四川大学学报（医学版） 2026，57（3）：621－626
J Sichuan Univ（Med Sci） doi: 10.12182/20260560102

在线全文

• 手术机器人临床应用 •

单孔腹腔镜技术在泌尿外科的应用现状与未来展望*

魏 勇，朱清毅△
南京医科大学第二附属医院 泌尿外科/泌尿外科疾病防治省高校重点实验室（南京 210011）

【摘要】 近年来，单孔腹腔镜手术（laparoendoscopic single-site surgery, LESS）因其在传统多孔腹腔镜基础上可提供更佳的美容效果、更轻的术后疼痛和更快的术后恢复而受到关注。然而，LESS技术难度高、学习曲线陡峭。机器人手术系统的引入为克服LESS的技术瓶颈提供了新方案，推动了其发展。本文综述了LESS在泌尿外科的应用现状，重点讨论了机器人辅助单孔腹腔镜手术（robot-assisted LESS, R-LESS）的技术进展、临床效果及面临的挑战，并对未来与人工智能、远程手术、医疗大数据等前沿技术融合的发展方向进行了展望。

【关键词】 单孔腹腔镜手术 机器人辅助手术 泌尿外科 综述

Current Applications and Future Prospects of Laparoendoscopic Single-Site Surgery in Urology

WEI Yong, ZHU Qingyi△. *Department of Urology/Jiangsu Key Laboratory of urological Disease Prevention and Treatment, The Second Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210011, China*
△ Corresponding author, E-mail: zhuqy1971@126.com

This work was supported by the Scientific Research Project of Jiangsu Provincial Health Commission (No. ZD2021028).

[Abstract] In recent years, laparoendoscopic single-site surgery (LESS) has gained growing attention because, compared with conventional multiport laparoscopy, it offers superior cosmetic outcomes, reduced postoperative pain, and faster. However, LESS is technically more challenging and characterized by a steep learning curve. The introduction of robotic surgical systems offers new solutions to overcome the technical limitations of LESS, thereby promoting its further development. This article provides a review of the current applications of LESS in urology, with a focus on the technical progress, clinical outcomes, and challenges of robot-assisted LESS (R-LESS). Additionally, the future trends involving the integration of cutting-edge technologies such as artificial intelligence, telesurgery, and medical big data are discussed.

[Key words] Laparoendoscopic single-site surgery Robotic-assisted surgery Urology Review

单孔腹腔镜手术（laparoendoscopic single-site surgery, LESS）最早于2007年应用于泌尿外科，在墨西哥世界腔内泌尿外科大会上，RANE等[1]报道了世界首例单孔腹腔镜肾切除术，随后LESS迅速受到了国内外泌尿外科医生的广泛关注，其逐步发展为该领域的重要研究方向和亮点之一。经过将近二十年的发展，该技术现已广泛应用于泌尿系统的各类切除与重建手术。与此同时，机器人手术系统的成功研发与迭代更新，为泌尿外科LESS带来了显著价值提升。2009年，机器人辅助下的单孔腹腔镜手术（robot-assisted LESS, R-LESS）开始在泌尿外科中应用，其为克服LESS技术瓶颈〔如器械碰撞、三角缺失（手术器械与内镜在进入腹腔后，因受限于单一入路孔径，难以在病灶区域建立符合人体工学的三角形交汇布局）〕提供了新方案，有望提升手术的安全性与有效性[2-4]。

1 LESS的技术内涵与发展历程

LESS的核心技术特征是通过单一小切口（多选择于脐部或其他隐蔽部位）置入多通道端口，从而完成全部腹腔镜手术操作。与传统多孔腹腔镜相比，LESS最显著的优势在于其极致的微创美学效果，体表仅存留一处微小瘢痕或无可见瘢痕。此外，因切口数量的减少，理论上可进一步减轻术后疼痛并加速康复[5]。然而，LESS也引入了独特的技术挑战：首要问题是三角缺失，即所有手术器械近乎平行进入体腔，丧失了传统多孔腹腔镜中器械之间形成的操作三角，极大增加了手眼协调的难度；其次是器械之间在体外的机械臂碰撞和体内的相互干扰。这些固有难点共同导致了LESS学习曲线陡峭，限制了其早期的广泛普及[6]。

LESS的雏形可追溯至1969年，WHELESS等[7]首次报道了经脐腹腔镜输卵管结扎术，并在接下来的两年内，其

* 江苏省卫生健康委医学科研重点项目（No. ZD2021028）资助
△ 通信作者，E-mail: zhuqy1971@126.com
出版日期：2026-05-20

对85例门诊患者开展了该手术。随着手术技术的日益成熟,LESS开始在多科系统疾病手术中推广应用。到了1991年,PELOSI等[8]应用单孔技术开展了子宫、双侧输卵管、卵巢切除术。在泌尿外科领域,自2007年LESS技术引入后,其应用范围持续扩展,逐步覆盖了泌尿外科的各类切除与重建手术。

2 LESS在泌尿外科领域的拓展应用

2.1 肾上腺手术

LESS技术在肾上腺手术中最早是CASTELLUCCI等[9]在2008年报道的单孔腹腔镜肾上腺切除术。单孔腹腔镜肾上腺切除术的应用能避免多个切口造成的创伤,更有助于加速患者术后康复,且能提高美容效果[10]。相较于传统的腹腔镜肾上腺切除术,LESS技术的手术时间可能略长,但是手术中的失血量会更少,且具有术后疼痛轻微、恢复快等优势,深受患者青睐。魏勇等[11]的文献报道指出:国产的术锐蛇形臂单孔手术机器人辅助下的肾上腺切除术具有安全有效的特点,蛇形臂操作灵活,且指向性明确,能保障手术的顺利进行。蒲永昌等[12]对比了经腹膜后单孔与多孔腹腔镜下肾上腺肿瘤切除术的疗效及安全性,认为单孔手术患者康复更快,且美容效果更佳。田义阳等[13]认为单孔后腹腔镜肾上腺肿瘤切除术在肿瘤最大径≤4 cm患者中优势明显,而对于肿瘤最大径>4 cm的患者,单孔后腹腔镜手术的手术时间会明显延长,手术优势不明显。

2.2 肾脏手术

SEO等[14]的文献证实单孔腹腔镜下肾切除术与常规多孔腹腔镜下肾切除术相比,在手术时间、失血量、术后并发症发生率等方面均无明显差异,认为单孔腹腔镜下肾切除术在技术上可行,但还需长期的随访研究评估肿瘤控制效果。宋家璈等[15]的一项长期随访研究指出:在局限性肾癌患者的手术治疗中,单孔腹腔镜下肾切除术与传统多孔腹腔镜肾切除术在手术时间、估计失血量、住院时间方面差异均不显著,且经过长达10年以上的随访,两组患者的总生存率、肿瘤特异性生存率及估算肾小球滤过率、血肌酐变化水平亦无显著差异,表明单孔腹腔镜下肾切除术在肾癌治疗中获得的长期肿瘤学及肾功能结局与传统多孔手术相当。此外,肾部分切除术是检验LESS技术成熟度的另一重要术式。单孔腹腔镜下肾部分切除术能够在实现肿瘤根治的同时最大程度保留肾功能,其对术中缝合、止血等精细操作的要求极高,是体现LESS微创价值与技术潜力的典型代表[16]。已有临床研究证实,对于经过选择的肾肿瘤患者,单孔腹腔镜下肾部分切除术在肿瘤控制、肾功能保留和围手术期结局方面均可取得良好效果[17]。

2.3 根治性膀胱切除术

2010年,KAOUK等[18]的文献报道中描述了3例移行细胞癌患者在单孔腹腔镜下进行根治性膀胱切除术和双侧盆腔淋巴结清扫术是安全可行的,证明通过单一多通道端口可进行充分的淋巴结清扫。国内泌尿外科专家团队在LESS研究中也取得了成果。张旭教授带领的团队[19]在2017年发表的研究中指出:单孔腹腔镜下的根治性膀胱切除术的疗效和安全性与传统多孔腹腔镜手术相当,且借助LESS具有术后疼痛症状轻微、术中失血量少、术后恢复快的优点。黄健等[20]的一项报道指出:对男性膀胱癌患者采用自制的多通道套管开展改良单孔腹腔镜下膀胱前列腺根治性切除-原位回肠新膀胱术治疗在技术上是可行的,术后并发症发生率低,但长期肿瘤控制效果仍需长期随访观察。

2.4 前列腺手术

2008年,KAOUK等[21]对前列腺癌患者采用LESS技术治疗,手术在Uni-X操作平台下实施,通过1.0 cm的脐切口经腹腔插入多通道端口,采用徒手间断缝合、体外打结方式进行尿道膀胱吻合术,4例患者均顺利完成手术,手术时间(285±30) min,失血量(288±131) mL,无输血患者,住院时间(2.5±0.6) d,无术中并发症,认为LESS技术在前列腺癌根治术中应用是可行的,但是依然需要更深入的研究探究该术式的安全性以及肿瘤学充分性。朱清毅等[22]对南京医科大学第二附属医院收治的9例前列腺癌患者采用单孔腹腔镜下脱套法前列腺癌根治术治疗,证实手术安全可行,在不增加手术切缘阳性率基础上能有效提高术后尿控率。

3 R-LESS在泌尿外科领域的发展

在泌尿外科领域的腹腔镜手术治疗中,LESS的手术切口隐蔽美观,且术中标本取出较为容易,术后并发症发生率、住院时间更短,有助于加速患者的术后康复。但与此同时,LESS也有较多固有的缺陷和难题,如单孔的手术导致传统的三角定位缺失,手术医师手眼协调操作的难度明显增大,且多个手术器械拥挤容易出现操作误差、学习曲线长等[23]。而R-LESS则能很好地解决其中一些难题,有利于LESS在泌尿外科领域的推广应用,惠及更多患者(R-LESS与传统LESS和多孔腹腔镜在多个维度的差异见网络资源附件附表1)。

3.1 机器人系统的发展与国产化进展

最早的机器人手术系统是Intuitive Surgical公司开发

的第一代达芬奇机器人手术系统。该智能平台允许医师坐姿操作,遥控机器人完成手术,标志着微创外科从触觉外科向视觉外科的范式转变,实现了飞跃性进步。2006年,第二代达芬奇机器人手术系统发布,其装载了4个机械臂;2009年,第三代达芬奇机器人被推出,与第二代相比,其增加了双控制台、模拟控制器和术中荧光显影等功能;2014年,第四代达芬奇机器人推出,其机器臂更为细小且轻巧,术中能根据手术的需要自由调整操作方向,极大地拓展了其在手术中的应用范围。

机器人手术系统通过提供三维高清视野、震颤过滤及关节腕式器械,为克服LESS的技术瓶颈提供了有效工具。2009年,JOSEPH等[24]提出"交叉器械操作法(chopstick technique)":使用两个末端可弯曲器械臂交叉如筷,并交换控制台左右执行器指令(右手控制左侧器械,左手控制右侧器械),有效解决了外部机械臂碰撞问题。2018年,FDA批准专为泌尿外科设计的达芬奇单端口(SP)系统。其独特之处在于仅有一条机械臂,通过单一直径2.5 cm套管置入三个多关节器械和一个高清摄像头。多关节器械在体内可弯曲形成操作三角,高清摄像头提供多角度清晰视野。2024年推出的第五代系统显著提升了精确度,并引入力传感技术,有助于减少组织损伤。目前,达芬奇系统在泌尿外科应用成效显著。

器械自由度不足、光学系统分辨率低、无实时成像增强、缺乏力反馈机制等问题是之前国产单孔机器人系统需要解决的短板,在国产科技的不断创新下,仿生蛇形臂设计、5G+8K影像传输链、微压力传感器阵列等科技很好地解决了上述短板。近些年,我国自主研发的国产机器人手术系统取得了显著成效,如上海交通大学牵头国内多家优势院校和高技术公司,成功自主研发的"术锐"单孔腔镜手术机器人,在嘉兴市第一医院完成了我国首例单孔下前列腺癌根治术,该机器人系统中的3D高清电子内窥镜能给术者提供3D高清术野,精准判断肿瘤边界,同时利用蛇形手术器械精巧完成手术操作,完整切除肿瘤包膜,术中出血量少。上海长海医院、南京医科大学第二附属医院、浙江大学第一附属医院和上海交通大学医学院附属第九人民医院泌尿外科团队在2022年参与完成"术锐"单孔机器人手术系统的Ⅲ期临床试验,为探索国产单孔蛇形臂机器人技术带来了全新的经验[25-27]。2024年,精锋医疗的单孔腔镜手术机器人获得中国国家药品监督管理局的批准,该机器人系统适用于多种术式。黄庆波等[28]在保留肾单位手术中采用精锋医疗的单孔腔镜手术机器人辅助进行,发现术后疼痛轻微,无术后并发症发生,体现出较高的临床应用价值。上海瑞金医院提出的"经脐+经阴联合入路"解决国产器械大直径导致的三角缺失(前列腺癌手术时间缩短35%),四川大学华西医院开发的"R-LESS三针悬吊法"无需昂贵第四臂、用缝线牵引替代等都体现了"中国经验"的独特价值与实践路径。然而,国产系统目前仍面临样本量有限、缺乏长期随访数据和高等级前瞻性研究证据的挑战。未来需要通过严谨的临床研究持续积累证据,以验证其长期疗效和经济效益。R-LESS国内、国际发展时间轴见网络资源附件附表2。

3.2　R-LESS在泌尿外科领域的临床应用现状

在泌尿外科领域,R-LESS技术开展较晚,张旭教授团队[29]在2014年率先发表了一篇关于达芬奇机器人手术系统辅助下的LESS的文献,在达芬奇机器人系统的辅助下进行单孔腹腔镜肾囊肿去顶减压术,3例患者均顺利完成手术,且无围术期并发症发生,初步经验证实了机器人辅助经脐单孔腹腔镜肾囊肿去顶减压术是安全可行的。2017年,王林辉教授团队[30]首次将R-LESS应用到肾上腺肿瘤切除术中,同年,该专家团队还发表了一篇关于机器人手术系统应用到单孔腹腔镜零缺血肾部分切除术中的文献,均发现R-LESS患者术后疼痛症状轻微,术后恢复较快,有较好的短期疗效,但是在早期需要严格把控手术的临床适应证[31]。南京医科大学第二附属医院的顾民教授、朱清毅教授带领的专家团队经过近10年的经验积累和创新,编撰了专著《实用泌尿外科机器人单孔腹腔镜技术》[32],于2021年出版发行,这是我国出版的第一本关于R-LESS的专著,该书介绍了10种泌尿系的R-LESS手术方式、适应证、操作技术要点等,对于指导R-LESS具有重要意义。徐力等[33]的文献报道指出:由单术者开展的R-LESS根治性前列腺切除术是可行的,且安全有效,可作为局限性前列腺癌的治疗手段推广应用,对于有复杂盆腔或腹部手术史的患者不失为一种可选择的术式,在术后早期尿控方面有一定优势。郭云凯等[34]将R-LESS应用到儿童重复肾手术中,认为R-LESS在儿童输尿管吻合术、输尿管膀胱再植术、肾盂成形术、半肾切除术中应用是安全可行的,但其对医师、助手、麻醉师、器械护士的团队配合和操作技术要求较高。

R-LESS以其超微创、单切口、术后疼痛轻微、恢复快等优点在泌尿外科领域得到广泛推广应用,其解决了LESS操作中的许多技术瓶颈,越来越多专家团队的临床研究证实了R-LESS在泌尿系手术中应用的可行性、安全性和优势。

3.3　R-LESS推广的挑战和对策

目前的多数R-LESS研究多局限于小样本、回顾性评

价,样本量有限且缺乏严密的纳排标准,导致选择性偏倚显著,尚缺乏大样本、多中心的前瞻性随机对照研究来验证其相较于多孔腹腔镜或传统LESS在肿瘤学安全性及功能性预后上的非劣效性或优越性。而且R-LESS在泌尿外科领域的应用仅有十几年的历史,还存在一些难题未得到解决:首先,受限于单孔套管的共轴布局,术者在处理盆腔深部解剖(如前列腺癌根治术中的尿道吻合)时存在显著的几何受限与器械干涉,且床旁助手通道的空间挤压常导致内外操作冲突;其次,柔性器械在极端弯曲状态下的力反馈缺失与机械稳定性波动,在一定程度上增加了术中组织损伤的潜在风险并限制了其在复杂泌尿系肿瘤手术中的普适化应用。且手术费用高昂,这也在一定程度上限制了R-LESS的推广普及。另外,R-LESS的学习曲线较为陡峭,对手术医师的要求较高。"学习曲线陡峭(需机器人培训)"与"费用高昂"共同构成了R-LESS推广的双重枷锁,其本质是技术复杂性、经济理性与系统韧性的博弈。破局需以医工协同简化操作、支付端结构性改革、资源下沉为核心策略,通过医工交叉驱动柔性机器人系统与AI辅助算法的智能化集成,可在数字层面有效代偿三角缺失等物理局限,并辅以国产化替代下的结构性成本削减;同时,依托远程医疗与标准化模拟培训加速优质医疗资源向基层渗透,在累积高等级循证医学证据的同时,推动R-LESS实现从精尖技术探索向普适化、标准化临床模式的范式转型。

4 总结与展望

机器人手术平台在信息化技术,特别是高速网络和低延迟通信技术快速发展的强力支撑下,已能实现跨地域的异地远程微创手术操作。这不仅突破了地域限制,使顶尖外科专家的技术得以更广泛地服务于偏远地区患者,更极大地加速了前沿微创手术新技术的推广与普及进程。

目前国外研发出达芬奇单孔机器人手术系统已在泌尿外科领域的手术中得到应用,发挥出独特的优势和成效。同时国内也有一些团队进行单孔机器人手术系统的研究,并自主研发成功了一些机器人手术系统,开始在临床上得到应用。更为关键的是,中国团队所开展的一系列临床研究[35-38],为国产单孔腔镜机器人手术系统在真实世界、高难度的泌尿外科复杂手术(如前列腺癌根治术和膀胱部分切除术)中的应用,提供了极具价值的重要循证医学依据。中国团队的研究成果不仅系统性地证实了国产系统在完成这些复杂手术时的安全性与有效性,达到了与进口系统可比拟的短期临床结局,更凸显了国产高端医疗装备在助力泌尿外科高难度手术实现技术突破方面的巨大潜力和重大意义。

微创化始终是外科医生不懈追求的技术目标和广大患者的深切期望。展望未来,R-LESS在泌尿外科领域的发展前景广阔。随着专用单孔机器人平台的持续优化、智能手术器械的迭代升级,以及AI、5G通信、大数据等前沿科技的深度融合,R-LESS技术将呈现出以下几大具体发展趋势:一是AI赋能的手术决策与执行系统,未来的R-LESS将深度整合计算机视觉与深度学习算法,其核心路径在于术中解剖结构的实时语义分割。通过AI对术中内镜影像进行毫秒级处理,系统能自动识别并勾勒神经血管束、输尿管及肿瘤边界,为术者提供叠加在原始图像上的"虚拟导航底片"。特别是针对前列腺癌根治术,AI可辅助判定切缘安全性,在跨越三角缺失导致的操作障碍时,通过自动避障算法实时微调机械臂轨迹,实现由"术者主导、AI 护航"的半自主精准切除。二是基于5G网络的低延时远程手术技术逐步成熟,依托5G高带宽、低延时(< 20 ms)的特性,远程R-LESS将从单点试验向区域化医疗联合体转型。具体路径包括建立"主-从"异地同步架构,利用切片技术确保手术指令的绝对优先权。然而,其广泛普及仍需跨越医疗伦理与法律边界:如远程操作中的通信中断责任判定、跨区域行医的准入许可,以及患者隐私在云端传输中的加密保护。目前的试点研究已证实了技术可行性,未来的重点将转向建立一套公认的远程手术安全熔断机制与法律伦理框架。三是融合影像组学与临床大数据的预后预测模型,国产系统应利用其本土化数据的可获得性,构建基于影像组学与临床表型大数据的预后预测模型。通过深度挖掘数万例泌尿外科手术切片及随访数据,系统可针对患者的盆腔解剖构型(如骨盆宽度、前列腺体积)进行术前仿真,自动评估该病例是否适合单孔入路。这种路径将改变目前单纯依靠医生经验选择适应证的现状,实现个体化手术方案,从而最大程度平衡微创获益与手术风险,优化围术期管理,进一步拓展R-LESS的适应证范围。伴随上述技术的发展与外科医生经验的积累,R-LESS将朝着手术规划个性化、操作执行自主化、诊疗过程协同化的方向演进,最终为实现外科手术的极致微创化、精准化和智能化奠定坚实基础,为患者带来更安全、更有效、更舒适的诊疗体验。

* * *

作者贡献声明 魏勇负责论文构思和初稿写作,朱清毅负责监督指导和审读与编辑写作。所有作者已经同意将文章提交给本刊,且对将要发表的版本进行最终定稿,并同意对工作的所有方面负责。

Author Contribution WEI Yong is responsible for conceptualization and

writing--original draft. ZHU Qingyi is responsible for supervision and writing--review and editing. Both authors consented to the submission of the article to the Journal. Both authors approved the final version to be published and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突

Declaration of Conflicting Interests　Both authors declare no competing interests.

参　考　文　献

[1] RANE A, KOMMU S, EDDY B, *et al*. Clinical evaluation of a novel laparoscopic port (R port) and evolution of the single laparoscopic port procedure (SLiPP). J Endourol, 2007, 21(Suppl 1): A22-A23.

[2] 李鋆, 陈荆艺, 贾金富, 等. 机器人单孔+1腹腔镜与单孔腹腔镜肾盂成形术治疗肾盂输尿管连接部梗阻患儿的疗效比较. 中华医学杂志, 2024, 104(5): 371-376. doi: 10.3760/cma.j.cn112137-20231002-00624.
LI J, CHEN J Y, JIA J F, *et al*. Comparison of efficacy between robotic single-site plus one port and laparoendoscopic single-site pyeloplasty for ureteropelvic junction obstruction in children. National Medical Journal of China, 2024, 104(5): 371-376. doi: 10.3760/cma.j.cn112137-20231002-00624.

[3] 王乔, 王沂峰, 德穷, 等. 国产单臂单孔机器人系统在妇科肿瘤超远程手术的应用初探(附2例临床报告). 四川大学学报(医学版), 2025, 56(5): 1399-1404. doi: 10.12182/20250960202.
WANG Q, WANG Y F, DE Q, *et al*. Pioneering application of a domestically developed single-arm single-port robotic system in ultra-remote telesurgery: a clinical report of two gynecological oncology cases. J Sichuan Univ (Med Sci), 2025, 56(5): 1399-1404. doi: 10.12182/20250960202.

[4] 陈荆艺, 何少华, 徐迪, 等. 单孔机器人辅助腹腔镜输尿管再植术与腹腔镜输尿管再植术治疗膀胱输尿管反流的对比研究. 临床小儿外科杂志, 2023, 22(10): 930-936. doi: 10.3760/cma.j.cn101785—202304072—006.
CHEN J Y, HE S H, XU D, *et al*. Comparative study of single-site robot-assisted laparoscopic ureteral reimplantation and laparoscopic ureteral reimplantation for the treatment of vesicoureteral reflux. Journal of Clinical Pediatric Surgery, 2023, 22(10): 930-936. doi: 10.3760/cma.j.cn101785—202304072—006.

[5] WEI Y, JI Q, ZHOU X, *et al*. R-LESS-RP versus C-LESS-RP: a single-institution retrospective comparative study. Sci Rep, 2023, 13(1): 3844. doi: 10.1038/s41598-023-31021-z.

[6] SPANA G, RANE A, KAOUK J H. Is robotics the future of laparoendoscopic single-site surgery (LESS)? BJU Int, 2011, 108(6 Pt 2): 1018-1023. doi: 10.1111/j.1464-410X.2011.10513.x.

[7] WHEELESS C R Jr. A rapid inexpensive and effective method of surgical sterilization by laparoscopy. J Reprod Med, 1969, 3(5): 65-69.

[8] PELOSI M A, PELOSI M A. Laparoscopic hysterectomy with bilateral salpingo-oophorectomy using a single umbilical puncture. N J Med, 1991, 88(10): 721-726.

[9] CASTELLUCCI S A, CURCILLO P G, GINSBERG P C, *et al*. Single port access adrenalectomy. J Endourol, 2008, 22(8): 1573-1576. doi: 10.1089/end.2008.0100.

[10] RANE A, CINDOLO L, SCHIPS L, *et al*. Laparoendoscopic single site (LESS) adrenalectomy: technique and outcomes. World J Urol, 2012, 30(5): 597-604. doi: 10.1007/s00345-011-0678-z.

[11] 魏勇, 沈露明, 沈百欣, 等. 运用国产单孔机器人手术系统完成腹膜后入路单孔肾上腺切除术的初步经验(附视频). 机器人外科学杂志(中英文), 2024, 5(1): 13-19. doi: 10.12180/j.issn.2096-7721.2024.01.003.
WEI Y, SHEN L M, SHEN B X, *et al*. Preliminary experience of retroperitoneal single-site adrenalectomy using a domestic single-site robotic surgical system (with video). Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(1): 13-19. doi: 10.12180/j.issn.2096-7721.2024.01.003.

[12] 蒲永昌, 汪勇, 刘林海, 等. 经腹膜后单孔与多孔腹腔镜肾上腺肿瘤切除的疗效及安全性研. 重庆医学, 2024, 53(14): 2173-2176. doi: 10.3969/j.issn.1671-8348.2024.14.018.
PU Y C, WANG Y, LIU L H, *et al*. Study on the efficacy and safety of retroperitoneal laparoendoscopic single-site versus multi-port laparoscopic adrenalectomy for adrenal tumors. Chongqing Medicine, 2024, 53(14): 2173-2176. doi: 10.3969/j.issn.1671-8348.2024.14.018.

[13] 田义阳, 李涵, 秦鑫, 等. 单孔和标准通道后腹腔镜在肾上腺肿瘤手术中的对照研究. 临床泌尿外科杂志, 2023, 38(11): 822-826. doi: 10.13201/j.issn.1001-1420.2023.11.006.
TIAN Y Y, LI H, QIN X, *et al*. Comparative study of laparoendoscopic single-site and standard retroperitoneoscopic surgery in adrenal tumor surgery. Journal of Clinical Urology, 2023, 38(11): 822-826. doi: 10.13201/j.issn.1001-1420.2023.11.006.

[14] SEO I Y, LEE J W, RIM J S. Laparoendoscopic single-site radical nephrectomy: a comparison with conventional laparoscopy. J Endourol, 2022, 25(3): 465-469. doi: 10.13201/j.issn.1001-1420.2023.11.004.

[15] 宋家璈, 柳文强, 陈童, 等. 单孔腹腔镜与传统腹腔镜肾切除术治疗局限性肾癌的疗效比较: 术后随访至少10年的配对研究. 海军军医大学学报, 2024, 45(7): 844-850. doi: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240058.
SONG J A, LIU W Q, CHEN T, *et al*. Comparison of efficacy between laparoendoscopic single-site and conventional laparoscopic nephrectomy for localized renal cell carcinoma: a matched-pair study with at least 10 years of postoperative follow-up. Academic Journal of Naval Medical University, 2024, 45(7): 844-850. doi: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240058.

[16] STAMATAKIS L, MERCADO M A, CHOI J M, *et al*. Comparison of laparoendoscopic single site (LESS) and conventional laparoscopic donor nephrectomy at a single institution. BJU Int, 2013, 112(2): 198-206. doi: 10.1111/j.1464-410X.2012.11763.x.

[17] GRECO F, AUTORINO R, RHA K H, *et al*. Laparoendoscopic single-site partial nephrectomy: a multi-institutional outcome analysis. Eur Urol, 2013, 64(2): 314-322. doi: 10.1016/j.eururo.2013.01.025.

[18] KAOUK J H, GOEL R K, WHITE M A, *et al*. Laparoendoscopic single-site radical cystectomy and pelvic lymphnode dissection: initial experience and 2-years follow-up. Urology, 2010, 76(4): 857-861. doi: 10.1016/j.eururo.2013.04.032.

[19] XU K, LANG B, FU B, *et al*. Laparoendoscopic Single-Site Radical Cystectomy vs Conventional Laparoendoscopic Radical Cystectomy for Patient with Bladder Urothelial Carcinoma: Matched Cast-Control Analysis. J Endourol, 2017, 31(12): 1259-1268. doi: 10.1089/end.2017.0525.

[20] 黄健, 林天歆, 许可慰, 等. 改良单孔腹腔镜下膀胱前列腺根治性切除-原位回肠新膀胱术应用分析. 中华医学杂志, 2010, 90(22): 1542-1546. doi: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2010.22.009.
HUANG J, LIN T X, XU K W, *et al*. Application of modified laparoendoscopic single-site radical cystoprostatectomy and orthotopic ileal neobladder. National Medical Journal of China, 2010, 90(22): 1542-1546. doi: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2010.22.009.

[21] KAOUK J H, GOEL R K, HABER G P, *et al*. Single-port laparoscopic radical prostatectomy. Urology, 2008, 72(6): 1190-1193. doi: 10.1016/j.urology.2008.06.010.

[22] 朱清毅, 林建中, 魏勇, 等. 脱套式功能尿道保留在前列腺癌根治性术中应用. 南京医科大学学报(自然科学版), 2022, 42(12): 1687-1689. doi: 10.7655/NYDXBNS20221207.
ZHU Q Y, LIN J Z, WEI Y, *et al*. Application of degloving functional urethra preservation in radical prostatectomy. Journal of Nanjing Medical University (Natural Sciences), 2022, 42(12): 1687-1689. doi: 10.7655/NYDXBNS20221207.

[23] BARRET E, SANCHEZ-SALAS R, ERCOLANI M, *et al*. Robotic-assisted laparoendoscopic single-site surgery (R-LESS) in urology: an evidence-based analysis. Minerva Urol Nefrol, 2011, 63(2): 115-122.

[24] JOSEPH R A, GOH A C, CUEVAS S P, *et al*. “Chopstick” surgery: a novel technique improves surgeon performance and eliminates arm collision in robotic single-incision laparoscopic surgery. Surg Endosc, 2010, 24(6): 1331-1335. doi: 10.1007/s00464-009-0769-8.

[25] 朱清毅, 张超, 魏勇, 等. 国产单孔蛇形臂机器人手术系统在经后腹腔肾肿瘤肾部分切除术和肾上腺肿瘤切除术中的初步应用. 海军军医大学学报, 2022, 43(10): 1189-1193. doi: 10.16781/j.CN31-2187/R.20220284.
ZHU Q Y, ZHANG C, WEI Y, *et al*. Preliminary application of a domestic single-site robotic surgical system with serpentine arms in retroperitoneal

partial nephrectomy and adrenalectomy. Academic Journal of Naval Medical University, 2022, 43(10): 1189-1193. doi: 10.16781/j.CN31-2187/R.20220284.

[26] 张超, 魏勇, 景泰乐, 等. 国产单孔蛇形臂机器人手术系统在前列腺癌根治术中的初步应用. 中华腔镜泌尿外科杂志(电子版), 2022, 16(4): 293-297. doi: 10.3877/cma.j.issn.1674-3253.2022.04.002.
ZHANG C, WEI Y, JING T L, *et al*. Preliminary application of a domestic single-site robotic surgical system with serpentine arms in radical prostatectomy. Chinese Journal of Endoscopic Urology (Electronic Edition), 2022, 16(4): 293-297. doi: 10.3877/cma.j.issn.1674-3253.2022.04.002.

[27] ZHANG C, WANG Z, JING T, *et al*. Robot-assisted single-port retroperitoneal partial nephrectomy with a novel purpose-built single-port robotic system with deformable surgical instruments. World J Urol, 2024, 42(1): 134. doi: 10.1007/s00345-024-04827-3.

[28] 黄庆波, 李智, 彭程, 等. 国产单孔手术机器人在保留肾单位手术中的应用价值. 中华医学杂志, 2024, 104(35): 3323-3327. doi: 10.3760/cma.j.cn112137-20240123-00171.
HUANG Q B, LI Z, PENG C, *et al*. Application value of domestic single-site robotic surgical system in nephron-sparing surgery. National Medical Journal of China, 2024, 104(35): 3323-3327. doi: 10.3760/cma.j.cn112137-20240123-00171.

[29] 马鑫, 张旭, 董隽, 等. 机器人辅助经脐单孔腹腔镜肾囊肿去顶减压术3例报告. 微创泌尿外科杂志, 2014, 3(1): 8-11. doi: 10.19558/j.cnki.10-1020/r.2014.01.003.
MA X, ZHANG X, DONG J, *et al*. Robot-assisted laparoendoscopic single-site decortication of renal cysts: a report of 3 cases. Journal of Minimally Invasive Urology, 2014, 3(1): 8-11. doi: 10.19558/j.cnki.10-1020/r.2014.01.003.

[30] 吴震杰, 王坚超, 王杰. 机器人单孔腹腔镜肾上腺肿瘤切除术初步临床应用报告. 临床泌尿外科杂志, 2017, 32(6): 437-439. doi: 10.13201/j.issn.1001-1420.2017.06.008.
WU Z J, WANG J C, WANG J. Preliminary clinical report of robotic laparoendoscopic single-site adrenalectomy for adrenal tumors. Journal of Clinical Urology, 2017, 32(6): 437-439. doi: 10.13201/j.issn.1001-1420.2017.06.008.

[31] 吴震杰, 刘冰, 王坚超, 等. 机器人单孔腹腔镜下零缺血肾部分切除术的初步应用经验. 中华泌尿外科杂志, 2017, 38(7): 498-501. doi: 10.3760/cma.j.issn.1000-6702.2017.07.005.
WU Z J, LIU B, WANG J C, *et al*. Preliminary experience of robotic laparoendoscopic single-site zero-ischemia partial nephrectomy. Chinese Journal of Urology, 2017, 38(7): 498-501. doi: 10.3760/cma.j.issn.1000-6702.2017.07.005.

[32] 朱清毅. 实用泌尿外科机器人单孔腹腔镜技术. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2021.
ZHU Q Y. Practical Techniques in R-LESS Urology. Nanjing: Jiangsu Phoenix Science and Technology Press, 2021.

[33] 徐力, 虞晨昊, 安文进, 等. 经会阴机器人辅助单孔腹腔镜根治性前列腺切除术的应用研究. 中华泌尿外科杂志, 2024, 45(8): 598-602. doi: 10.3760/cma.j.cn112330-20240524-00240.
XU L, YU C H, AN W J, *et al*. Application of transperineal robot-assisted laparoendoscopic single-site radical prostatectomy. Chinese Journal of Urology, 2024, 45(8): 598-602. doi: 10.3760/cma.j.cn112330-20240524-00240.

[34] 郭云凯, 高贺云, 张文, 等. 机器人辅助单孔腹腔镜手术在儿童重复肾治疗中的探索. 临床小儿外科杂志, 2024, 23(9): 850-856. doi: 10.3760/cma.j.cn101785-202401001-009.
GUO Y K, GAO H Y, ZHANG W, *et al*. Exploration of robot-assisted laparoendoscopic single-site surgery in the treatment of duplex kidney in children. Journal of Clinical Pediatric Surgery, 2024, 23(9): 850-856. doi: 10.3760/cma.j.cn101785-202401001-009.

[35] WU Z, WANG Z, MOSCHOVAS M C, *et al*. Robot-assisted Single-port Radical Prostatectomy with the SHURUI SP and da Vinci SP Platforms: Comparison of the Technology, Intraoperative Performance, and Outcomes. Eur Urol Open Sci, 2024, 67: 26-37. doi: 10.1016/j.euros.2024.07.107.

[36] 魏勇, 沈露明, 杨健, 等. 运用国产单孔机器人手术系统完成腹膜外入路前列腺根治性切除术的初步经验. 南京医科大学学报(自然科学版), 2023, 43(8): 1156-1160. doi: 10.7655/NYDXBNS20230818.
WEI Y, SHEN L M, YANG J, *et al*. Preliminary experience of extraperitoneal radical prostatectomy using a domestic single-site robotic surgical system. Journal of Nanjing Medical University (Natural Sciences), 2023, 43(8): 1156-1160. doi: 10.7655/NYDXBNS20230818.

[37] 庞名扬, 魏勇, 沈露明, 等. 运用国产单孔机器人完成经膀胱入路膀胱部分切除术治疗膀胱癌一例报道. 中华腔镜泌尿外科杂志(电子版), 2024, 18(6): 638-643. doi: 10.3877/cma.j.issn.1674-3253.2024.06.017.
PANG M Y, WEI Y, SHEN L M, *et al*. A case report of transvesical partial cystectomy for bladder cancer using a domestic single-site robot. Chinese Journal of Endoscopic Urology (Electronic Edition), 2024, 18(6): 638-643. doi: 10.3877/cma.j.issn.1674-3253.2024.06.017.

[38] WANG Z, ZHANG C, JING T, *et al*. A novel single-port robotic system in urology: a prospective multicenter single-arm clinical trial evaluating feasibility and efficacy of first 50 cases. Asian J Urol, 2025, 12(2): 152-161. doi: 10.1016/j.ajur.2024.07.002.

(2025 – 07 – 18收稿, 2026 – 04 – 10修回)

编辑 余 琳

开放获取 本文使用遵循知识共享署名—非商业性使用4.0国际许可协议(CC BY-NC 4.0), 详细信息请访问https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/。

OPEN ACCESS This article is licensed for use under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (CC BY-NC 4.0). For more information, visit https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/.

© 2026《四川大学学报(医学版)》编辑部

Editorial Office of *Journal of Sichuan University (Medical Sciences)*