

编者按 新技术的引入极大地改变了大多数外科学的实践。自机器人手术系统进入临床以来，手术系统的改进升级，手术器械的更新迭代，以及传统腹腔镜技术的不断发展，促使外科专家开始尝试改进传统手术方式，通过减少手术切口数量，以达到降低患者体表创伤、缩短术后恢复时间等效果。

随着人民生活水平的日益提高，患者在追求快速康复的同时，对切口美容效果提出了更高的要求。目前，机器人辅助单孔腹腔镜技术已在国内外泌尿外科领域成功开展，与多孔腹腔镜手术相比，单孔腹腔镜手术具有精准、灵活、无外部机械臂干涉、能适应狭窄腔道等优势，同时减少了切口的数量和总长度，具有创伤小、切口隐蔽、恢复更快、疼痛更轻、瘢痕更小等一系列优点。

为进一步探究机器人辅助单孔腹腔镜技术在泌尿外科的临床效果，本刊邀请南京医科大学第二附属医院泌尿外科首席专家顾民教授和学科带头人朱清毅教授共同策划了“机器人辅助单孔腹腔镜泌尿外科手术专栏”。本专栏对机器人辅助单孔腹腔镜技术在泌尿外科的应用现状与未来前景，在全膀胱全尿道切除术、肾上腺切除术和前列腺根治性切除术中的临床应用情况，以及在前列腺根治术中护理配合经验等方面进行了初步探讨，以期为该技术在临床的应用提供循证医学证据和重要支撑，探究该技术的可行性、安全性和临床疗效，使其得到更广泛的推广和应用，从而造福更多患者。

机器人辅助单孔腹腔镜技术在泌尿外科的发展与展望

朱清毅，魏勇，顾民

（南京医科大学第二附属医院泌尿外科 江苏 南京 210011）

摘要 近年来，单孔腹腔镜技术一直是外科领域迫切需要但难以攻克的微创难点技术之一。机器人手术系统作为现阶段微创外科领域最先进的技术已广泛应用于临床，与此同时机器人辅助单孔腹腔镜技术也发生了巨大的飞跃。目前，机器人辅助单孔腹腔镜手术在临床的应用还处于快速成长阶段，其中也存在诸多的挑战。本文通过对国内外相关文献进行综合分析，介绍了机器人辅助单孔腹腔镜技术在泌尿外科领域的发展现状，并进一步展望机器人辅助单孔手术在泌尿外科的发展前景。

关键词 机器人辅助手术；单孔腹腔镜手术；泌尿外科；微创手术

中图分类号 R699 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2024) 01-0001-06

收稿日期：2022-07-12 录用日期：2023-07-25

Received Date: 2022-07-12 Accepted Date: 2023-07-25

基金项目：江苏省卫生健康委科研项目（ZD2021028）

Foundation Item: Scientific Research Project of Jiangsu Provincial Health Commission(ZD2021028)

通讯作者：顾民，Email: lancetgu@aliyun.com

Corresponding Author: GU Min, Email: lancetgu@aliyun.com

引用格式：朱清毅，魏勇，顾民. 机器人辅助单孔腹腔镜技术在泌尿外科的发展与展望[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2024, 5(1): 1-6.

Citation: ZHU Q Y, WEI Y, GU M. Progress and prospects of robot-assisted laparoendoscopic single-site technology in urology[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(1): 1-6.

注：朱清毅，魏勇为共同第一作者

Co-first Author: ZHU Qingyi, WEI Yong

Progress and prospects of robot-assisted laparoendoscopic single-site technology in urology

ZHU Qingyi, WEI Yong, GU Min

(Department of Urology, the Second Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210011, China)

Abstract In recent years, laparoendoscopic single-site technology has been one of the most difficult minimally invasive techniques in surgical field. As the most advanced technology in the field of minimally invasive surgery, robotic surgical system has been widely used in clinical practice. Meanwhile, robot-assisted laparoendoscopic single-site technology has also made a huge leap. At present, the clinical application of robot-assisted laparoendoscopic single-site surgery is still in the stage of rapid growth, but there are also many challenges and obstacles. The current status and difficulties of robot-assisted laparoendoscopic single-site surgery in urology were introduced in this paper by comprehensive analysis of relevant literatures at home and abroad, and further development of robotic laparoendoscopic single-site surgery in urology was prospected.

Key words Robot-assisted Surgery; Laparoendoscopic Single-site Surgery; Urology; Minimally Invasive Surgery

在过去的几十年里,微创手术在泌尿外科等领域有了巨大的发展,特别是从腹腔镜手术到机器人辅助手术的逐步转变。医疗技术的进步和器械的不断更新使得外科医生可以更轻松地完成肿瘤根治术等各种复杂术式。随着传统腹腔镜技术的不断发展、成熟,外科专家们开始尝试改进传统技术,通过减少手术切口,降低患者体表的手术创伤,以达到由传统多孔腹腔镜手术向单孔腹腔镜手术(Laparoendoscopic Single-site Surgery, LESS)的转变^[1]。LESS的优势在于减少了手术切口数量与总长度,使得患者体表创伤更小、切口更美观、术后恢复更快、疼痛感更轻,同时医生在大范围操作或处理双侧病变时更具优势,并且可以降低术后并发症(如腹部粘连和切口疝气)的发生率。自机器人手术系统被引入到临床,以及光学和人体工程学技术的显著改进,单孔技术取得了巨大的飞跃。机器人辅助单孔腹腔镜手术(Robot-assisted Laparoendoscopic Single-site Surgery, R-LESS)在临床应用中有效解决了LESS所存在的许多操作问题。

1 机器人辅助单孔腹腔镜手术在泌尿外科领域的发展

2000年,第1代达芬奇机器人手术系统被

批准应用于临床;2006年,达芬奇S手术系统(第2代)发布,首次装置了4个机械臂;2009年,美国Intuitive Surgical公司发布的第3代达芬奇机器人手术系统(Si系统)改进为双控制台,达芬奇Si系统更加小巧、高效;2014年发布的第4代达芬奇Xi机器人手术系统的器械臂更细小、轻巧,且悬吊式移动平台可自由调整手术操作方向,扩大了手术可操作范围。

机器人辅助手术凭借更清晰的视野、更灵活的操作角度、更精细的解剖等优势得到了越来越多医生的青睐,机器人操作平台联合单孔腹腔镜技术随之出现并逐步运用于临床^[2]。LESS常因缺少手术操作的“三角”关系,术中需要使用特殊器械辅助,且操作空间相对有限,镜头和其他器械之间的相互干扰大大增加了手术难度,同时外科医师的学习曲线较长,尤其在术野暴露和缝合等方面^[3]。而机器人手术系统的优势体现在“腕式”器械显著扩大了手术可操作范围,其特有的运动缩放和震颤控制使手术操作的灵活性和精准度得到了有效提高,使得R-LESS在临床的进一步推广和应用成为可能。有回顾性研究表明,R-LESS的可行性和有效性在于其符合加速康复外科理念,可有效缩短手术恢复期,减轻患者术后疼痛,并可以达到良好的切口美

观度^[4-5]。此外，对于外科医师而言，应用机器人手术系统的医生体位自主，手术环境舒适，操作满意度良好。2008年，美国 Haber G P 等人^[6]率先报道了团队成功运用机器人单孔手术平台为动物实施肾盂成形术、肾部分切除术以及根治性肾切除术。随后美国克利夫兰诊所的 Kaouk J H 等人^[7]报道了人类首例机器人辅助下单孔腹腔镜前列腺根治性切除术和肾切除术。尽管机器人手术系统具有一定的潜在优势，但一些固有技术障碍也阻碍了许多中心对 R-LESS 技术的推广。因此，2010 年美国 Intuitive Surgical 公司开发了一款达芬奇机器人单孔手术平台（Da Vinci Single-site Surgical Platform, DVSSP）专用于机器人辅助单孔手术，如图 1。该平台使用的套件包括 1 个四腔端口，并提供 2 个单点仪器（2 个用于机器人控制仪器的弯曲套管）、2 个直套管（1 个用于 8.5 mm 3D 高清内窥镜，1 个用于 5/10 mm 辅助端口）和 1 个气体注入阀。由于机器人控制仪器的套管是弯曲的，而且机械臂是半柔性的，因此通过穿过接入端口中间的弯曲套管可以实现操作“三角”关系。2010 年，美国 Haber G P 等人^[8]首次报道了在泌尿外科领域中的 DVSSP 手术。他们在最初的猪模型泌尿学实验中证明了该设备在技术上的可行性。2012 年，Kaouk J H 等人^[9]报道了在尸体模型中使用第 2 代达芬奇单孔器械进行肾盂成形术、肾部分切除术和根治性肾切除术。研究发现 DVSSP 手术主要有两方面的局限性：①缺乏手腕关节的灵活性，使体内缝合更具挑战性；②助手操作与机械臂之间存在明显干扰。2013 年，法国 Mathieu R 等人^[10]报道了 DVSSP 首次成功应用于 6 例根治性肾切除术的患者。随后国外多个中心报道了 DVSSP 在泌尿外科领域的成功运用，证明了 DVSSP 手术在临床应用中的可行性，但同时也都提出了 Kaouk J H 团队提到的 DVSSP 手术的局限性^[11]。当前，R-LESS 已广泛应用于泌尿外科的各类手术，应用最广泛的是前列腺根治性切除术^[12-13]。

2 机器人辅助单孔腹腔镜手术在我国泌尿外科领域的应用

我国开展机器人辅助单孔腹腔镜手术的时间稍晚，海军军医大学第一附属医院王林辉、杨波团队于 2011 年 4 月率先报道了在猪身上完成机器人辅助单孔腹腔镜肾部分切除术和肾盂输尿管成形术^[14]。在泌尿外科临床领域，中国人民解放军总医院张旭团队于 2014 年率先报道了运用达芬奇 Si 手术系统完成 3 例机器人辅助单孔腹腔镜肾囊肿去顶减压术，结果初步证实了 R-LESS 的可行性^[15]。2017 年 5 月王林辉团队完成国内首例机器人辅助单孔腹腔镜左侧肾上腺肿瘤切除术^[16]，同年该团队报道了机器人辅助单孔腹腔镜零缺血肾部分切除等复杂手术，患者术后疼痛轻、恢复快、短期疗效确切^[17]。2018 年 7 月海军军医大学第二附属医院泌尿外科任善成团队完成亚洲首例经腹机器人辅助单孔腹腔镜前列腺癌根治术。随后国内多个泌尿外科团队也都先后开展了机器人辅助单孔腹腔镜手术。2019 年 3 月复旦大学附属中山医院泌尿外科郭剑明团队率先报道了经膀胱入路机器人辅助单孔腹腔镜前列腺根治性切除术，充分展现了机器人手术系统高度的灵活性和精细的操作能力^[18]。另外，笔者团队已采用达芬奇机器人 Xi 系统完成 R-LESS 超 450 余例（如图 2），并于 2021 年 10 月在《实用泌尿外科机器人单孔腹腔镜技术》一书中总结了机器人辅助单孔腹腔镜技术在泌尿外科领域应用的临床经验，这对 R-LESS 具有重要指导意义，尤其对 R-LESS 手术切口和路径的选择、术中体位和器械的摆放、术中操作要点和注意事项等方面做了具体阐述。2022 年宋宁宏团队在新疆应用 R-LESS 完成了 2 例精索静脉曲张高位结扎术、1 例肾盂输尿管切开取石术、1 例肾囊肿去顶减压术、1 例膀胱切开取石术、1 例肾部分切除术，均取得成功^[19]。

R-LESS 的临床应用既满足了患者对手术超微创、小切口、术后快速康复的需求，又解决了 LESS 存在的诸多技术难点，诸多该领域的专

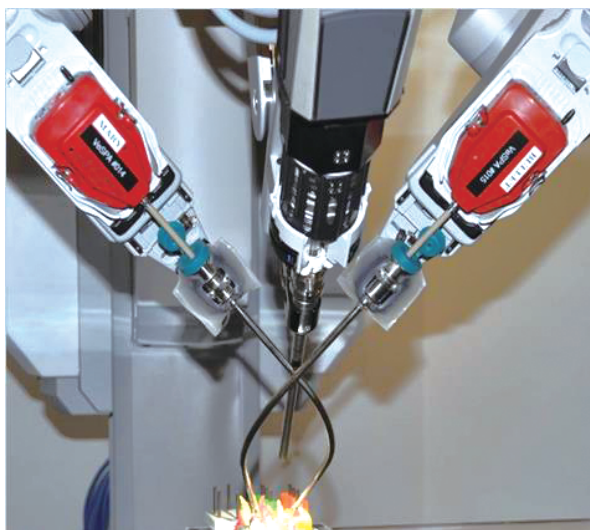


图1 达芬奇机器人单孔手术平台 (DVSSP)
Figure 1 Da Vinci single-site[®] surgical platform (DVSSP)
(图片源于网络, 网址: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5532886/>)

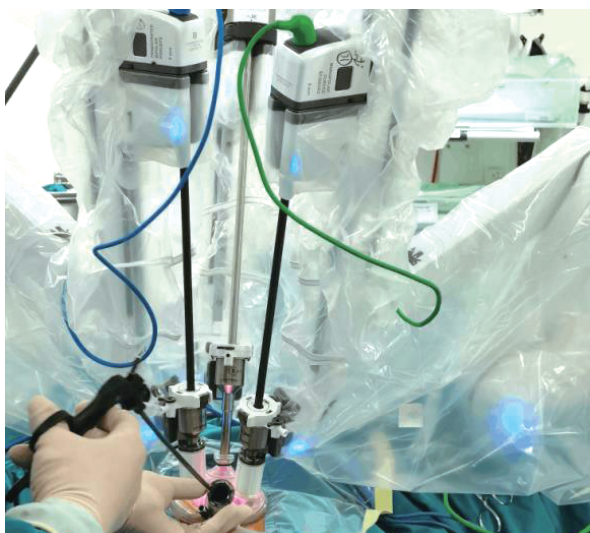


图2 达芬奇 Xi 手术系统辅助单孔腹腔镜术中操作
Figure 2 Intraoperative operation of Da Vinci Xi surgical system assisted laparoscopic single-site surgery

家也相继证实了 R-LESS 运用于临床的可行性和优势^[20], 但目前尚缺少多中心、大样本的前瞻性随机临床研究^[21]。现阶段 R-LESS 技术在泌尿外科领域的应用仍然存在一些困难^[22], 如机器人外部系统体积过大、机械臂操作时体外易发生碰撞及助手操作空间不足等, 此外, R-LESS 的高成本也在一定程度上制约了其临床运用。R-LESS 不仅要求手术医生具有扎实的临床专业基础, 而且需通过机器人手术系统和单孔腹腔

镜技术理论与实践的专业培训^[23]; 达芬奇 Xi 手术系统 (第 4 代) 较之前的系统有了较大的技术改进, 其加长的机器臂较达芬奇 Si 手术系统 (第 3 代) 更适合开展单孔机器人手术。

3 单孔机器人手术的未来与展望

2018 年美国 Intuitive Surgical 公司设计了专用的达芬奇单孔机器人手术系统 (SP 系统), 如图 3A。此系统将 3 把操作器械和观察镜融合到一个机械臂内, 操作器械和观察镜均可进行腕式活动, 器械间无需交叉操作, 这种单孔机器人手术系统与 LESS 相结合的创新术式对泌尿外科单孔手术起到巨大推动作用。2019 年美国 Kaouk J 等人^[22]率先报道了 9 例运用达芬奇机器人 SP 手术系统完成泌尿外科手术, 初步证明了 SP 系统的有效性和安全性。中国人民解放军总医院率先在国内引进第 1 台达芬奇 SP 系统单孔手术机器人, 张旭院士团队于 2022 年 1 月完成了国内首例达芬奇 SP 系统单孔机器人辅助泌尿外科手术。除了达芬奇机器人 SP 系统, 目前全世界已有许多公司在研发各种单孔机器人手术系统, 如 TransEnterix (Morrisville, NC)、Medrobotics Flex Robotic System (Raynham, MA) 手术系统等。

目前国产单孔机器人手术系统的研发也步入正轨, 诸多国内手术机器人研发团队 (如“北京术锐”“深圳精锋”“上海微创”等) 自主研发的单孔手术机器人也相继问世。2020 年 9 月中山大学孙逸仙纪念医院黄健团队率先报道了运用国产“精锋”单孔机器人 (SP1000 系统) 顺利完成 5 例母猪肾切除术的动物试验^[24], 如图 3B。2021 年 3 月王林辉团队完成了国内首例具有完全自主知识产权的、真正意义上的单孔机器人辅助前列腺癌根治术 (“术锐”单孔腹腔镜机器人手术系统), 这标志着国产单孔手术机器人技术有了新的突破, 如图 3C。笔者团队在 2021 年—2022 年运用“术锐”单孔蛇形臂机器人手术系统安全、有效地完成 9 例腹膜外入路单孔前列腺根治性切除术, 充分展示了“术锐”单孔手术

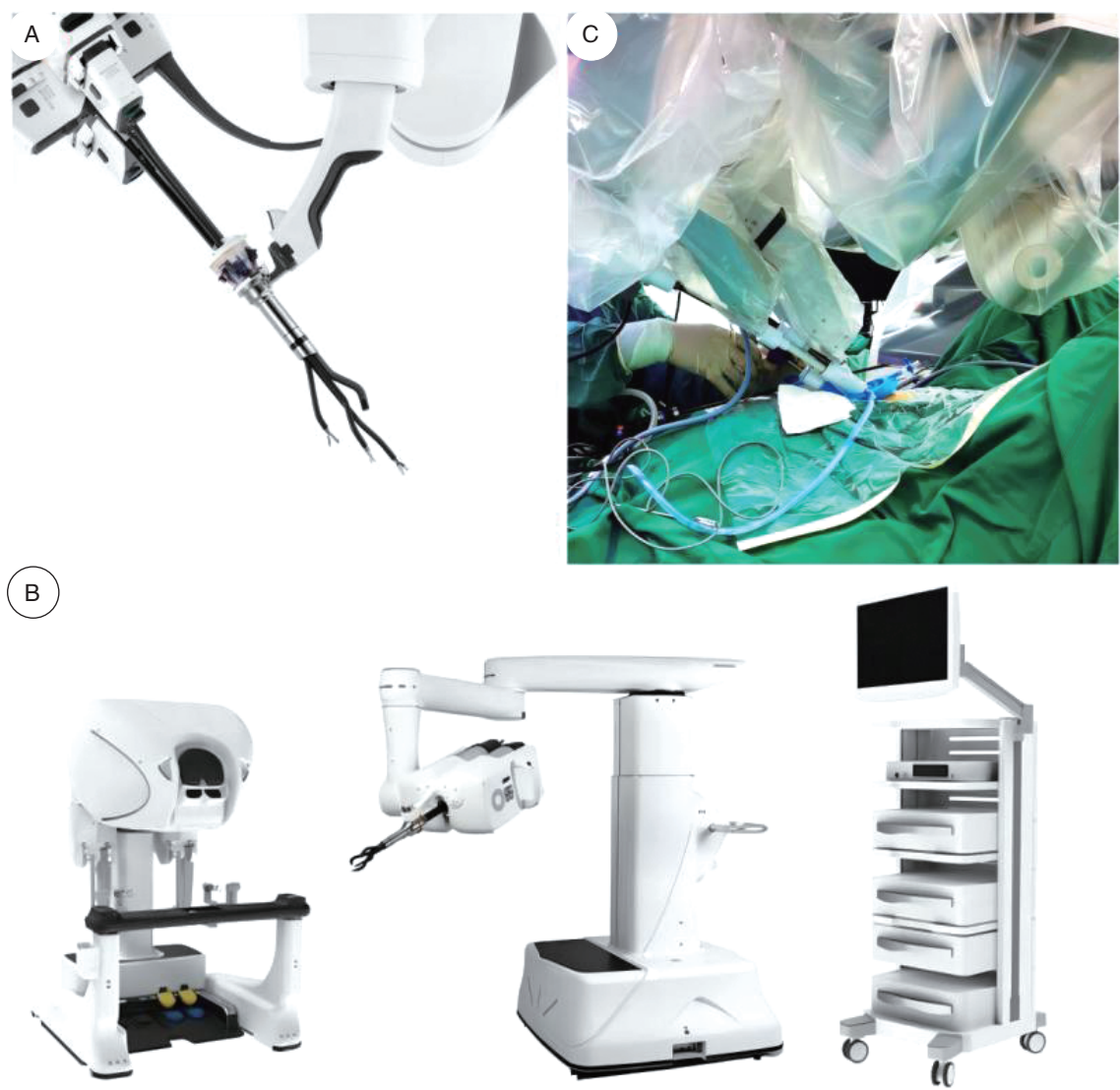


图 3 单孔机器人手术系统

Figure 3 Single-site robotic surgical system

注：A. 达芬奇机器人手术系统（SP 系统）；B. 精锋单孔机器人（SP1000 系统）；C. 术锐单孔腹腔镜机器人手术系统（图 A 来源于达芬奇官网，网址：<https://www.intuitive.com/en-us/products-and-services/da-vinci/sp>；图 B 来源于精锋医疗官网，网址：<http://www.edgemed.cn/danjiqiren/66/208>）

机器人动作灵活、指向性准确的优势^[25]。2022 年 3 月，中国人民解放军总医院运用国产“精锋”单孔手术机器人完成首例单孔机器人辅助腹腔镜下卵巢囊肿剥除术，相信不久之后也将运用于泌尿外科单孔领域。与此同时，国内单孔机器人领域专家对相关器械和设备的研发也将推动单孔手术机器人技术的发展。

总的来说，单孔机器人手术有着广阔的应用前景。随着技术的不断发展和改进，它将为患

者提供更安全、更精确的手术治疗，并成为外科手术的主流选择之一。未来，基于单孔机器人手术系统的 LESS 与普通机器人辅助 LESS 可以在泌尿外科领域的临床应用中互补，根据患者个体差异性 & 疾病的特殊性，术者可以选择不同的机器人手术系统开展 LESS，技术革新必将推动单孔机器人手术在泌尿外科领域的进一步发展。

利益冲突声明： 本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明： ①朱清毅负责设计论文框

架; ②魏勇起草并修改论文; ③顾民负责拟定写作思路, 指导撰写文章并最后定稿。

参考文献

- [1] 王林辉, 吴震杰, 朱清毅. 中国泌尿外科单孔腹腔镜技术的发展与展望 [J]. 中华泌尿外科杂志, 2020, 41(11): 807-810.
- [2] White M A, Haber G P, Autorino R, et al. Robotic laparoendoscopic single-site radical prostatectomy: technique and early outcomes[J]. Eur Urol, 2010, 58(4): 544-550.
- [3] 刘存东, 周冉冉, 包继明. 单孔腹腔镜技术在泌尿外科的应用进展及展望 [J]. 临床泌尿外科杂志, 2022, 37(1): 1-5.
- [4] Lenfant L, Sawczyn G, Aminsharifi A, et al. Pure singlesite robot-assisted radical prostatectomy using singleport versus multiport robotic radical prostatectomy: a single-institution comparative study[J]. Eur Urol Focus, 2020. DOI: 10.1016/j.euf.2020.10.006.
- [5] Komninos C, Shin T Y, Tulião P, et al. R-LESS partial nephrectomy trifecta outcome is inferior to multiport robotic partial nephrectomy: comparative analysis[J]. Eur Urol, 2014, 66(3): 512-517.
- [6] Haber G P, Crouzet S, Kamoi K, et al. Robotic NOTES (natural orifice transluminal endoscopic surgery) in reconstructive urology: initial laboratory experience[J]. Urology, 2008, 71(6): 996-1000.
- [7] Kaouk J H, Goel R K, Haber G P, et al. Robotic singleport transumbilical surgery in humans: initial report[J]. BJU Int, 2009, 103(3): 366-369.
- [8] Haber G P, White M, Autorino R, et al. Novel robotic Da Vinci instruments for laparoendoscopic single-site surgery[J]. Urology, 2010, 76(6): 1279-1282.
- [9] Kaouk J H, Autorino R, Laydner H, et al. Robotic single-site kidney surgery: evaluation of second-generation instruments in a cadaver model[J]. Urology, 2012, 79(5): 975-979.
- [10] Mathieu R, Verhoest G, Vincendeau S, et al. Robotic-assisted laparoendoscopic single-site radical nephrectomy: first experience with the novel Da Vinci single-site platform[J]. World J Urol, 2014, 32(1): 273-276.
- [11] Morelli L, Guadagni S, Di Franco G, et al. Da Vinci single site[®] surgical platform in clinical practice: a systematic review[J]. Int J Med Robot, 2016, 12(4): 724-734.
- [12] Lai A, Dobbs R W, Talamini S, et al. Single port robotic radical prostatectomy: a systematic review[J]. Translational Andrology and Urology, 2020, 9(2): 898-905.
- [13] Mattevi D, Luciani L G, Vattovani V, et al. First case of robotic, laparoendoscopic single-site radical prostatectomy with single-site VesPa platform[J]. Journal of Robotic Surgery, 2018, 12(2): 381-385.
- [14] 杨波, 王辉清, 肖亮, 等. 机器人单孔腹腔镜下行猪肾部分切除术及肾盂输尿管成形术的初步尝试 [J]. 第二军医大学学报, 2011, 32(4): 409-412.
- [15] 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 [J]. 微创泌尿外科杂志, 2014, 3(1): 8-11.
- [16] 吴震杰, 王坚超, 王杰, 等. 机器人单孔腹腔镜肾上腺肿瘤切除术初步临床应用报告 [J]. 临床泌尿外科杂志, 2017, 32(6): 437-439, 443.
- [17] 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 [J]. 中华泌尿外科杂志, 2017, 38(7): 498-501.
- [18] 姜帅, 许培榕, 姚家喜, 等. 耻骨上经膀胱单孔机器人前列腺癌根治术的初步尝试 [J]. 中国临床医学, 2019, 26(2): 215-217.
- [19] 丛戎, 邵云强, 田金勇, 等. 国产手术机器人辅助单孔腹腔镜技术在泌尿外科的初步应用 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2023, 4(6): 533-539.
- [20] WEI Y, JI Q Y, ZUO W R, et al. Efficacy and safety of single port robotic radical prostatectomy and multiport robotic radical prostatectomy: a systematic review and meta-analysis[J]. Transl Androl Urol, 2021, 10(12): 4402-4411.
- [21] Nelson R J, Chavali J S S, Yerram N, et al. Current status of robotic single-port surgery[J]. Urol Ann, 2017, 9(3): 217-222.
- [22] Kaouk J, Garisto J, Bertolo R, et al. Robotic urologic surgical, interventions performed with the single port dedicated platform: first clinical investigation[J]. European Urology, 2019, 75(4): 684-691.
- [23] Sendag F, Akdemir A, Zeybek B, et al. Single-site robotic total hysterectomy: standardization of technique and surgical outcomes[J]. J Minim Invasive Gynecol, 2014, 21(4): 689-694.
- [24] LIU C, LAI C, YAO X F, et al. Robot-assisted nephrectomy using the newly developed EDGE SP1000 single-port robotic surgical system: a feasibility study in porcine model[J]. J Endourol, 2020, 34(11): 1149-1154.
- [25] 魏勇, 沈露明, 杨健, 等. 运用国产单孔机器人手术系统完成腹腔镜外入路前列腺根治性切除术的初步经验 [J]. 南京医科大学学报 (自然科学版), 2023, 43(8): 1156-1160.

编辑: 魏小艳