

· 新质技术应用 ·

无线腔镜在泌尿外科应用的优势及前景

杨 诚, 牛 迪, 梁朝朝

(安徽医科大学第一附属医院泌尿外科, 安徽合肥 230022)

Advantages and prospects of wireless endoscope in urology

YANG Cheng, NIU Di, LIANG Chaozhao

(Department of Urology, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, China)

ABSTRACT: There are various complicated wired connections in traditional endoscopic systems, which have disadvantages such as prolonging the preoperative setup time, restricting the movement of laparoscope, hindering the intraoperative manipulation, potentially contaminating the operation area and causing safety hazards. Our team has developed a wireless intelligent ultra-high-definition endoscopic system for the first time, which has been widely applied in many urological surgeries, such as tumors, stones, transurethral prostate enucleation, laparoscopic pyeloureteroplasty, laparoscopic renal cyst top decompression and so on. This essay reviews the applications and advantages of this system in urology, and forecasts its prospects.

KEY WORDS: wireless endoscope; portable; urology; surgery

摘要: 传统腔镜系统存在繁杂的有线连接, 这些连接线延长手术准备时间, 限制腔镜在术中的移动范围, 妨碍术者和助手操作, 增加污染术区和引发火灾的安全隐患。为此安徽医科大学第一附属医院泌尿外科团队首次研发了无线智能超高清腔镜系统, 该系统已经在泌尿外科各类手术中广泛应用, 如肿瘤、结石、经尿道前列腺剜除术、腹腔镜肾盂输尿管成形术、腹腔镜肾囊肿去顶减压等。本文对无线智能超高清腔镜系统在泌尿外科的应用情况和应用优势进行总结, 并对其应用前景进行展望。

关键词: 无线腔镜; 便携化; 泌尿外科; 手术

中图分类号: R69

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1009-8291.2025.01.002

在 1991 年 CLAYMAN 等人实施第 1 例腹腔镜肾切除手术后, 腹腔镜手术在泌尿外科领域迅速普及^[1-2]。与开放手术相比, 腔镜手术切口小、创伤小、出血量少、恢复时间缩短^[3], 成为外科领域最受欢迎的术式之一。

常规的腹腔镜手术设备包括摄像成像系统、气腹控制系统、能量平台、吸引系统等。腔镜手术装备多、体积大, 一般需要台车容纳, 只能在手术室等特定场合使用, 不便携带。此外, 摄像头电缆线、光源线等线路连接繁杂, 延长手术准备时间, 占用手术室大量空间; 有线限制腔镜移动, 妨碍主刀医生和助手医生的操作, 增加了术区污染和引起火灾事故的隐患^[4-5]。近年来, 5G 无线传输、4K 超高清成像等新技术引领腔镜朝着小尺寸、超高清、智能化的方向发展^[6]。在医疗装备领域, 国家层面鼓励以临床需求为导向, 高等学校、科研机构、医疗机构、企业等多方产学研合作, 促进医疗装备领域的技术进步和产品转化。本团

队自 2016 年起和合肥德铭电子有限公司等单位合作研发了无线智能超高清腔镜(下文简称“无线腔镜”)系统, 目前已广泛应用于泌尿外科各类手术, 与常规有线腔镜手术相比, 具有无线化、智能化和便携化的优势, 本文对无线腔镜在泌尿外科的应用情况和优势进行总结, 并对其应用前景进行展望。

1 无线腔镜系统简介与临床前研究

无线腔镜系统省去了传统腔镜系统的摄像头电缆线和冷光源线, 将摄像头、主机、可充电电池集成一体化, 并搭配一种微型固态冷光源直接连接内镜镜头(图 1); 内置电池供电摄像头和光源, 满电状态下使用时间约为 4 h; 采用通用接口设计, 可连接前列腺电切镜、输尿管镜、腹腔镜、肾镜等内镜镜头; 通过延迟低于 130 ms 的无线射频(radio frequency, RF)传输, 提供最高至 4K 分辨率的医疗级图像, 同时也能实现多路无线传输, 一路传输至术中超高清显示屏、手机或平板电脑移动端, 另一路可将术中视频和图像上传到互联网云平台; 采用人体工程学与轻便设计, 总重仅 120 g, 可整机低温等离子消毒灭菌, 也可套用无菌保护套使用。

收稿日期: 2024-06-17

修回日期: 2024-11-14

基金项目: 安徽省科技重大专项(No.202103a07020012)

通信作者: 梁朝朝, 教授, 主任医师。

E-mail: liang_chaozhao@ahmu.edu.cn

作者简介: 杨诚, 主任医师, 副教授, 博士生导师。研究方向: 微创泌尿外科。E-mail: chengyang_md@163.com

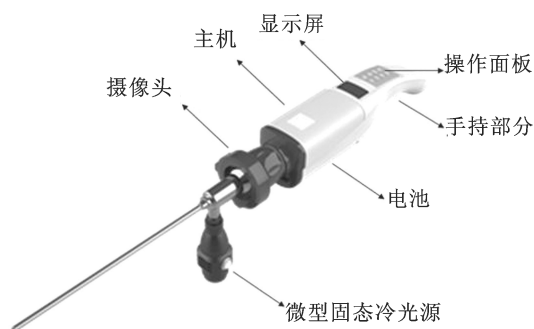


图 1 无线超高清腹腔镜手术系统整体外观图^[7]

在临床前研究中,无线腹腔镜被首先与国产有线腹腔镜系统进行比较,30 名具有 5 年以上腹腔镜手术经验的医师使用二者在腹腔镜培训中心进行基本操作的模拟应用,对两个系统的清晰度、握持感和图像延迟进行评价。结果显示,无线腹腔镜系统图像清晰度和握持感评分高于国产有线腹腔镜系统($P<0.05$),且二者的画面延迟感比较差异无统计学意义($P=0.99$)^[7]。更进一步,在无线腹腔镜与进口 STORZ H3-Z 标准有线腹腔镜系统比较中,ISO12233 标准测试卡测试结果显示,二者图像清晰度结果无差异(5.82 IP/mm vs. 5.89 IP/mm)。Munsell 24 色标准色卡测试中,无线腹腔镜系统展示出和标准 STORZ 腹腔镜手术系统相似的图像色彩分辨率^[8]。1 例 44 岁男性血尿患者接受了无线腹腔镜和 STORZ HD 膀胱镜系统的膀胱镜检查,38 位泌尿外科专家使用 Likert 量表问卷对每一对图像进行双盲评测。结果显示,两种系统在图像分辨率、亮度、色彩上差异均无统计学意义($P>0.05$),无线腹腔镜的人体工程学得分高于 STORZ 系统(3.7 分 vs. 3.33 分, $P=0.038$)^[8]。综上,无线腹腔镜展示出与有线腹腔镜相同的图像分辨率、可接受的色彩分辨率和较高的人体工程学得分,为进一步的临床手术应用打下基础。

2 无线腹腔镜系统在泌尿系肿瘤手术中的应用

无线腹腔镜首先应用于相对简单的腹腔镜肾上腺肿瘤切除术,完成了 20 台手术,术后均无并发症发生^[8]。调查手术团队 6 位手术医生、3 位器械护士和 2 位后勤消毒人员对使用系统的感受,一致给出设备组装方便、术中传递方便、消毒方便、有效节省手术室空间等评价^[8]。在 40 例经尿道膀胱肿瘤电切术中,无线腹腔镜组和有线腹腔镜组的总体手术时间差异无统计学意义,但是无线腹腔镜组的平均腹腔镜连接时间显著低于有线腹腔镜组[(3.45 ± 0.85) min vs. (4.76 ± 1.25) min, $P<0.01$],且其术者操作舒适度评分高于有线腹腔镜组(3 分 vs. 2 分, $P=0.03$)^[9]。同样,在 38 例腹腔镜膀胱根治性切除术中,无线腹腔镜组术前准备时间

短于有线腹腔镜组,差异有统计学意义[(11.2 ± 1.6) min vs. (14.6 ± 1.7) min, $P<0.001$],且无线腹腔镜组术者术中的握持感优于有线腹腔镜组($P=0.29$)^[10],虽然无线腹腔镜组术中有 2 例患者出现图像延迟,但是和未出现延迟的有线组比,差异无统计学意义($P=0.486$)^[10]。

此外,有报道了无线腹腔镜手术对术者视觉的影响,20 位手术医生在首台使用无线或有线腹腔镜进行腹腔镜盆腔脏器手术(腹腔镜前列腺或膀胱根治性切除术)时,在术前和术后 2 h 对医生进行主观的眼部不适调查,以及客观的视觉功能检测包括融合范围、调节性集合与调节比值(accommodation convergence/accommodation, AC/A 比值)、泪膜破裂时间(break up time, BUT)和临界闪烁频率(critical flicker frequency, CFF)。结果显示,无线组与有线组均出现轻微的视觉不适症状,但差异无统计学意义^[11]。术后 2 h 和术前相比有线组与无线组均出现 BUT 值下降,但两组术后 2 h BUT 值、融合范围、AC/A 比值和 CFF 差异无统计学意义^[11],提示无线腹腔镜并未额外增加术者的视觉不适。

3 无线腹腔镜系统在泌尿系结石手术中的应用

泌尿系结石手术主要包括输尿管硬镜碎石术、输尿管软镜碎石术和经皮肾镜碎石术。40 例输尿管硬镜钬激光碎石术中,无线腹腔镜组在术前准备时间、手术时间、清晰度、图像延迟、术中握持感上与有线腹腔镜组相比差异无统计学意义^[12],握持感无差异可能与输尿管硬镜手术时间较短有关。但在 40 例输尿管软镜钬激光碎石术中,无线腹腔镜组术者术中握持感优于传统纤维输尿管软镜组,差异具有统计学意义[(4.0 ± 0.9) 分 vs. (3.0 ± 0.8) 分, $P<0.05$],此外,在术前准备时间、手术时间、清晰度、图像延迟上,无线腹腔镜组和传统纤维输尿管软镜组比较差异无统计学意义^[12],证明了无线腹腔镜在输尿管镜碎石术中应用的可行性与安全性。

在 74 例经皮肾镜碎石术中,无线腹腔镜组在手术时间、术后血红蛋白下降值、Clavien-Dindo 并发症分级、术后住院时间和一期结石清除率方面,与有线腹腔镜组相比差异无统计学意义,术后均无输血和肺动脉栓塞发生^[13],体现了无线腹腔镜在经皮肾镜手术中应用的安全性和有效性。此外,由于无线腹腔镜摆脱了光源线和摄像头电缆线的束缚,具有手持轻便和移动方便的优点,有利于减轻需要长时间固定姿势持镜术者的疲劳,降低潜在经皮肾通道丢失的风险,值得进一步在经皮肾镜碎石术中推广应用。

4 无线腔镜系统在泌尿外科其他手术中的应用

无线腔镜也已应用于泌尿系肿瘤、结石以外的其他手术,如经尿道前列腺剜除术、针对肾盂输尿管连接部梗阻(ureteropelvic junction obstruction, UPJO)的腹腔镜肾盂输尿管成形术、腹腔镜肾囊肿去顶减压术等。将78例因前列腺增生接受经尿道双极等离子前列腺剜除术的患者分为无线腔镜组和有线STORZ HD组,比较两组患者围手术期各项指标。结果显示,无线腔镜组的术前准备时间及内镜操作舒适度评分均优于STORZ HD组;在手术视频清晰度评分及手术时间上,两组相当,且均无视频延迟情况发生;在术后血红蛋白下降量、剜除组织重量、术后膀胱冲洗时间及留置尿管时间等指标上两组差异均无统计学意义^[14]。同样,在45例腹腔镜肾盂输尿管成形术中,与传统有线腔镜组比较,无线腔镜组手术准备时间缩短,术中扶镜手疲劳度打分更低,且差异有统计学意义($P<0.001$)。两组在术中失血量、手术时间、术后引流管拔除与住院时间、术后双J管拔除时间、并发症发生率等指标差异均无统计学意义^[15]。上述研究体现了无线腔镜用于经尿道前列腺剜除术和腹腔镜肾盂输尿管成形术是安全可行的,其简化了传统内镜的设备连接方式,有利于缩短术前准备时间,提高术者操作的舒适度。

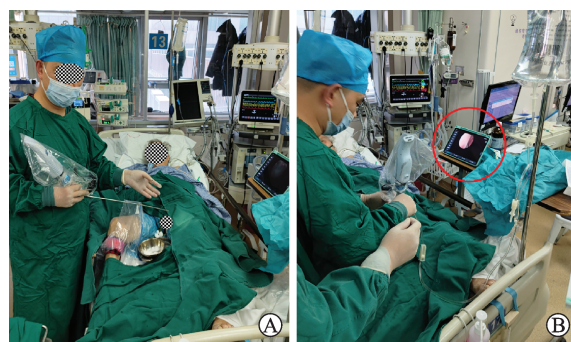
值得注意的是,无线腔镜的上述优点在针对手术室护理团队的研究中得到进一步验证。李坤等^[16]分析了87例腹腔镜手术患者的临床资料,包括腹腔镜肾癌根治术、腹腔镜肾囊肿去顶减压术等,比较无线腔镜组和STORZ组在术前准备时间、连接腹腔镜系统时间、术后设备归位时间、使用成本和护士满意度调查方面的差异。结果表明,无线腔镜组术前准备时间、连接腹腔镜系统时间、术后设备归位时间和使用成本均低于STORZ组($P<0.05$)^[16],护士满意度调查中无线腔镜的得分更高。无线腔镜与传统有线腔镜相比提升了手术体验,具有多种优势,值得进一步推广。

5 无线腔镜系统在特殊场景中的应用

无线腔镜除了缩短术前准备时间、方便操作和提高术者舒适度的无线化优势外,还具有智能化的优势。无线腔镜的云平台,为远程会诊、远程指导提供了技术支持,能帮助提升偏远地区和基层医疗机构的诊疗水平,有助于推动国家分级诊疗实施。目前已应用于多家基层医院,并进行了远程指导。如合肥三甲医院的外科专家通过手机登录云平台与300 km以

外的濉溪县医院手术室内的主刀医生进行远程会诊,帮助基层医生在腹腔镜右肾根治性切除术中识别肾动脉及下腔静脉,远程指导手术顺利完成^[17],体现出无线腔镜智能化的优势。

无线腔镜最突出的优势是便携化,其使用微型冷光源代替大功率氙气光源和光源线,去除摄像头电缆线,将摄像头和主机以及可充电电池进行集成,可将图像无线传输到10.8英寸平板电脑(16:9比例,屏幕尺寸长约22.3 cm,宽约12.5 cm)。该系统可以放置在手提箱中,仅包括无线腔镜主机、微型光源和平板电脑,使其突破了仅在手术室使用的场景限制,扩大了腔镜的使用场景,让各科室的腔镜手术在各级医院(从基层医院到三甲医院)、战地、救灾、院前急救、门诊、床边手术等特殊条件下均可开展。目前无线腔镜已用于军事演习,其便携化和智能化的优势得到了军队卫勤部的肯定。此外,安徽医科大学第一附属医院重症监护室1例80岁女性患者接受了无线腔镜急诊床边手术治疗,该患者诊断为左侧输尿管结石、急性肾功能不全、左侧股骨颈骨折持续皮牵引状态、高血压、糖尿病、低钾血症、多器官功能障碍综合征(multiple organ dysfunction syndrome, MODS)等,有输尿管支架植入解除结石梗阻的手术指征,但患者基础疾病及合并症较多,一般情况差,往手术室转移搬运较为困难。经科室讨论后急诊在床边行无线输尿管镜下左侧输尿管支架植入术(图2A、B),术后复查腹部平片提示输尿管支架在位,肾功能部分恢复,体现了无线腔镜在床边急诊手术治疗的可行性,进一步突出了无线腔镜便携化的优势。



A:主刀医生携带平板电脑,使用无线腔镜连接输尿管硬镜头,准备在重症监护室床边急诊行输尿管支架植入术;B:输尿管支架植入术中,红圈标注为平板电脑。

图2 无线腔镜在床边急诊的应用

6 展望

相比传统有线腔镜,无线腔镜的无线化设计为其带来了缩短手术准备时间、方便术者术中操作、操作

舒适度更佳的优势。此外,智能化云平台的搭建也实现了远程会诊和指导,有助于提高偏远地区和基层医院医生的诊疗水平。未来云平台海量的手术视频等资源,为移动示教、新手医生的教学培训提供了大量素材,有助于年轻医生快速成长。便携化的无线腔镜让各科室的各类腔镜手术在各级医院、战地、救灾、抗疫、院前急救、门诊、床边手术等特殊条件下均可开展,未来甚至可以拓展到航海、航天、航空等特殊领域,让腔镜手术彻底摆脱空间束缚,创造无线可能。但无线腔镜的续航时间有待进一步提升,后续电池将采用可拆卸设计,进一步提高手术效率。

参考文献:

- [1] BANSAL D, CHATURVEDI S, MAHESHWARI R, et al. Role of laparoscopy in the era of robotic surgery in urology in developing countries[J]. *Indian J Urol*, 2021, 37(1): 32-41.
- [2] RANA AM, RANA AA, HEWETT PJ. Comparison of three-dimensional and 4K imaging systems in novice surgeons: a cross-over study[J]. *ANZ J Surg*, 2020, 90(6): 1009-1013.
- [3] CLAYMAN RV, KAVOUSSI LR, SOPER NJ, et al. Laparoscopic nephrectomy: initial case report[J]. *J Urol*, 1991, 146(2): 278-282.
- [4] BAKER EH, KIRKS RC, DRUMMOND J, et al. Postmarketing analysis of a novel, cordless ultrasonic dissector[J]. *Surg Innov*, 2016, 23(5): 505-510.
- [5] TSIRLINE VB, LAU KN, SWAN RZ, et al. Evaluation of an innovative, cordless ultrasonic dissector[J]. *Surg Innov*, 2013, 20(5): 524-529.
- [6] RASSWEILER JJ, TEBER D. Advances in laparoscopic surgery in urology[J]. *Nat Rev Urol*, 2016, 13(7): 387-399.
- [7] 梁朝朝, 郝宗耀, 杨诚, 等. 一种无线超高清腔镜系统在泌尿外科的研发与应用[J]. *中华腔镜泌尿外科杂志(电子版)*, 2021, 15(3): 182-186.
- [8] NIU D, XU Q, XU H, et al. Fabrication and application of a wireless high-definition endoscopic system in urological surgeries[J]. *BJU Int*, 2023, 131(2): 183-189.
- [9] 尹水平, 施浩强, 周骏, 等. 无线智能腔镜在经尿道膀胱肿瘤电切中的应用[J]. *现代泌尿生殖肿瘤杂志*, 2022, 14(6): 333-336.
- [10] 邵胜, 周骏, 施浩强, 等. 无线智能腔镜在腹腔镜膀胱癌根治术中的运用[J]. *中华腔镜泌尿外科杂志(电子版)*, 2023, 17(1): 22-25.
- [11] XU H, NIU D, YANG C, et al. A comparison of visual discomfort experienced by surgeons in wireless versus conventional endoscopy in laparoscopic surgery[J]. *Curr Urol*, 2023, 17(2): 77-81.
- [12] 胡庆庆, 王建忠, 樊松, 等. 无线智能腔镜系统在泌尿系结石输尿管镜治疗中的初步应用[J]. *中华腔镜泌尿外科杂志(电子版)*, 2022, 16(4): 298-301.
- [13] 侯冰冰, 樊松, 赵磊, 等. 无线超高清腔镜系统在经皮肾镜取石术中的应用[J]. *中国内镜杂志*, 2022, 28(6): 28-32.
- [14] 邹志辉, 张礼刚, 胡永涛, 等. 无线智能高清内镜在经尿道双极等离子解剖性前列腺切除术中的应用初探[J]. *中华腔镜泌尿外科杂志(电子版)*, 2023, 17(1): 39-43.
- [15] 陶军跃, 梁朝朝, 郝宗耀, 等. 无线腔镜系统应用于肾盂输尿管离断成形术中的疗效分析[J]. *腹腔镜外科杂志*, 2022, 27(7): 539-542.
- [16] 李坤, 尹水平, 唐海山, 等. 无线超高清腔镜系统应用于泌尿外科手术中护理效果分析[J]. *中华腔镜泌尿外科杂志(电子版)*, 2023, 17(1): 82-85.
- [17] 刘刚, 杨发武, 周骏, 等. 无线智能腔镜系统在基层医院泌尿外科中应用的初步体会[J]. *中华腔镜泌尿外科杂志(电子版)*, 2022, 16(1): 45-48.
- (编辑 何婷)
- (上接第 3 页)
- [7] ZENG XT, JIN YH, LIU TZ, et al. Clinical practice guideline for transurethral plasmakinetic resection of prostate for benign prostatic hyperplasia (2021 Edition)[J]. *Mil Med Res*, 2022, 9(1): 14.
- [8] JIN YH, ZENG XT, LIU TZ, et al. Treatment and surveillance for non-muscle-invasive bladder cancer: a clinical practice guideline (2021 edition)[J]. *Mil Med Res*, 2022, 9(1): 44.
- [9] ZENG G, TRAXER O, ZHONG W, et al. International Alliance of Urolithiasis guideline on retrograde intrarenal surgery[J]. *BJU Int*, 2023, 131(2): 153-164.
- [10] ZENG G, ZHONG W, CHAUSSY CG, et al. International Alliance of Urolithiasis guideline on shockwave lithotripsy[J]. *Eur Urol Focus*, 2023, 9(3): 513-523.
- [11] 陈耀龙, 杨克虎, 王小钦, 等. 中国制订/修订临床诊疗指南的指导原则(2022 版)[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(10): 697-703.
- [12] 王吉耀, 夏君. 规范指南制定, 提高指南质量[J]. *临床肝胆病杂志*, 2021, 37(12): 2753-2755.
- [13] GUIDELINES INTERNATIONAL NETWORK. International guideline development credentialing & certification program [EB/OL]. [2024-05-29] <https://inguide.org>.
- [14] 王吉耀, 夏君, 姚晓梅. 走出循证临床实践指南制定的误区[J]. *中华消化杂志*, 2023, 43(9): 583-587.
- [15] OCEBM LEVELS OF EVIDENCE WORKING GROUP. Oxford Centre for Evidence-Based Medicine 2011 levels of evidence [EB/OL]. [2024-06-01]. <https://www.cebm.ox.ac.uk>.
- [16] GONZALEZ-PADILLA DA, DAHM P. Evidence-based urology: understanding GRADE methodology[J]. *Eur Urol Focus*, 2021, 7(6): 1230-1233.
- [17] 上海市医学会泌尿外科专科分会结石学组, 中华医学会杂志社指南与标准研究中心指南评级泌尿科学专科委员会. 上尿路结石相关输尿管支架管应用上海专家共识(2023 版)[J]. *上海医学*, 2024, 47(1): 8-17.
- [18] 陈耀龙, 张先卓, 周奇, 等. 临床实践指南的改编[J]. *协和医学杂志*, 2020, 11(1): 102-108.
- [19] THE ADAPTE COLLABORATION. The ADAPTE process: resource toolkit for guideline adaptation. Version 2.0 [EB/OL]. [2024-06-01] <http://www.g-i-n.net>.
- (编辑 郭楚君)