

吲哚菁绿近红外荧光显影技术在机器人辅助腹腔镜上尿路修复重建手术中的应用（附手术视频）



扫码观看视频

左佳乐, 李笑然, 何慕琪, 马腾, 石玮, 包军胜

(兰州大学第二医院泌尿外科 甘肃 兰州 730030)

摘要 目的: 探讨吲哚菁绿 (ICG) 近红外荧光 (NIRF) 实时显影技术在机器人辅助腹腔镜上尿路修复重建手术中的可行性及临床应用价值。**方法:** 回顾性分析 2021 年 3 月—2023 年 10 月兰州大学第二医院收治的 8 例行吲哚菁绿引导下机器人辅助腹腔镜上尿路重建修复手术患者的临床资料, 8 例患者术中均经肾造瘘管和 (或) 输尿管导管注入吲哚菁绿溶液, 通过机器人荧光实时显影技术辅助辨认输尿管, 指导手术策略。收集患者基线资料、手术信息及术后随访等资料进行分析。**结果:** 8 例患者均顺利完成手术, 其中肾盂成形术 3 例, 舌黏膜补片代输尿管术 2 例, 输尿管端端吻合术、膀胱瓣代输尿管术及自体肾移植术各 1 例, 均借助 ICG-NIRF 技术完成输尿管狭窄段的精准定位及分离, 无中转开腹。8 例患者平均手术时长 257.5 (140~330) min, 平均术中估计出血量 55 (5~150) ml, 1 例二次肾盂成形术患儿术中结肠粘连严重, 机械损伤出现肠破裂, 同期缝合修复受损结肠, 术后愈合良好, 其余患者术后恢复良好, 无术中及术后短期并发症出现。8 例患者平均随访时间 5.5 (2~19) 月, 均未见吲哚菁绿副反应。8 例患者术后 3 月复查泌尿系 B 超显示肾积水缓解, 梗阻解除。3 例患者术后 4 月行泌尿系肾盂输尿管逆行造影示输尿管通畅, 拔除造瘘管。**结论:** 吲哚菁绿荧光实时显影技术在复杂机器人上尿路修复重建手术中显示输尿管及狭窄段准确可靠, 多种技术的联合有助于实现微创和精准化, 值得临床推广。

关键词 吲哚菁绿; 舌黏膜补片; 输尿管狭窄; 自体肾移植; 机器人辅助手术

中图分类号 R608 R695 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2024) 03-0412-08

Application of indocyanine green and near-infrared fluorescence imaging in robot-assisted laparoscopic urinary tract repair and reconstruction surgery(with video)

ZUO Jiale, LI Xiaoran, HE Qiqi, MA Teng, SHI Wei, BAO Junsheng

(Department of Urology, the Second Hospital of Lanzhou University, Lanzhou, 730030, China)

Abstract Objective: To explore the feasibility and the clinical application of indocyanine green (ICG) and near-infrared

收稿日期: 2024-01-02 录用日期: 2024-03-08

Received Date: 2024-01-02 Accepted Date: 2024-03-08

基金项目: 国家自然科学基金 (82160146); 兰州大学第二医院萃英科技创新计划项目 (CY2020-MS08); 兰州大学第二医院萃英科技创新计划项目 (CY2021-MS-A12)

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China (82160146); Cuiying Scientific and Technological Innovation Program of the Second Hospital of Lanzhou University (CY2020-MS08); Cuiying Scientific and Technological Innovation Program of the Second Hospital of Lanzhou University (CY2021-MS-A12)

通讯作者: 包军胜, Email: bjshurol@qq.com

Corresponding Author: BAO Junsheng, Email: bjshurol@qq.com

引用格式: 左佳乐, 李笑然, 何慕琪, 等. 吲哚菁绿近红外荧光显影技术在机器人辅助腹腔镜上尿路修复重建手术中的应用 (附手术视频) [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2024, 5 (3): 412-419.

Citation: ZUO J L, LI X R, HE Q Q, et al. Application of indocyanine green and near-infrared fluorescence imaging in robot-assisted laparoscopic urinary tract repair and reconstruction surgery (with surgical video)[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(3): 412-419.

fluorescence (NIRF) imaging in robot-assisted laparoscopic upper urinary tract repair and reconstruction surgery. **Methods:** The clinical data of 8 patients who underwent ICG-guided robot-assisted laparoscopic upper urinary tract repair and reconstruction in the Second Hospital of Lanzhou University between March 2021 to October 2023 were retrospectively analyzed. ICG solution was injected into the 8 patients through nephrostomy tube and / or ureteral catheter during operation. Real-time fluorescence imaging technique was used to identify the ureter to help surgical decision-making. Patient characteristics, perioperative outcomes, and complications were analyzed. **Results:** All the 8 cases of surgery were successfully completed without conversion to laparotomy, including 3 cases of pyeloplasty, 2 cases of lingual mucosal graft ureteroplasty, 1 case of ureteroureterostomy, 1 case of bladder muscle flap ureteroplasty and 1 case of kidney autotransplantation. ICG-NIRF technology was used to accurately locate and separate the ureteral stenosis. The average operative time of the 8 patients was 257.5(140 to 330)min, and the average intraoperative blood loss was 55(5 to 150)ml. A child who underwent secondary pyeloplasty for intestinal rupture caused by severe colonic adhesion and mechanical injury. The ascending colon was repaired in one stage and healed well after surgery. The other patients recovered well after the operation, and no intraoperative or short-term postoperative complications occurred. The average follow-up time was 5.5(2 to 19)months, and no ICG side effect was found in the 8 patients. B-ultrasound of urinary system showed that hydronephrosis and obstruction were relieved 3 months after surgery in the 8 patients. Antegrade urography of urinary pelvis and ureter was performed in 3 patients 4 months after surgery, and the results indicated that the ureter was unobstructed and the fistula tube was removed. **Conclusion:** ICG real-time imaging technique is accurate and reliable in displaying ureter and stenosis during complex robotic upper urinary tract reconstruction surgery. The combination of ICG and NIRF in robot-assisted urologic surgery can achieve minimally invasive and accurate operation, which is worthy of clinical promotion.

Key words Indocyanine Green; Lingual Mucosal Graft; Ureteral Stricture; Kidney Autotransplantation; Robot-assisted Surgery

输尿管狭窄是泌尿外科的常见病，可由手术损伤、恶性肿瘤、结石、放疗、纤维化、感染和创伤等引起，其中由医源性损伤及结石引起的占半数以上，且泌尿科手术和非泌尿科手术导致的输尿管狭窄患者在年龄、性别和输尿管损伤部位方面存在显著差异^[1-2]。上尿路修复手术应基于输尿管损伤的位置及长度等多种因素选择合适的手术方式，术中明确输尿管病变的位置、长度以及病变周围组织条件是手术成功的关键^[3]。机器人辅助腹腔镜技术具有三维高清成像、器械精细灵活、操作精准稳定、符合人体工程学等优势，已在泌尿外科上尿路修复领域得到广泛应用^[4]。吲哚菁绿（Indocyanine Green, ICG）已在外科各个专科中得到运用，如普通外科、皮肤科、眼科和心脏外科等^[5-7]。有文献报道，ICG在泌尿外科的使用有助于在肾部分切除术中区分正常肾实质和肿瘤，指导选择性动脉夹闭^[8-9]；在前列腺癌根治术中辅助显影淋巴结及淋巴回流，有助于指导前哨淋巴结清扫^[10]；在肾上腺切除术中加强术中肿瘤定位等^[11]。理论上ICG输尿管注射后，利用机器人近红外荧光显影技术可帮助术者快速辨认输

尿管及其狭窄段，从而缩短手术时间，保护血液供应，但目前国内外关于上尿路重建手术中应用ICG的相关报道较少^[12-13]。本研究回顾分析2021年3月—2023年10月兰州大学第二医院收治的8例医源性损伤导致的输尿管狭窄患者，均根据具体输尿管狭窄情况施行相应的上尿路重建手术，术中借助ICG-NIRF显影技术进行输尿管狭窄段的精准定位及分离并顺利完成手术，现报道如下。

1 资料与方法

1.1 患者资料 输尿管狭窄患者共8例（见表1），男性5例，女性3例，平均年龄41（10~48）岁，平均体重指数22.6（10.7~31.2）kg/m²，其中6例患者存在腰痛症状。6例输尿管狭窄患者考虑结石或钬激光碎石损伤所致，1例为妇科手术损伤所致，1例考虑直肠癌根治术及术后放疗所致。8例输尿管狭窄患者中，左侧5例，右侧3例，3例为肾盂输尿管连接处（Ureteropelvic Junction, UPJ）狭窄，2例为上段长段狭窄，2例为中段狭窄，1例为多处长段狭窄。初次行上尿路重建手术5例，二次手术3例。7例患者

表 1 患者术前信息
Table 1 Preoperative information of patients

患者 编号	性别	年龄 (岁)	BMI (kg/m ²)	发病 症状	狭窄原因	肾造瘘及双 J 管留置情况	狭窄侧	狭窄 位置	尿培养 性结果
1	男	48	23.1	腰痛	钦激光碎石	肾造瘘 + 双 J 管	左侧	UPJ	阴性
2	男	45	27.1	腰痛	钦激光碎石 + 同期开 放肾盂成形	肾造瘘 + 双 J 管	右侧	上段	阴性
3	男	44	30.2	腰痛	钦激光碎石	双 J 管	左侧	多段	阴性
4	女	48	19.1	腰痛	妇科手术损伤	肾造瘘 + 双 J 管	右侧	中段	阴性
5	男	10	10.7	无	腹腔镜肾盂成形术 + 经皮肾镜钦激光碎石	肾造瘘 + 双 J 管	右侧	UPJ	阴性
6	女	70	23.1	无	直肠癌根治术 + 放疗	肾造瘘 + 双 J 管	左侧	中段	大肠埃 希菌
7	女	23	16.2	腰痛	钦激光碎石	肾造瘘 + 双 J 管	左侧	上段	阴性
8	男	41	31.2	腰痛	腹腔镜肾盂成形术 + 同期肾盂切开取石	肾造瘘 + 双 J 管	左侧	UPJ	阴性

于术前行患肾造瘘和输尿管导管置入，1 例患者于术中置入双 J 管，便于 ICG 注入。术前已完善顺（逆）行尿路造影（如图 1）以及泌尿系 CT 成像等常规化验检查，均无 ICG 使用禁忌证及其他手术禁忌证，所有患者在完全披露后（包括输尿管内注射 ICG 的不良反应尚未明确）均同意输尿管内 ICG 给药，均签署手术知情同意书和超说明书用药知情同意书。

1.2 手术方法 患者于全麻下取健侧倾斜 60°~90°侧卧位。留置 F16 双腔导尿管。于患侧腹直肌外侧缘平脐位置作 2 cm 切口置入 8 mm Trocar 作为镜头孔，建立 CO₂ 气腹，气腹压力维持在 12 mmHg，置入内窥镜。直视下距离镜头孔左侧 8 cm 锁骨中线位置处作 8 mm 横行切口置入 8 mm Trocar 作为 3 号机械臂孔，在镜头孔患侧腋前线位置横作 8 mm 行切口置入 8 mm Trocar 作为 1 号机械臂孔。以左侧为例，在患侧麦氏点位置处作 12 mm 横行切口置入 12 mm Trocar 作为辅助孔。将移动床旁机械臂系统推至患者背侧，连接摄像系统及机械臂。

手术步骤：腔镜下观察腹腔内解剖结构，沿结肠旁沟打开并将结肠推开，沿肾表面依次锐

性分离，游离显露肾盂及输尿管上段，通过肾造瘘管顺行或输尿管导管逆行各注入 ICG 20 ml（50 mg）之后用 10 ml 生理盐水冲洗管路，注射后立即夹住输尿管导管和肾造瘘管，以最大限度地将 ICG 保持在输尿管内。留置 5 min，开启达芬奇机器人 Firefly™ 荧光模式，观察输尿管狭窄部位，荧光模式下可见肾盂输尿管走形，精准判断狭窄段，若狭窄段 ≤ 2 cm，行狭窄段切开输尿管端端吻合或肾盂成形术；若狭窄段 > 2 cm，行自体组织代输尿管术。不作过多游离，从输尿管扩张段以上剖开输尿管，上下至正常段 0.5 cm，依据狭窄和需要补片的长度和宽度获取舌黏膜或其他组织替代材料（病例 1、3 分别获取 5 cm × 2 cm、3 cm × 2 cm 的梭形舌黏膜组织片，病例 6 取 3 cm × 2 cm 膀胱肌瓣）。组织瓣置入腹腔内，覆盖于剖开的输尿管狭窄部位，4-0 可吸收线连续缝合一侧壁后于输尿管内放置导丝，顺导丝在输尿管内留置 F5 输尿管支架管，表面用脂肪组织覆盖，可吸收线缝合另外一侧壁。检查术野无活动性出血后，由辅助孔处引出引流管，分别缝合切口并丝线固定引流管，结束手术（如图 2）。

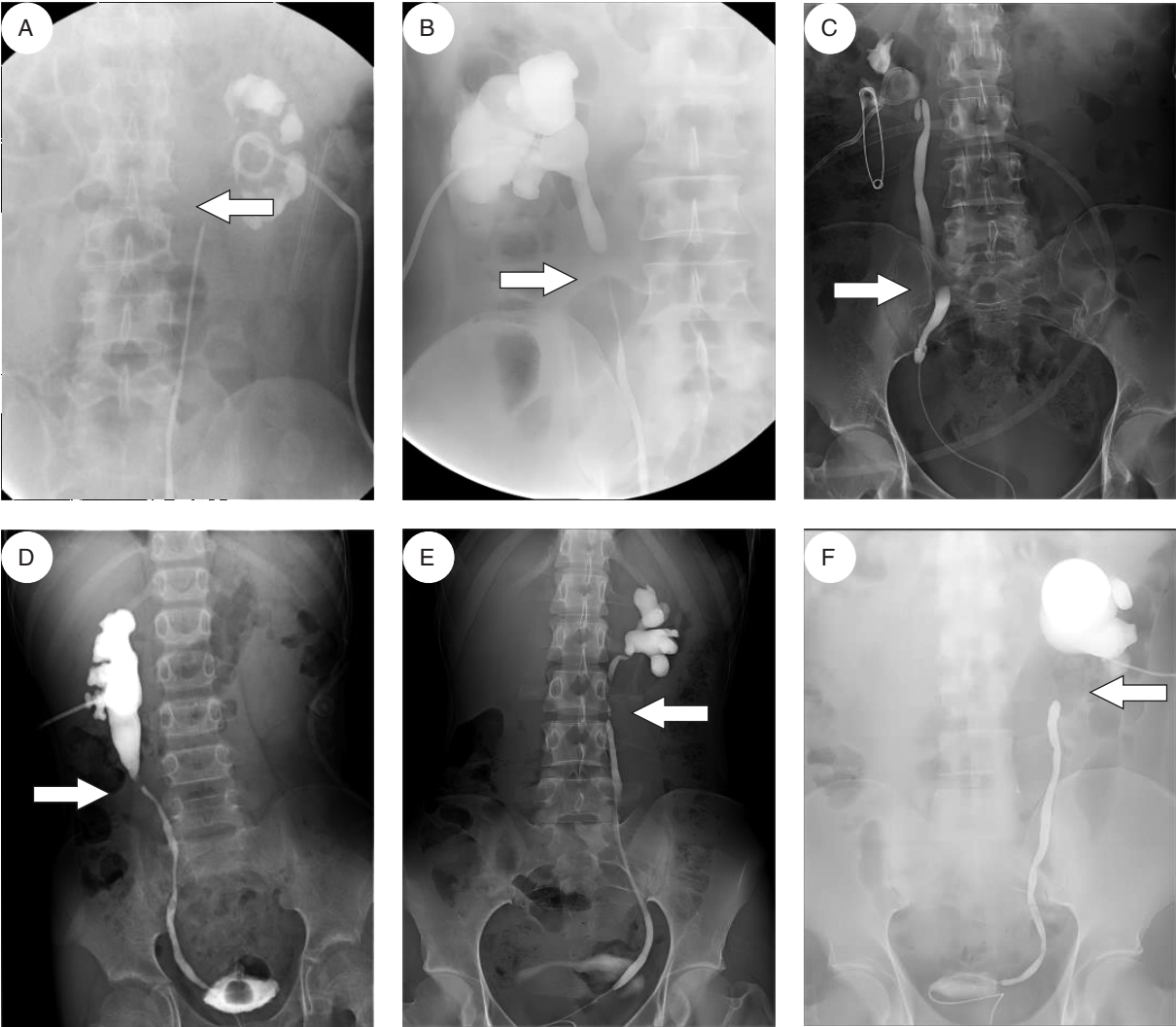


图 1 部分患者术前顺行及逆行尿路造影
Figure 1 Preoperative anteroposterior and retrograde urography in some patients
注：白色箭头示输尿管狭窄处

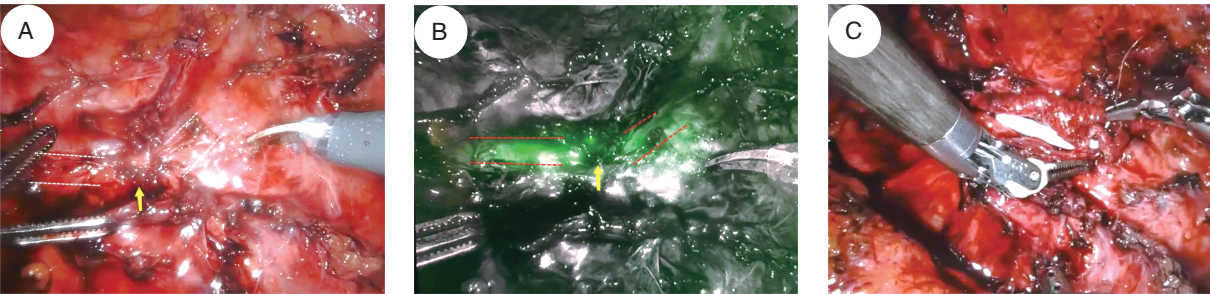


图 2 舌黏膜补片代输尿管术中图
Figure 2 Intraoperative view of lingual mucosal graft ureteroplasty
注：A. 正常视野下输尿管狭窄段及瘢痕组织（黄色箭头），虚线区域为正常输尿管；B. 近红外荧光视野下输尿管狭窄段及瘢痕组织（黄色箭头），虚线区域为正常输尿管；C. 舌黏膜补片后壁吻合

术后处理：尿管留置 1~2 周，观察有无出血、发热、脏器损伤及吻合口漏尿等并发症出现，采用 Clavien-Dindo 分类标准对围手术期并发症进行分级。术后 2 个月拔除输尿管支架管，有肾造瘘患者行泌尿系顺行造影评估手术疗效，梗阻解除则拔除肾造瘘管，术后 3 月复查泌尿系超声或 CT 评估是否有影像学改善，此后每 6 月复查肾积水及肾功能情况。

2 结果

ICG 溶液顺行及逆行注入输尿管内，在 NIRF 引导下完成输尿管的识别、狭窄段的定位及分离。8 例手术均顺利完成（见表 2），平均手术时长 257.5（140~330）min，术中平均出血量 55（5~150）ml，术中估计输尿管狭窄段平均长度为 3.7（1.5~10）cm，无中转开腹手术。术后平均拔除引流管时间 12.1（6~20）d，术后平均拔除尿管时间 13（3~30）d，术后平均住院时间 8（5~11）d。1 例二次肾盂成形术患儿术

中结肠粘连严重，机械损伤出现肠破裂，同期缝合修复受损结肠，术后愈合良好，未出现肠痿。其余患者术后恢复良好，无术中及术后短期并发症出现。平均随访时间 5.5（2~19）个月，未见 ICG 副反应发生。3 例患者术后 4 月内行泌尿系肾盂输尿管顺行造影示梗阻解除（如图 3），拔除肾造瘘管，平均肾造瘘管留置时间为 4.7（3~8）个月。病例 2 及病例 3 患侧肾小球滤过率（Glomerular Filtration Rate, GFR）由术前 16.8 ml/min、12.9 ml/min 恢复至术后 3 月的 27.8 ml/min、22.6 ml/min，血肌酐由术前 112 ummol/L、166.6 ummol/L 降至基本正常。8 例患者术后 3 月复查泌尿系超声，显示患侧肾积水较术前有不同程度的改善。截至 2023 年 12 月，除 1 例近期行肾盂成形术患者由于 D-J 留置管时间不足（肾造瘘管已于术后 2 周拔除）尚未拔除外，其余患者肾造瘘管及输尿管支架管均已拔除。

表 2 患者手术及术后随访信息
Table 2 Operation and postoperative follow-up information of patients

患者 编号	手术名称	术中 所测 狭窄 长度 (cm)	估计 术中 出血 (ml)	手术 时长 (min)	引流 管留 置天 数 (d)	尿管 留置 天数 (d)	术后 住院 天数 (d)	并发 症	DJ 管留 置情况 (month)	肾造瘘管 留置情况 (month)	术后随 访时间 (month)
1	左侧肾盂成形术 + 肾盂切开取石术	2	50	300	20	12	7	无	2	4	3
2	右侧舌黏膜输尿 管修补术	4	50	330	14	14	7	无	3	3	6
3	左侧自体肾移植	10	150	250	9	3	11	无	2	未留置	19
4	右侧输尿管端端 吻合	1.5	20	140	7	8	8	无	4	7	4
5	右侧肾盂瓣肾盂 成形术	2	5	270	7	10	8	肠损 伤	4	4	3
6	左侧膀胱瓣代输 尿管术	3	100	250	14	30	8	无	2	8	3
7	左侧舌黏膜输尿 管修补术	4	50	280	6	7	8	无	3	4	4
8	左侧肾盂成形术	3	20	240	20	20	5	无	未取	3	2

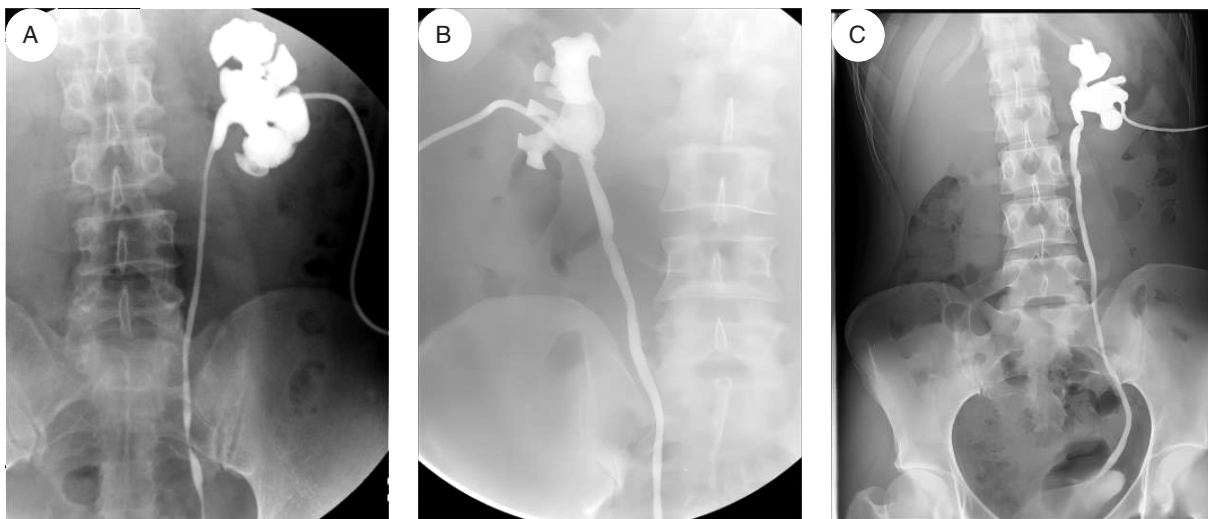


图3 部分患者术后造影

Figure 3 Postoperative urography of some patients

注：A. 病例1；B. 病例2；C. 病例7

3 讨论

尽管术中术前输尿管支架、膀胱镜等已被用于预防医源性输尿管损伤，但仍难以达到满意的临床效果。本研究中的8例输尿管狭窄患者均为医源性损伤所致，此类患者往往需要留置肾造瘘管或输尿管支架管，这对他们的生活质量造成了极大的影响^[14]。输尿管损伤患者应首选手术治疗，根据输尿管狭窄的部位及长度不同，手术策略的选择亦有差异：①尿管镜下狭窄段内切开及球囊扩张（狭窄段 $<1\text{ cm}$ ）；②输尿管膀胱再植术（输尿管下段狭窄，联合使用膀胱肌瓣或膀胱腰大肌悬吊术可获得额外的修复长度）^[15]；③肾盂成形术或肾盂输尿管成形术（肾盂输尿管连接部狭窄）；④输尿管端端吻合（中上段输尿管狭窄 $<2\text{ cm}$ ）；⑤自体组织替代输尿管或自体肾移植。输尿管狭窄段过长或多段狭窄无法满足无张力吻合时，则采用自体组织移植进行修复，常见的组织类型包括消化道组织（如回肠、阑尾、结肠）和口腔黏膜（颊黏膜、舌黏膜），还有腹膜、血管和包皮等其他组织类型^[16]。上尿路修复重建手术一直以来都是泌尿外科手术的一大难点，其中组织代输尿管或自体肾移植手术更是具有技术难度大、并发症发生率高的特点，对于长段、

多段输尿管狭窄患者，其受损输尿管往往与周围组织粘连严重或解剖走行异常，特别是当潜在的病理导致正常筋膜平面闭塞和/或输尿管纤维性包裹时，病变的输尿管在术中更加难以辨认和分离。因此，在修复重建病变输尿管时，需要明确输尿管病变的病因、位置、长度以及病变周围组织条件，而如何精准找到输尿管及其狭窄部位成为关键点。

ICG是一种荧光染料，被近红外荧光激活后可以实时显示所需的解剖结构。作为一种实时造影剂，ICG因其组织穿透能力强、信噪比高、安全性优异等特点，非常适合术中使用。目前，ICG结合机器人近红外荧光成像技术已在外科各专科中得到广泛应用^[17-20]。Bjurlin M A等人^[21]首先尝试在上尿路重建手术中静脉注射ICG以确认吻合后组织灌注是否良好。Lee Z等人^[22]将ICG注入输尿管内直接进行荧光显影，发现其在术中能够实时、准确地识别健康与病变输尿管，且输尿管腔内注射ICG能够克服静脉注射产生的背景干扰。国内的北京大学第一医院李学松团队先后报道了7例及11例在机器人上尿路手术中应用ICG的案例，证明术中向输尿管内注射ICG后，借助于NIRF的可视化可以识别、定位输尿管狭窄，从而提高输尿管重建手术的临

床疗效^[23-24]。

笔者团队认为,一些初次尿路重建手术的成功率可能不会受到 ICG-NIRF 成像的影响,ICG-NIRF 这项技术可能更适合二次修复等复杂的上尿路重建手术,尤其对输尿管近端长段狭窄的患者。本研究中的 8 例患者均有既往输尿管手术病史,再次手术的难度极大,若行开放手术,术中输尿管的定位相对困难,周边粘连严重,完全游离输尿管则可能导致输尿管坏死,即使短段的输尿管狭窄在开放手术后也难以实现端端吻合。ICG 输尿管内注射后,由于尿路上皮细胞不具备吸收能力,只有输尿管在 NIRF 下发出荧光,其他组织无背景荧光,这特别有助于指导术者精确判断所需切除的狭窄输尿管的长度及选择适当的手术方式进行重建。通过 ICG 实时显影,术中观测到病例 1、4、8 的输尿管狭窄长度较短,遂直接行输尿管端端吻合及肾盂成形术。病例 5 患儿既往右侧肾盂成形术后出现尿漏、感染,行肾盂瓣肾盂成形术,术中结肠粘连严重,机械损伤出现肠破裂,同期缝合修复受损结肠,术后愈合良好。病例 2 及病例 7 输尿管狭窄长度约 4 cm,行口腔舌黏膜代输尿管术,病例 6 行膀胱瓣代输尿管术。病例 3 术中见输尿管肾盂连接处下段约 2 cm 处明显狭窄,向下纵行探查约 4 cm 后,仍见输尿管狭窄僵硬,从留置的输尿管导管处注入 ICG,调整到荧光视野后,可见输尿管狭窄下端平髂血管交界处,置入输尿管导管后测量狭窄长度约 10 cm,考虑患者左侧分肾功能重度受损,术前 GFR 为 12.9 ml/min,且患者输尿管长段狭窄,管腔消失,管壁纤维化,行输尿管舌黏膜修补的可行性小,再考虑肠代输尿管后肾功能及尿液排空的情况不好,术中反复与患者家属协商后,家属要求保留肾脏,最后同意行自体肾移植。

整合手术机器人的微创及缝合优势、荧光模块的定位优势以及组织移植,能降低输尿管重建手术的难度,提高临床疗效。此外,术中应遵守 Touchless 原则:①输尿管游离时避免过

度夹持,输尿管外膜和血管周围脂肪组织保持完好;②术中无异物,减少 Hem-o-lock 血管及缝线的使用;③输尿管游离时尽量在输尿管床上进行,严禁钝性撕拉;④肾下极不作过多游离,肾盂区域肾周筋膜作帘状保留用于覆盖;⑤低张力对等吻合,引流管远离吻合口。除了辨别定位输尿管及其狭窄部位和长度,还可以在重建吻合完成后,通过静脉注射 ICG 明确重建组织血供情况^[22],但考虑到显影背景干扰较大^[25],本研究中未曾使用。本研究的重点是讨论手术技术,而非比较研究,因而没有与未进行 ICG-NIRF 成像的手术进行对比。由于此类病例较少,本研究团队会在未来积累更多的数据后研究两者之间是否存在临床差异。目前,ICG 输尿管内给药尚属超说明书使用,关于具体给药时间、剂量及浓度仍无规范标准,需要更多精心设计的随机对照试验来进一步证明 ICG 的实际益处^[26]。

综上所述,ICG-NIRF 技术在机器人辅助腹腔镜上尿路修复重建手术中是安全可行、方便有效的,有助于精准辨别和定位输尿管及狭窄段,并指导术者制定手术策略。多种技术的联合应用有助于实现手术的微创和精准化,值得临床推广。但由于此类病例较少,且随访时间相对较短,未来将扩大样本量并进行长期随访,以更好地评估 ICG-NIRF 的临床应用价值。

利益冲突声明: 本研究无任何利益冲突。

作者贡献声明: ①左佳乐负责设计论文框架,数据整理与分析,论文撰写与修改;②马腾、石玮负责实施研究及数据收集;③李笑然、何慕琪负责数据分析,绘制图表及论文修改;④包军胜负责论文设计,指导撰写文章并最后定稿。

参考文献

- [1] DING G P, LI X F, FANG D, et al. Etiology and ureteral reconstruction strategy for iatrogenic ureteral injuries: a retrospective single-center experience [J]. Urol Int, 2021, 105(5-6): 470-476.

- [2] Paffenholz P, Heidenreich A. Modern surgical strategies in the management of complex ureteral strictures [J]. *Curr Opin Urol*, 2021, 31(2): 170–176.
- [3] Stief C G, Jonas U, Petry K U, et al. Ureteric reconstruction [J]. *BJU Int*, 2003, 91(2): 138–142.
- [4] Osman N I, Mangir N, Mironska E, et al. Robotic surgery as applied to functional and reconstructive urology [J]. *Eur Urol Focus*, 2019, 5(3): 322–328.
- [5] Daskalaki D, Aguilera F, Patton K, et al. Fluorescence in robotic surgery [J]. *J Surg Oncol*, 2015, 112(3): 250–256.
- [6] Stanga P E, Lim J I, Hamilton P. Indocyanine green angiography in chorioretinal diseases: indications and interpretation: an evidence-based update [J]. *Ophthalmology*, 2003, 110(1): 15–21; quiz 22–23.
- [7] Desai N D, Miwa S, Kodama D, et al. A randomized comparison of intraoperative indocyanine green angiography and transit-time flow measurement to detect technical errors in coronary bypass grafts [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2006, 132(3): 585–594.
- [8] Gadus L, Kocarek J, Chmelik F, et al. Robotic partial nephrectomy with indocyanine green fluorescence navigation [J]. *Contrast Media Mol Imaging*, 2020. DOI: 10.1155/2020/1287530.
- [9] ZHANG S D, HONG P, WANG B S, et al. Usefulness of the indocyanine green fluorescence imaging technique in laparoscopic partial nephrectomy [J]. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*, 2020, 52(4): 657–662.
- [10] Pathak R A, Hemal A K. Developing a personalized template for lymph node dissection during radical prostatectomy [J]. *Transl Androl Urol*, 2018, 7(Suppl 4): S498–S504.
- [11] Lerchenberger M, Gundogar U, Al Arabi N, et al. Indocyanine green fluorescence imaging during partial adrenalectomy [J]. *Surg Endosc*, 2020, 34(5): 2050–2055.
- [12] Pathak R A, Hemal A K. Intraoperative ICG-fluorescence imaging for robotic-assisted urologic surgery: current status and review of literature [J]. *International Urology and Nephrology*, 2019, 51(5): 765–771.
- [13] Cacciamani G E, Shakir A, Tafuri A, et al. Best practices in near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green (NIRF/ICG)-guided robotic urologic surgery: a systematic review-based expert consensus [J]. *World J Urol*, 2020, 38(4): 883–896.
- [14] Kanabur P, Chai C, Taylor J. Use of Indocyanine green for intraoperative ureteral identification in nonurologic surgery [J]. *JAMA Surg*, 2020, 155(6): 520–521.
- [15] St ü hler V, Bedke J, Stenzl A. Surgical reconstruction of the ureter [J]. *Urologe A*, 2019, 58(6): 651–657.
- [16] 吴晃, 付宇强, 何蓁琪, 等. 舌黏膜在输尿管狭窄修复中的应用 [J]. *国际泌尿系统杂志*, 2023, 43(4): 748–751.
- [17] Baddam D O, Ragi S D, Tsang S H, et al. Protocol for indocyanine green angiography [J]. *Methods Mol Biol*, 2023. DOI: 10.1007/978-1-0716-2651-1_16.
- [18] Cassese G, Troisi R I. Indocyanine green applications in hepato-biliary surgery [J]. *Minerva Surg*, 2021, 76(3): 199–201.
- [19] Mcumber H, Dabek R J, Bojovic B, et al. Burn depth analysis using indocyanine green fluorescence: a review [J]. *J Burn Care Res*, 2019, 40(4): 513–516.
- [20] Ferreira H, Smith A V, Wattiez A. Application of indocyanine green in gynecology: review of the literature [J]. *Surg Technol Int*, 2019. PMID: 31034577.
- [21] Bjurlin M A, Gan M, Mcclintock T R, et al. Near-infrared fluorescence imaging: emerging applications in robotic upper urinary tract surgery [J]. *Eur Urol*, 2014, 65(4): 793–801.
- [22] Lee Z, Simhan J, Parker D C, et al. Novel use of indocyanine green for intraoperative, real-time localization of ureteral stenosis during robot-assisted ureteroureterostomy [J]. *Urology*, 2013, 82(3): 729–733.
- [23] HUANG B W, WANG J, ZHANG P, et al. Application of indocyanine green in complex upper urinary tract repair surgery [J]. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*, 2020, 52(4): 651–656.
- [24] 黄晨, 陈昊, 刘靓, 等. 吲哚菁绿荧光显影技术在机器人辅助腹腔镜上尿路重建手术中的应用 [J]. *泌尿外科杂志 (电子版)*, 2023, 15(1): 18–23.
- [25] Colvin J, Zaidi N, Berber E. The utility of indocyanine green fluorescence imaging during robotic adrenalectomy [J]. *J Surg Oncol*, 2016, 114(2): 153–156.
- [26] 左佳乐, 何蓁琪, 李笑然, 等. 吲哚菁绿在泌尿外科机器人手术中的应用 [J]. *临床泌尿外科杂志*, 2023, 38(2): 151–156.

编辑: 刘静凯