,可减轻由于输尿管支架管腔堵塞所引起的临床症状^[17]。2012年Kawahara等^[18]的研究再次证实了输尿管支架管结痂率在术后6周和术后12周时分别为57%和

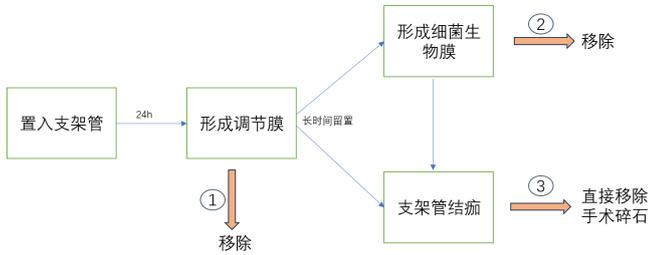


图1 支架管结痂形成示意图

76%。Geavlete 等^[19]总结了 50 000 例患者中留置输尿管支架管的并发症,发现输尿管支架管附壁结石的发生主要在留置支架管时间超过 6 周的患者,这充分说明了支架管附壁结石的形成与留置时间的长短密切相关。近些年使用的混合材料支架管滞留时间与支架管结痂率虽然未有大型临床研究数据,但据以上研究提示支架管结痂率可能随着支架管留置时间延长而增加。

2.3 支架管附壁结石的形成与支架管的物理特性的关联性 支架管的物理特性主要包括支架管的长短、口径、材质等。①支架管口径 研究发现输尿管支架管口径与支架管结痂有关,小于 6 Fr 的支架管表现出更高的结痂率,而 7 Fr 或更大的支架管表现出的结痂率较低,但支架管的长度与其结痂风险无关,推测其原因可能是输尿管支架管的置入可抑制输尿管蠕动,导致较细的支架管引流尿液流量较少^[18]。②支架管材料不同的混合物材料表现出不同的结痂倾向,Tunney 等^[14]在人造尿液中放置五种不同聚合物支架管,在 2 周后,有机硅和聚氨酯具有更高的抗结壳性,而 10 周后,有机硅抗结痂特性优于聚氨酯。Bouzidi 等^[20]的研究成果同样证实硅胶材料具有更低的结痂率和生物膜形成率。近些年金属支架旨在减轻支架管的并发症,并且增强其对外源性和内源性输尿管堵塞的抗压能力。常用于长期留置输尿管支架管的肿瘤患者中,表现出可以长时间留置而结痂率较小的特性。

2.4 支架管附壁结石的形成与泌尿道感染、尿路结石的关联性 泌尿道感染和尿路结石可导致支架管结痂风险。复杂性泌尿道感染、糖尿病、慢性肾功能不全可增加尿路细菌负荷从而导致支架管结痂^[21]。妊娠妇女支架管结痂可能与吸收性高钙尿症和高尿酸尿症有关^[22]。其他如尿路结石病史、饮食或吸收不良疾病可增加尿中钙、草酸盐和尿酸浓度从而加速了结痂的形成^[23-24]。

3 支架管附壁结石的预防途径和难点

3.1 抑制生物膜的形成 细菌定植形成生物膜是支架管结痂的关键,目前的研究主要集中在开发抑制生物膜形成的材料或生物涂层。细菌黏附过程是复杂的,存在多种机制,很难从单一途径抑制细菌的黏附;此外,尿液的成分可以改变支架管涂层生物活性从而抑制其抗黏附性^[25]。尿液中的糖蛋白、脂质、一些离子和细菌构成生物膜,使得输尿管支架管表明抗黏附性降低,研究表明尿蛋白阳性组附壁结石形成率较尿蛋白阴性组高^[26]。目前市场上使用的输尿管支架管由多种具有减少结痂特性的聚合物制成,主要成分是聚氨酯^[27]。近些年,国外有研究表明有机硅胶材料的支架管可以减少约 20% 的生物膜形成率^[10],Tunney

等^[14]的研究证明留置支架管 10 周,相比聚氨酯支架管的 100% 结痂率,有机硅胶支架管结痂率降低了约 30%。而目前市场上的支架管都是由专有的聚合物混合物组成,具体的材料成分并没有公布,且很少有这些新材料结痂敏感性的直接数据,几乎没有证据表明这些材料可以使支架管留置时间超过 3 个月。虽然文献证明聚合物材料可以减少结痂,但延长支架管留置时间无疑会增加支架管结痂概率,令临床医生在面对种类繁多的支架管时该做出怎样的选择产生困难。此外,据研究报道,一种亲水凝胶聚合物可以膨胀并保留水分,能够发挥减少细菌黏附的作用^[28],但相关产品并未得到有关机构的使用批准。因此,即使有很多研究者开展了一定量的相关研究,但目前仍无确定可行方案在临床中得以应用。输尿管支架管的材料有助于减少支架管附壁结石的形成,但更好的材料还需要进一步的被开发和尝试。在实际中,我们希望拥有更理想且价格合适的支架管被应用于临床,可以更好的减少输尿管支架管并发症。

3.2 添加生物涂层 可用作生物涂层的药物包括硝酸银、氧氟沙星及其他抗生素涂层,在动物实验中这些抗生素涂层显示出可以减少细菌生物膜,降低支架管结痂风险^[29],但抗生素生物涂层目前在临床试验中未获得理想效果,因此相关产品一直未上市使用。有研究认为糖胺聚糖是潜在有效的涂层材料成分,其中天然存在的糖胺聚糖——肝素,具有抗黏附作用,理论上可以减少细菌黏附,降低支架管结痂率^[30],但目前的研究结果尚存争议,研究显示肝素涂层支架可以减少支架管结痂的负担,减小结痂壳的厚度和降低结痂的覆盖率^[31-32],但也有研究指出肝素涂层并未减少细菌对支架管的黏附^[33],故肝素涂层支架的应用受到了限制。生物涂层的预防措施目前没有确切的临床效果,因此各种生物涂层材料均未被作为主要预防措施,但其仍可能是作为预防附壁结石形成的一种有效方法,我们期待更多及更好的生物涂层被发现。

3.3 使用金属支架 研究发现,对于需要长期留置输尿管支架管的梗阻患者,包括恶性肿瘤压迫输尿管、良性输尿管狭窄等,使用具有抗压特性、结痂较少的金属支架管一般可留置 1 年时间,与聚合物支架相比,可以实现更高的通畅率,减少了频繁更换支架管所带来的风险及经济负担^[34],但也有研究指出金属支架管长时间留置约 12 个月,在显微镜下可检出结痂成分^[35-36]。但这些临床研究样本量较小,缺乏广泛的临床适用性。一项体外研究提示金属支架管在尿液环境中 5 周后,表面结痂率可高达 80%^[37]。因此,金属支架管在体内的长时间留置仍需要慎重考虑和严密随诊观察。

3.4 补充柠檬酸盐 有研究认为通过补充尿液中柠檬酸盐可降低输尿管支架管结痂的发生率,可能是由于柠檬酸盐增加尿液 pH 值从而降低结痂的发生率^[38]。然而,最近的一项单中心前瞻性研究表明在留置输尿管支架管的患者中,服用柠檬酸钠者支架管结痂率略少于未服用柠檬酸钠者,但差异无统计学意义^[39],表明碱性柠檬酸盐药物对支架管结痂率无显著性影响,今后仍需要在较长时间输尿管支架管留置患者中进一步验证。

3.5 避免或减少支架的使用 防止输尿管支架管结痂最好的方法是减少或避免放置输尿管支架。研究报道简单的输尿管镜手术可以使用输尿管导管替代输尿管支架管并在留置 1~3 d 内拔除^[40],不增加患者疼痛的发生。也有研究指出输尿管结石

手术后,放置输尿管支架 0~3 d 与放置更长时间比较,在拔除输尿管支架管后非计划就诊的情况无统计学差异^[41],表明在输尿管镜结石术后可以在放置输尿管支架管 3 d 内拔除,能够避免留置支架管时间延长而引起的支架管结痂,这些研究结果为输尿管镜碎石手术后减少输尿管支架管留置时间提供了理论依据。另有一项研究表明,在提前置入输尿管支架管后的二期输尿管软镜碎石手术中,如术中使用输尿管导管鞘,术后可以避免置入输尿管支架管^[42]。但对于输尿管镜手术后不留置或短时间留置支架管的远期并发症,如输尿管狭窄,需要更多的研究去观察,而我们在实际应用中,可以尽可能在患者管腔条件优越的情况下,减少输尿管支架管的置入或留置时间。

4 支架管附壁结石的评估和处理

对于输尿管支架管结痂的评估,目前有两种不同的评分方法:FECal 分级和 KUB 评分。FECal 分级是 Acostal-Miranda 等根据结痂程度、结痂的位置及大小进行分级^[43]:第一级是只有膀胱端管壁有结痂;第二级是只有肾脏端管壁有结痂;第三级是肾脏端及近心端管壁有结痂;第四级是肾脏端和膀胱端管壁均有结痂;第五级是整个支架管管壁均有结痂。分级越高,支架管结痂的处理难度越大,这样的分级可以为临床医师选择治疗方案时提供依据。KUB 评分系统将支架管分为三个部分,即近端肾线圈、输尿管轴、远端膀胱线圈。对每个部分的结痂程度分别进行 1~5 分的评分,最后将三部分评分累计,最终得分用于评估输尿管支架管结痂的严重程度,得分越高,表明支架管的移除难度越大,需要多次手术及更长的手术时间的可能性越大^[44]。在 KUB 评分系统的基础上,进一步提出了 2 个重要的指标评估取出输尿管支架管的手术难易程度,即结痂的支架管覆盖率是否低于 50% 和结痂的直径是否小于 5 mm。两套评分系统各有其优点,因此在临床中可将两套评估系统相结合,如支架管结痂率低于 50%、结痂的直径 < 5 mm,应被归为轻度,可以尝试使用膀胱镜进行直接拔除,对输尿管粘膜无明显损伤;若结痂的直径 > 5 mm 和/或结痂的支架覆盖率 > 50%,则应该评估为重度,需要先将支架管附壁结石击碎,方可尝试拔出支架管。其中,远端膀胱圈采用膀胱镜碎石,输尿管轴使用输尿管镜软激光碎石;而近端肾线圈结痂不超过 1.5 cm 时,可使用体外冲击波或输尿管镜碎石,经皮肾镜被用于结痂直径 ≥ 1.5 cm^[45]。而 FECal 分级达到三级及以上时,一般需要采用多次手术或同时多种手术方式处理。最初,人们通常先采用截石位处理膀胱端结痂,后改用俯卧位行经皮肾镜处理肾脏端;近些年,泌尿外科医生也开始尝试使用俯卧劈腿位同时开展膀胱镜或输尿管镜碎石和经皮肾镜碎石,可以缩短手术时间、避免多次翻动体位^[46]。对于输尿管支架管附壁结石的患者,拔除输尿管支架管前,通过结合两种评分系统对支架管附壁结石进行评估,制定患者合适的治疗方案,避免造成患者支架管拔除困难,甚至损伤输尿管的风险发生。

5 未来展望

目前泌尿外科医师在经自然腔道手术操作后,留置输尿管支架管仍是主流操作,因此大量研究者在输尿管支架管的研究上不断地精进和不停地探索,可生物降解支架目前得到更多研究者的青睐,理论上其可以帮助患者避免因遗忘拔除支架管而

需要进行更复杂的手术和承担更多的经济负担,其次支架管持续降解而不断改变表面性状在一定程度上可减少细菌黏附^[47]。然而,现有可降解输尿管支架管暂无支架管结痂相关的比较研究,仍需要大样本前瞻性研究加以证明。生物材料(如抗菌肽、溶菌酶和精油)涂层支架研究主要希望通过生物材料减少细菌黏附和抑制生物膜形成,从而减少结痂的发生,虽然在临床前体内动物实验中,已证实其可以减少细菌生物膜,但目前仍缺乏临床试验结果^[48-49]。此外,国内外的一些地区和医院相应地开展了个性化输尿管支架管登记方案,主要在于提醒患者准时移除支架管,避免因遗忘支架管拔除时间而增加支架管结痂概率。但该登记方案并无统一、专业的标准以及统一开发的智能化系统予以支持应用,未来如能够研发成一套成熟的系统,如手机 app、微信小程序等,除提醒患者移除支架管外,还可以通过患者和医生操作系统,患者上传自身身体情况、基础疾病、留置支架管伴随症状等,医师上传支架管参数、结痂及拔除时间等数据,利用大数据可以提供该患者和类似患者留置输尿管支架管拔除的最佳方案。

6 总结

虽然目前输尿管支架管被广泛研究和不断创新研发,但迄今为止输尿管支架管结痂仍是不可避免的并发症,给留置输尿管支架管的患者增加了严重的痛苦和经济负担。新的支架管技术需要继续投入经费研发和创新,未来输尿管支架管材料的创新可能达到消除支架管结痂的目的。延长支架管留置时间必然会增加支架管结痂的风险,对于短期留置支架管的患者,如可降解支架管能够被合理应用,可以避免患者再次前往医院取出支架管,这可能是一个值得关注的方向。当前泌尿外科医师在临床应用中,应当尽可能地减少患者支架管留置的时间,对确需长时间留置的患者,可根据患者自身条件和遵循患者个人意愿选择金属支架或涂层支架。当患者支架管结痂形成时,应当仔细评估支架管结痂的严重性,选择合理的治疗方案,避免盲目拔除支架管时造成输尿管的损伤。

参考文献

- [1] FINNEY R P. Experience with new double J ureteral catheter stent[J]. J Urol, 1978,120(6): 678-681.
- [2] TOMER N, GARDEN E, SMALL A, et al. Ureteral stent encrustation: epidemiology, pathophysiology, management and current technology[J]. J Urol, 2021,205(1): 68-77.
- [3] CAO Z, ZHAO J, YANG K. Cu-bearing stainless steel reduces cytotoxicity and crystals adhesion after ureteral epithelial cells exposing to calcium oxalate monohydrate[J]. Sci Rep, 2018,8(1): 14094.
- [4] GEAVLETE P, GEORGESCU D, MULTESCU R, et al. Ureteral stent complications - experience on 50,000 procedures [J]. J Med Life, 2021,14(6): 769-775.
- [5] GADZHIEV N, GORELOV D, MALKHASYAN V, et al. Comparison of silicone versus polyurethane ureteral stents: a prospective controlled study[J]. BMC Urol, 2020,20(1): 10.

- [6] RAMKUMAR R R, VEREECKEN S, WILLIAMS T, et al. Considerations in ureteral stent selection in order to minimize symptoms[J]. *Can J Urol*, 2022,29(4): 11231-11242.
- [7] 王志明, 续晓方, 郭丰富. 双J管附壁结石研究进展简述[J]. *微创泌尿外科杂志*, 2020,9(3): 212-216.
- [8] 章又云, 李恭会. 输尿管支架管石痂与原发结石成分的对比及成因分析[J]. *中华医学杂志*, 2020, 100(14):1084-1085.
- [9] ROUPRÊT M, DAUDON M, HUPERTAN V, et al. Can ureteral stent encrustation analysis predict urinary stone composition?[J]. *Urology*, 2005,66(2): 246-251.
- [10] BOUZIDI H, TRAXER O, DORÉ B, et al. Characteristics of encrustation of ureteric stents in patients with urinary stones [J]. *Prog Urol*, 2008,18(4): 230-237.
- [11] GRISTINA A G. Biomaterial-centered infection: microbial adhesion versus tissue integration[J]. *Science*, 1987, 237 (4822): 1588-1595.
- [12] LANGE D, BIDNUR S, HOAG N, et al. Ureteral stent-associated complications--where we are and where we are going[J]. *Nat Rev Urol*, 2015,12(1): 17-25.
- [13] WOLLIN T A, TIESZER C, RIDDELL J V, et al. Bacterial biofilm formation, encrustation, and antibiotic adsorption to ureteral stents indwelling in humans[J]. *J Endourol*, 1998,12 (2): 101-111.
- [14] TUNNEY M M, KEANE P F, JONES D S, et al. Comparative assessment of ureteral stent biomaterial encrustation[J]. *Biomaterials*, 1996,17(15): 1541-1546.
- [15] SHABEENA K S, BHARGAVA R, MANZOOR M, et al. Characteristics of bacterial colonization after indwelling double-J ureteral stents for different time duration[J]. *Urol Ann*, 2018,10(1): 71-75.
- [16] KHODDAMI S, CHEW B H, LANGE D. Problems and solutions of stent biofilm and encrustations: a review of literature [J]. *Turk J Urol*,2020,46(Supp. 1):S11-S18.
- [17] EL-FAQIH S R, SHAMSUDDIN A B, CHAKRABARTI A, et al. Polyurethane internal ureteral stents in treatment of stone patients: morbidity related to indwelling times[J]. *J Urol*, 1991,146(6): 1487-1491.
- [18] KAWAHARA T, ITO H, TERAHO H, et al. Ureteral stent encrustation, incrustation, and coloring: morbidity related to indwelling times[J]. *J Endourol*, 2012,26(2): 178-182.
- [19] GEAVLETE P, GEORGESCU D, MULTESCU R, et al. Ureteral stent complications--experience on 50,000 procedures [J]. *J Med Life*,2021,14(6):769-775.
- [20] BOUZIDI H, TRAXER O, DORE B, et al. Caractéristiques des incrustations des endoprothèses urétérales chez les patients lithiasiques [J]. *Prog Urol*,2008,18(4):230-237.
- [21] BEYSENS M, TAILLY T O. Ureteral stents in urolithiasis[J]. *Asian J Urol*, 2018,5(4): 274-286.
- [22] EVANS H J, WOLLIN T A. The management of urinary calculi in pregnancy[J]. *Curr Opin Urol*, 2001,11(4): 379-384.
- [23] LEGRAND F, SAUSSEZ T, RUFFION A, et al. Double loop ureteral stent encrustation according to indwelling time: results of a European multicentric study[J]. *J Endourol*, 2021, 35(1):84-90.
- [24] 许悦贤, 李国翔, 郝宗耀. 输尿管支架结痂的原因分析及石痂与原发结石成分的比较[J]. *中华腔镜泌尿外科杂志(电子版)*, 2022,16(3):219-223.
- [25] TORRECILLA C, FERNÁNDEZ-CONCHA J, CANSINO J R, et al. Reduction of ureteral stent encrustation by modulating the urine pH and inhibiting the crystal film with a new oral composition: a multicenter, placebo controlled, double blind, randomized clinical trial[J]. *BMC Urol*, 2020,20(1): 65.
- [26] 曹祥明, 刘嘉铭, 廖邦华, 等. 双J管管壁结石形成影响因素的横断面研究[J]. *四川大学学报(医学版)*, 2015,46(3): 431-435.
- [27] FORBES C, SCOTLAND K B, LANGE D, et al. Innovations in ureteral stent technology[J]. *Urol Clin North Am*, 2019,46 (2): 245-255.
- [28] AHMED E M. Hydrogel: preparation, characterization, and applications: a review[J]. *J Adv Res*, 2015,6(2): 105-121.
- [29] MULTANEN M, TAMMELA T L, LAURILA M, et al. Biocompatibility, encrustation and biodegradation of ofloxacin and silver nitrate coated poly-L-lactic acid stents in rabbit urethra[J]. *Urol Res*, 2002,30(4): 227-232.
- [30] AL-AOWN A, KYRIAZIS I, KALLIDONIS P, et al. Ureteral stents: new ideas, new designs[J]. *Ther Adv Urol*, 2010,2(2): 85-92.
- [31] CAUDA F, CAUDA V, FIORI C, et al. Heparin coating on ureteral double J stents prevents encrustations: an in vivo case study[J]. *J Endourol*, 2008,22(3): 465-472.
- [32] RIEDL C R, WITKOWSKI M, PLAS E, et al. Heparin coating reduces encrustation of ureteral stents: a preliminary report[J]. *Int J Antimicrob Agents*, 2002,19(6): 507-510.
- [33] LANGE D, ELWOOD C N, CHOI K, et al. Uropathogen interaction with the surface of urological stents using different surface properties[J]. *J Urol*, 2009,182(3): 1194-1200.
- [34] ASAKAWA J, IGUCHI T, TAMADA S, et al. Treatment outcomes of ureteral stenting for malignant extrinsic ureteral obstruction: a comparison between polymeric and metallic stents[J]. *Cancer Manag Res*, 2018,10: 2977-2982.
- [35] KALLIDONIS P S, GEORGIPOULOS I S, KYRIAZIS I D, et al. The full metallic double-pigtail ureteral stent: review of the clinical outcome and current status[J]. *Indian J Urol*, 2015,31(1): 8-14.
- [36] LIATSIKOS E, KALLIDONIS P, KYRIAZIS I, et al. Ureteral obstruction: is the full metallic double-pigtail stent the way to go?[J]. *Eur Urol*, 2010,57(3): 480-486.
- [37] SHAHEEN T, EDIRISINGHE T, GABRIEL M, et al. In vitro

- encrustation of a semi-permanent polymer-covered nitinol ureter stent: an artificial urine model[J]. *Urolithiasis*, 2014,42(3): 203-207.
- [38] PEARLE M S, GOLDFARB D S, ASSIMOS D G, et al. Medical management of kidney stones: AUA guideline[J]. *J Urol*, 2014,192(2): 316-324.
- [39] CH'NG L S, TOH C C, SATHIYANANTHAN J R, et al. Does alkalinised urine reduce the rate of encrustation in patients with ureteric stents? A randomised controlled study[J]. *Int Urol Nephrol*, 2022,54(3): 509-515.
- [40] 梁柯, 柯尊金, 金刚, 等. 简单输尿管结石钬激光碎石术后留置输尿管导管与双J管的对比研究[J]. *中国内镜杂志*, 2020,26(9):55-59.
- [41] BOYKO A W, MERHEB S, HILL S, et al. Ureteral stenting after routine ureteroscopy: is earlier stent removal feasible? [J]. *Can J Urol*, 2021,28(5): 10865-10870.
- [42] ASTROZA G, CATALÁN M, CONSIGLIERE L, et al. Is a ureteral stent required after use of ureteral access sheath in presented patients who undergo flexible ureteroscopy? [J]. *Cent European J Urol*, 2017,70(1): 88-92.
- [43] ACOSTA-MIRANDA A M, MILNER J, TURK T M. The Fecal Double-J: a simplified approach in the management of encrusted and retained ureteral stents[J]. *J Endourol*, 2009, 23(3): 409-415.
- [44] ARENAS J L, SHEN J K, KEHEILA M, et al. Kidney, ureter, and bladder (KUB): a novel grading system for encrusted ureteral stents[J]. *Urology*, 2016,97: 51-55.
- [45] TOMER N, GARDEN E, SMALL A, et al. Ureteral stent encrustation: epidemiology, pathophysiology, management and current technology[J]. *J Urol*, 2021,205(1): 68-77.
- [46] WANG D, SUN H, CHEN L, et al. Endoscopic combined intrarenal surgery in the prone-split leg position for successful single session removal of an encrusted ureteral stent: a case report[J]. *BMC Urol*, 2020,20(1): 37.
- [47] CHEW B H, LANGE D. In vivo evaluation of the third generation biodegradable stent: a novel approach to avoiding the forgotten stent syndrome[J]. *J Urol*, 2013,189(2):719-725.
- [48] GAO L, WANG Y, LI Y, et al. Biomimetic biodegradable Ag@Au nanoparticle-embedded ureteral stent with a constantly renewable contact-killing antimicrobial surface and antibiofilm and extraction-free properties[J]. *Acta Biomater*, 2020,114: 117-132.
- [49] MONDAL A, DEVINE R, ESTES L, et al. Highly hydrophobic polytetrafluoroethylene particle immobilization via polydopamine anchor layer on nitric oxide releasing polymer for biomedical applications[J]. *J Colloid Interface Sci*, 2021,585: 716-728.

(2022-11-05 收稿)
(本文编校: 闵敏, 张迪)