四川大学学报（医学版） 2026，57（3）：627－632
J Sichuan Univ（Med Sci） doi: 10.12182/20260560501

在线全文

机器人辅助单孔腹腔镜手术在妇科的应用：技术范式革新与临床进展

杨 帆，郑 莹△

四川大学华西第二医院 妇产科 出生缺陷与相关妇儿疾病教育部重点实验室（四川大学）（成都 610041）

【摘要】 随着机器人辅助单孔腹腔镜手术在妇科的应用不断发展，其适应证已从良性疾病逐步深入到恶性肿瘤，呈现出机器人技术与单孔微创融合发展的态势。本文主要探讨da Vinci Xi及国产单孔机器人等系统在各类复杂术式中的临床实践，构建起优化器械布局、克服操作壁垒的技术路径。技术上，借助3D高清视野、灵活腕转及除颤优势，结合创新性手术范式，有效解决了单孔器械干扰难题，实现精准切除、快速康复及无痕美观。尽管目前专用单孔系统仍面临技术挑战且长期预后数据待积累，但未来融合人工智能及远程技术，将进一步验证其疗效，推动该技术在妇科临床的规范化应用。

【关键词】 机器人辅助手术系统 单孔腹腔镜手术 妇科手术 综述

Applying Robot-Assisted Single-Port Laparoscopic Surgery in Gynecology: Technological Paradigm Innovations and Clinical Advances

YANG Fan, ZHENG Ying△. Department of Gynecology and Obstetrics, Key Laboratory of Birth Defects and Related Diseases of Women and Children, Ministry of Education, West China Second University Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

△ Corresponding author, E-mail: zhy_chd@126.com

[Abstract] With the continuous development of robot-assisted single-port laparoscopic surgery in gynecology, its indications have gradually expanded from benign gynecologic diseases to malignant tumors, reflecting an emerging trend toward the integration of robotic technology and single-port minimally invasive surgery. This review primarily discusses the clinical application of robotic systems such as the da Vinci Xi platform and domestically developed single-port robotic systems in various complex surgical procedures, as well as the development of technical strategies for optimizing instrument layout and overcoming operative limitations. From a technical perspective, the use of 3-dimensional high-definition visualization, flexible wristed instrumentation, and tremor filtration, combined with innovative surgical paradigms, has effectively addressed the problem of instrument interference in single-port surgery, thereby enabling precise resection, rapid postoperative recovery, and superior cosmetic outcomes with minimal visible scarring. Although dedicated single-port systems still face technical challenges and long-term outcome data remain limited, the future integration of artificial intelligence and remote technologies will further validate their clinical efficacy and promote the standardized application of this approach in gynecological clinical practice.

[Key words] Robot-assisted surgical system Single-port laparoscopic surgery Gynecological surgery Review

上世纪末，腹腔镜微创技术因其创伤小、出血少、恢复快等优势，已广泛应用于妇科手术[1]。近年来，在多孔腹腔镜技术日趋成熟的基础上，单孔腹腔镜手术（laparoendoscopic single-site surgery, LESS）以其独特的微创与美学优势得以蓬勃发展。与传统多孔腹腔镜手术相比，LESS技术更符合“无瘤原则”，且术后康复更快。然而，操作空间受限导致的“筷子效应”及操作时长对术者体力的挑战，一度限制了LESS技术的推广[2-3]。

随着机器人手术系统的快速发展，将其3D高清、灵活腕转及稳定除颤等优势，与LSEE技术相结合，可成功克服LESS技术壁垒。笔者团队通过创新性设置适用于单孔操作的穿刺器（Trocar）布局、优化器械协同模式，摸索并总结了一套将多孔机器人系统运用于单孔腹腔镜手术的技术方法。同时，专用单孔机器人系统的问世，为术者带来了革命性的操作体验，使单孔手术的技术优势得以进一步彰显[4-5]。高科技机器人让术者能够更从容地驾驭高难度单孔手术，而最微创的单孔技术促成了高科技机器人的推广和普及，单孔与机器人的优势互补、完美结合，

△ 通信作者，E-mail: zhy_chd@126.com

出版日期：2026-05-20

实现了妇科手术治疗创伤最小甚至无痕的卓越发展。

机器人辅助单孔腹腔镜手术(robot assisted-laparoendoscopic single-site surgery, R-LESS)是指通过单一小切口(通常位于脐部)置入多自由度机械臂和三维内镜,并由外科医生在控制台操作完成手术的腹腔镜微创技术。严格来说机器人系统单孔腹腔镜ff手术包括:运用传统多臂多孔机器人系统(如da Vinci Xi)经单孔入路平台实施单孔手术和运用单孔机器人手术系统(如da Vinci SP系统、EDGE SP1000系统等)实施单孔手术。

1 多臂多孔机器人系统施行单孔手术的技术探索

1.1 多臂多孔机器人系统技术特点

传统多臂机器人手术系统多用于实施多孔腹腔镜手术,其技术流程、团队配合和安全性已得到广泛验证。目前临床已运用于泌尿外科、胸外科、结直肠外科、妇科、眼科等。拥有良好的复杂微创手术精准度和效率。但多臂多孔机器人系统并非专为单孔手术而设计,随着系统改进,以第四代da Vinci Xi为典型代表,进行了机械臂升级,提升了集成式激光定位和简化摆位及重定向等功能;与此同时伴随特殊多通道单孔端口适配平台研发,为传统多臂机器人系统实施单孔手术创造了可行性。最早主要应用于泌尿外科领域。如有报道通过加装多通道单孔端口("Lap Single Vision"平台)经脐完成肾部分切除术和肾盂切开取石[6-7]。也有报道用于单孔胆囊切除和阑尾切除[8]。多臂机器人系统凭借高精度和三维视野,实现了创伤小、出血少、恢复快的优势。后续在胸外科,肺叶切除等手术也被成功实施并报道[9]。另有报道用Xi系统为7个月大婴儿实施机器人单孔辅助肾盂成形术[10]。各外科领域均展现出多臂多孔机器人系统运用于单孔微创外科的广阔发展前景。

尽管如此,但Xi系统本质上是一个多孔手术平台,使用Xi系统进行单孔手术的难度较高,其应用需要特定的方法技巧且存在技术挑战,对术者经验要求更高,特别是在单孔入路搭建时,机械臂布局和手术视野的优化尤为重要。多臂多孔机器人系统在单孔外科手术中目前报道主要是一些相对简单的术式,如单孔肾盂成形术,胆囊切除术,剑突下胸腺切除术等[11]。

1.2 多臂多孔机器人系统在妇科单孔手术领域的应用

早期多臂多孔机器人系统在妇科单孔手术领域应用较为有限。仅有一项基于35例da Vinci Xi系统控制下行单孔子宫切除术的国外单中心研究,报道中显示:手术中位控制台时间为41 min,阴道残端缝合中位时间为18 min,中转多孔手术率为5.7%,术中严重并发症发生率为2.9%,无输血病例;伴随显著的学习曲线效应,后续病例的手术时间和估计失血量均显著减少,该报道证实了da Vinci Xi系统早期在经选择的患者中实施妇科单孔手术的安全性及可行性。近年来,单孔多臂机器人手术在妇科良性疾病治疗中的应用逐步增多,涵盖子宫切除术、附件手术及子宫内膜异位病灶切除等[12]。本团队曾回顾性分析了2021年4月至2023年9月期间使用da Vinci Xi系统实施单孔腹腔镜妇科手术的疗效,共纳入721例患者,其中包含妇科常见良性疾病以及内膜癌、早期宫颈癌和早期卵巢癌妇科三大恶性肿瘤性疾病。研究发现400例良性病例的中位手术时间为145.0 min,出血量45.0 mL,术中并发症率1.0%;321例恶性病例的中位手术时间218.0 min,出血量50.0 mL,术中并发症率2.8%[13]。另有研究也报道了da Vinci Xi系统在恶性肿瘤手术中表现出较低静脉血栓栓塞(VTE)风险,以及与经阴道自然腔道内镜手术(R-vNOTES)等新兴技术的结合[14-15],展现出这一系统具有良好的发展前景。

本团队多年来一直深耕于构建单孔腹腔镜手术技术体系,并将该体系创新性融合运用于多臂机器人单孔手术。2023年报道了全球首例da Vinci Xi经脐单孔宫颈癌免举宫广泛切除手术[16],相较于传统单孔腹腔镜手术,这一技术在缩短手术时间、减少出血、增加手术安全性、加速患者康复及无瘤操作技术避免潜在肿瘤播散风险等方面优势显著。本团队报道的首例da Vinci Xi经脐单孔卵巢癌缩瘤术+高位腹主动脉旁淋巴结切除术和子宫内膜癌根治术+高位腹主动脉旁淋巴结切除术,体现了机器人系统辅助提升了复杂困难单孔手术的灵巧性、精确性及可视化等优势[17-18]。此外团队还成功实施Xi单孔外阴癌根治术,并成功开展疑难病例的Xi单孔多学科联合手术,实现多臂多孔机器人系统应用于妇科恶性肿瘤等高难度单孔手术的突破性跨越。

1.3 应用多臂多孔机器人实施妇科单孔手术的技巧

笔者团队凭借多年临床积淀,系统性总结出一套运用多臂多孔机器人实施妇科单孔手术的技巧精要。聚焦于多臂多孔机器人手术臂的创新性优化布局、机械臂碰撞的有效规避及精细操作的精准实现,为推动多臂多孔机器人实施妇科单孔手术的标准化与规范化提供了宝贵的实践指导[17]。

1.3.1 机器人对接角度及定位

对接角度:机器人车置于患者右侧或从患者头侧或脚侧以一个相对陡峭的角度(约45°~60°)进行对接。这样,机械臂在体外呈发散状,避免了体外机械臂的碰撞,为体内的灵活操作留出空间。

二次定位：需要同时处理盆腔和上腹部手术时，完成盆腔操作后，可解锁机器人，整体旋转或移动到新的位置再次对接，实现“一孔两用”，这是机器人经脐单孔（R-TU-LESS）的独特优势。

1.3.2　R-TU-LESS 切口及器械布局

R-TU-LESS脐部切口长度通常较普通单孔手术增加1～2 cm。切口套管（PORT）的安置方向略有调整。PORT上的4个通道分别正对患者的头（图1A-4）、脚（图1A-2）、左（图1A-1）、右（图1A-3）侧安置。进行盆腔手术时，靠近患者脚（图1A-2）侧的通道放置镜头，左（图1A-1）侧通道放置双极电凝/抓持钳，右（图1A-3）侧通道放置单极电剪（图1B）。安置这3个机械臂trocar时应尽量相互远离，避免操作受限和器械碰撞。靠近患者头（图1A-4）侧的通道则作为助手的操作器械入口（图1C），手术时助手通过此（图1B-4）通道完成牵拉暴露、冲洗吸引、进出标本袋和缝针等辅助操作。

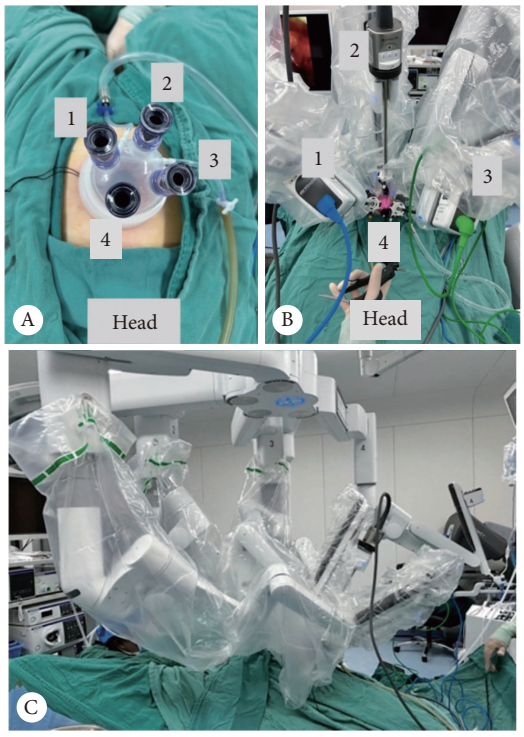


图 1　多臂多孔机器人经脐单孔手术入路平台和布局图

Fig 1　Layout diagram of transumbilical single-port surgical approach using a multi-arm multi-port robot surgical platform

A and B show the instrument layout for a single-port access platform using a multi-arm multi-port robot; C shows the overall schematic diagram of the platform; the head side is on the right side. 1, 2, 3, and 4 represent the patient's left, foot, right, and head sides, respectively.

1.3.3　术者赋能与助手协同的“内外联动”

机器人系统卓越的人体工程学设计，让术者舒适坐姿操作，减少了术者躯体劳损，显著延长了外科医生职业寿命。其震颤过滤与运动传导功能，将术者从繁琐的限制性操作中解放，能更专注于解剖辨识与手术决策，实现从“工匠”到“指挥家”的升华。3D高清视野重塑了术者的三维空间感知，弥补了单孔手术线性视野的缺陷，流畅的操作体验也带来了更稳定的心理状态，为手术安全提供了重要保障。

R-LESS中，主刀医生专注于精细解剖和切割，助手也不再是旁观者，而是核心参与者。助手通过单孔入路平台6点钟处的4号（图1B-4）辅助操作孔，进行吸引、牵拉、冲洗等操作，负责“清理战场”和“暴露视野”。这一高效的内外联动，能极大降低了主刀医生的操作难度，提升手术效率，方便单孔操作。

1.3.4　操作原则：四大范式转变

R-LESS不仅是技术的叠加，更是手术操作理念的革新。它通过四大范式转变，重塑了单孔手术的操作逻辑。

暴露方式：从“静态悬吊”到“动态提拉”。传统单孔操作模式依赖“4C悬吊”等技术[19]，将子宫或组织静态地悬吊于腹壁，操作繁琐且暴露角度固定。R-LESS采用宫颈环扎带提拉牵引，助手可实时、多角度地调整子宫位置和张力，提供动态、精准的术野暴露。这不仅简化了手术步骤，更让暴露从“被动固定”变为“主动掌控”，极大提升了复杂手术的灵活性。

主刀操作：从“单手绕圈”到“双手协同”。传统单孔操作，主刀医生常以左手持续牵拉作为支点，右手器械围绕左手进行“绕圈式”操作，这是一种补偿性的、非对称的技术。R-LESS在助手的有效辅助下，主刀彻底解放，实现双手协同操作。利用机器人腕转活动，双手器械可在体内形成一个宽大的、可随时调整的操作三角，恢复了类似多孔腹腔镜的对称操作感，使解剖分离更加流畅、高效。

缝合打结：从“筷子穿引”到“腕式仿生”。传统单孔操作，器械在单孔内呈“筷子状”平行，缝合打结时针尖角度调整极为困难，操作笨拙，学习曲线陡峭。R-LESS模式由于机器人540°旋转的EndoWrist腕式器械，完美模拟了人手腕的灵活度。术者可以像开腹手术一样，轻松调整针尖方向，进行精细的“腕式仿生”缝合与打结。这使得在狭小空间内的血管缝合、阴道残端闭合等高难度操作变得精准可靠，彻底解放了单孔下缝合这一高难度操作。

平台整合能量应：R-LESS机器人系统整合了多种成熟的能量平台，主刀如多孔手术一样，根据不同组织特性及手术解剖需求，在双臂间灵活切换或同时使用不同能量器械与操作器械。这种“平台整合”能力，使得手术平面解剖更精细、止血更高效，实现了技术工具的最优化配置。

四大范式转变，将单孔手术从一种“突破束缚”的技巧，转变为一种“发挥优势”的艺术。通过动态暴露、双手

协同、腕式缝合和能量整合，让术者在单孔的极致微创条件下，依然能感受到接近开腹手术的操控自由度和多孔腹腔镜的手术效率，这也正是R-LESS技术创新性运用的真正魅力所在。

2 单孔机器人手术系统施行单孔手术的技术探索

单孔机器人手术系统是专为单孔手术研发的设备，手术由单一通道操作，所有手术器械(通常为3个)及内镜通过一个套管(直径25～30 mm)进入体腔[20-22]。单孔机器人专有的机械臂均为高自由度器械，采用关节式多自由度器械臂，克服传统单孔操作受限。单孔机器人手术系统的出现，进一步减少手术创伤、缩短手术学习曲线、加速康复，并将单孔术式扩展到复杂外科操作应用，实现了微创外科的又一步跨越性进步。现已有关于单孔机器人行前列腺癌根治、肺叶切除、子宫全切、宫颈癌根治术等相关报道[23-28]。

2.1 单孔机器人手术系统及其技术特点

单孔机器人手术系统目前主流可分为两大类。第一类是集成式单臂设计，其代表为da Vinci SP系统。国产代表为深圳精锋和上海微创独臂单孔机器人系统等[29]。第二类是分体式多臂单孔机器人手术系统，如北京术锐。它们通过多个独立的机械臂，分别持镜或持械，在体外协同汇聚于单一切口，其技术特点表现为更灵活布局以及器械更大范围的活动。

2.1.1 达芬奇SP系统（da Vinci SP®）

da Vinci SP是集成式单臂设计的代表，将3D内镜与三个可弯曲器械集成于单一套管，通过一个机械臂进入体内，以7个自由度在体内重建操作三角，有效克服器械干扰。其优势在于结构紧凑、协同性好，尤其适合狭小腔隙操作。但因其尚未在国内获批上市，目前主要通过特许政策在少数中心开展临床探索，高昂成本与经验积累是其推广的挑战[30]。

2.1.2 国产单孔手术机器人

精锋SP1000系统(EDGE SP1000)：作为国内首个获批上市的集成式单孔机器人，其独臂单孔设计配合蛇形机械臂，具备7自由度与360°操作能力，显著降低创伤，目前其在泌尿外科[31]、妇科[32]、肝胆外科[33]及咽喉头颈外科[34]等领域均见临床报道。由中国人民解放军总医院孟元光教授牵头，联合武汉大学中南医院，西安交通大学，四川大学华西第二医院5家单位共同采用精锋SP1000系统完成了临床注册实验并成功上市。华西第二医院报道了其中18例，手术覆盖妇科各类良性疾病及早期子宫颈癌和子宫内膜癌全面分期手术，初步验证了该系统的安全性和有效性[35]。同时依托其5G网络的远程手术功能，该系统成功实施多次临床验证，国产化带来的高性价比正以“精准微创+远程协作”双引擎重塑医疗资源分布格局。

术锐SR-ENS-600系统：采用分体式多臂协同设计，核心为自主研发的连续体蛇形机械臂。该设计赋予器械极高的灵活性与自由度，能通过独特的“对偶平行”运动在目标区域重建操作三角，从根本上克服“筷子效应”。系统集成了运动缩放、震颤滤除及虚拟墙等高级安全算法，保障了手术的精细与安全。其应用范围涵盖普外科[36]、胸外科[37]、泌尿外科[38]及妇科[39]等。北京协和医院联合北京积水潭医院、东南大学附属中大医院、四川大学华西第二医院、温州医科大学附属第二医院、武汉大学中南医院等5家医院采用术锐®SR-ENS-600机器人系统完成了63例单臂临床试验研究，初步验证了该系统在卵巢囊肿、子宫肌瘤、宫颈病变和子宫内膜癌患者手术中的安全性和有效性[40]。该系统也与国内多家顶尖医院合作，在5G网络环境下进行了多次远程手术演示(包括动物实验和模拟操作)[41]。

2.2 单孔手术机器人实施单孔手术优势

专用单孔机器人系统是“为单孔而生”的原生性、系统性革新，其优势体现在多个层面。对患者而言，它通过更小的单孔切口实现极致微创与更佳的美容效果。对术者而言，其“原生三角”设计彻底消除了单孔手术器械干扰，使主刀能独立掌控内镜与全部操作器械，实现“主刀中心化”的精准操控，降低了对助手的依赖。在手术流程与团队协作上，单臂对接显著缩短了手术准备时间，提升了团队协作效率和手术室周转效率。单孔机器人的出现不仅仅弥补了单孔手术的缺陷，而是通过高度集成化与智能化，从根本上定义了单孔手术应有的新标准，为微创外科的未来发展指明了方向。

2.3 单孔机器人系统在妇科手术领域的应用现状

单孔机器人在妇科手术领域的应用正迅速发展，并展现出巨大潜力。以da Vinci SP系统为代表，来自日本、意大利、韩国等多国报道已广泛覆盖子宫肌瘤剔除[42]、子宫切除等良性手术[43]，并成功拓展至子宫内膜癌、宫颈癌及卵巢癌分期等恶性肿瘤领域，临床研究均证实了其在复杂手术中的可行性、安全性与短期疗效[44]。2024年笔者团队报道成功完成1例术锐®SR-ENS-600机器人系统下早期内膜癌分期手术，证实其在内膜癌治疗中的安全可行[40]。

在妇科远程手术领域国产单孔机器人手术系统已通过跨城甚至跨洲手术。如术锐机器人从西班牙远程操作北京实验平台，精锋SP1000系统成功完成首例独臂单孔机

器人成都-拉萨(交通里程> 2 000 km, 海拔落差> 3 000 m)及1例成都-广州(距离> 1 500 km)跨地域妇科远程手术[45], 为优质医疗技术和资源下沉提供了解决方案。然而, 该技术尚未常规应用于临床人体手术, 主要受限于远程手术法规、医患接受度及网络安全的最终验证。当前核心进展在于, 国产系统与顶尖医院合作, 积极推动临床试点, 旨在将创伤更小的单孔技术与远程资源可及性两大优势结合, 为未来实现妇科前沿微创手术的“无边界”诊疗奠定基础。

3　机器人单孔手术的发展与展望

机器人单孔手术, 作为妇科微创外科发展的必然趋势, 正从前沿探索迈向临床应用的广度与深度, 其核心驱动力源于在保证治疗效果的前提下实现更小创伤、更快康复及更优美容效果的卓越追求。其发展历程致力于破解单孔下器械“筷子效应”与视野局限的固有难题。以连续体蛇形臂为代表的创新技术, 通过在体内重建灵活的操作三角, 成功实现了复杂手术在单一微小切口下的精准执行, 标志着妇科微创技术的新高度。截至2026年2月华西妇科团队已成功完成妇科机器人单孔手术1 500余例, 其中恶性肿瘤700余例, 在机器人辅助妇科单孔手术的临床应用领域取得了创新性进展和突破性跨越。

展望未来, 其发展将深度融合前沿科技。人工智能(AI)将实现术中器官与血管的自动识别、手术路径的智能规划, 结合增强现实(AR)技术, 可将关键信息叠加于三维视野, 为医生提供“透视”导航, 极大提升手术安全性。力反馈技术的突破, 将赋予医生真实的组织触感, 弥补目前纯视觉操作的短板。同时, 器械的进一步小型化与智能化, 将推动手术从经脐单孔向经自然腔道(vNOTES)演进, 真正实现“无瘢痕”手术的愿景。随着国际巨头与国产创新力量的竞相发展, 机器人单孔手术不仅是技术的革新, 更将引领外科进入一个更精准、更安全、更微创的新纪元。

*　　*　　*

作者贡献声明　杨帆负责论文构思、数据审编和初稿写作, 郑莹负责论文构思、数据审编、初稿写作和审读与编辑写作。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　YANG Fan is responsible for conceptualization, data curation, and writing--original draft. ZHENG Ying is responsible for conceptualization, data curation, writing--original draft, 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　本文作者郑莹是本刊编委会编委。该文在编辑评审过程中所有流程严格按照期刊政策进行, 且未经其本人经手处理。除此之外, 所有作者均声明不存在利益冲突。

Declaration of Conflicting Interests　ZHENG Ying is a member of the Editorial Board of the journal. All processes involved in the editing and reviewing of this article were carried out in strict compliance with the journal's policies and there was no inappropriate personal involvement by the author. Other than this, both authors declare no competing interests.

参　考　文　献

[1] APPELBAUM H. Perioperative and operative considerations for minimally invasive surgery in pediatric and adolescent gynecology. J Pediatr Adolesc Gynecol, 2025, 38(1): 18-25. doi: 10.1016/j.jpag.2024.07.006.

[2] JIANG X, ZUO X, ZHU H. Laparoendoscopic single-site technique contrasted with conventional laparoscopy in cystectomy for benign ovarian cysts. Curr Ther Res Clin Exp, 2023, 99: 100713. doi: 10.1016/j.curtheres.2023.100713.

[3] 陈琳,郑莹,闵玲,等. vNOTES与TU-LESS行子宫全切除术的临床队列研究. 中华妇产科杂志, 2020, 55(12): 843-847. doi: 10.3760/cma.j.cn112141-20200309-00193.
CHEN L, ZHENG Y, MIN L, *et al*. Clinical cohort study of total hysterectomy via transvaginal natural orifice transluminal endoscopic surgery and transumbilical laparoendoscopic single site surgery. Chinese Journal of Obstetrics and Gynecology, 2020, 55(12): 843-847. doi: 10.3760/cma.j.cn112141-20200309-00193.

[4] KIM K. Single-port robotic posterior retroperitoneoscopic adrenalectomy: current perspectives, technical considerations, and future directions. J Clin Med, 2025, 14(7): 2314. doi: 10.3390/jcm14072314.

[5] OH S, YI J, SHIN J H. Single port robotic assisted sacrocolpopexy using retroperitoneal tunneling technique. J Minim Invasive Gynecol, 2025, 32(6): 500. doi: 10.1016/j.jmig.2025.02.005.

[6] LEE H H, NA J C, YOON Y E, *et al*. Robot-assisted laparoendoscopic single-site upper urinary tract surgery with da Vinci Xi surgical system: initial experience. Investig Clin Urol, 2020, 61(3): 323-329. doi: 10.4111/icu.2020.61.3.323.

[7] LÓPEZ-HUERTA A, REYES-DÍAZ M L, BONILLA-COZAR M A, *et al*. Evaluating short- and long-term clinical outcomes of robotic rectal cancer surgery: a comparison of da Vinci S and Xi systems. J Robot Surg, 2025, 19(1): 720. doi: 10.1007/s11701-025-02844-x.

[8] BIANCO F M, DREIFUSS N H, CHANG B, *et al*. Robotic single-port surgery: Preliminary experience in general surgery. Int J Med Robot, 2022, 18(6): e2453. doi: 10.1002/rcs.2453.

[9] OCHI T, SUZUKI H, HIRAI Y, *et al*. Robot-assisted thoracic surgery versus video-assisted thoracic surgery for mediastinal lesions. J Thorac Dis, 2023, 15(7): 3840-3848. doi: 10.21037/jtd-23-377.

[10] LIU Y, GAO H, HUANG G, *et al*. Single-port robot-assisted laparoscopic pyeloplasty in an infant: A video case report with 9 months follow up. J Pediatr Urol, 2022, 18(5): 704-705. doi: 10.1016/j.jpurol.2022.07.019.

[11] SUDA T, MOROTA M, NEGI T, *et al*. Subxiphoid uniportal robotic thymectomy using da Vinci Xi system†. Eur J Cardiothorac Surg, 2025, 67(4): ezaf127. doi: 10.1093/ejcts/ezaf127.

[12] CHEN Y, ZHENG Y, YANG F, *et al*. Comparison of robotic and conventional laparoendoscopic single-site hysterectomy for large uterus using da Vinci Xi system: A propensity score matching analysis. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol, 2025, 307: 252-257. doi: 10.1016/j.ejogrb.2025.02.036.

[13] CHEN Y, YANG F, WANG Q, *et al*. Robotic laparoendoscopic single-site surgery by da Vinci Xi system in gynecology: a retrospective series of 721 cases. BMC Surg, 2025, 25(1): 608. doi: 10.1186/s12893-025-03331-8.

[14] MARCHAND G, ULIBARRI H, ARROYO A, *et al*. The feasibility and surgical outcomes of robotic vaginal natural orifice transluminal endoscopic single port hysterectomy for benign gynecologic diseases: a systematic review and meta-analysis. AJOG Glob Rep, 2025, 5(3): 100512. doi: 10.1016/j.xagr.2025.100512.

[15] WAGAR M K, SOBECKI J N, CHANDERENG T, *et al*. Postoperative

venous thromboembolism in gynecologic oncology patients undergoing minimally invasive surgery: does modality matter? Gynecol Oncol, 2021, 162(3): 751-755. doi: 10.1016/j.ygyno.2021.06.011.

[16] SU M C, ZHENG Y, YANG F, *et al*. Placement of robotic single-site surgery with the tumor-free technique for early cervical cancer using the da Vinci Xi platform. Asian J Surg, 2023, 46(3): 1492-1493. doi: 10.1016/j.asjsur.2022.09.049.

[17] CHEN Y, ZHENG Y, YANG F. Primary debulking surgery for advanced epithelial ovarian cancer with isolated enlarged para-aortic lymph node by robotic transumbilical single port approach. Int J Gynecol Cancer, 2023, 33(12): 1976-1977. doi: 10.1136/ijgc-2023-004729.

[18] LI F, LIU J, YANG X, *et al*. R-LESS endometrial cancer comprehensive staging surgery with RV-level lymphadenectomy. In: 33rd Annual Congress of the European Society for Gynaecological Endoscopy (ESGE). Marseille, 2024.

[19] 王卡娜, 陈思敬, 郑莹. 郑氏4C悬吊法在经脐单孔腹腔镜妇科恶性肿瘤手术中的应用. 中华腔镜外科杂志(电子版), 2021, 14(1): 5-9. doi: 10.3877/cma.j.issn.1674-6899.2021.01.002.
WANG K N, CHEN S J, ZHENG Y. "Zheng's 4C suspension method" used in the transumbilical single single-site surgery (TU-LSSS) of gynecologic cancer. Chinese Journal of Laparoscopic Surgery (Electronic Edition), 2021, 14(1): 5-9. doi: 10.3877/cma.j.issn.1674-6899.2021.01.002.

[20] HOSHIKAWA Y, ISHIZAWA H. Robotic Mediastinal Tumor Surgery Using da Vinci Single-port (SP) Surgical System. Kyobu Geka, 2025, 78(10): 849-855.

[21] BILLAH M S, STIFELMAN M, MUNVER R, *et al*. Single port robotic assisted reconstructive urologic surgery-with the da Vinci SP surgical system. Transl Androl Urol, 2020, 9(2): 870-878. doi: 10.21037/tau.2020.01.06.

[22] GARDEN E B, Al-ALAO O, RAZDAN S, *et al*. Robotic single-port donor nephrectomy with the da Vinci SP® Surgical System. JSLS, 2021, 25(4): e2021.00062. doi: 10.4293/JSLS.2021.00062.

[23] AMINSHARIFI A, SAWCZYN G, WILSON C A, *et al*. Technical advancements in robotic prostatectomy: single-port extraperitoneal robotic-assisted radical prostatectomy and single-port transperineal robotic-assisted radical prostatectomy. Transl Androl Urol, 2020, 9(2): 848-855. doi: 10.21037/tau.2019.11.35.

[24] SOPUTRO N A, KAOUK J. Single-port robot-assisted radical prostatectomy. World J Urol, 2024, 42(1): 245. doi: 10.1007/s00345-024-04914-5.

[25] RAMOS R, SOPUTRO N, PEDRAZA A M, *et al*. Single port transvesical robot assisted radical prostatectomy. J Endourol, 2025, 39(S1): S39-S46. doi: 10.1089/end.2024.0291.

[26] LI C, ZHU X Y, GONZALEZ-RIVAS D, *et al*. Single-port robot-assisted thoracoscopic right lower bronchial sleeve lobectomy utilizing the Shurui single-port robotic system. J Thorac Dis, 2024, 16(11): 7920-7925. doi: 10.21037/jtd-24-957.

[27] LEE J H, HONG J I, KIM H K. Single-port robotic subcostal major pulmonary resection using the single-port robotic system. World J Surg, 2024, 48(3): 713-722. doi: 10.1002/wjs.12051.

[28] PISOTSKYI O, PETRASZ P, ZORGA P, *et al*. Single-port robotic system - a paradigm shift in robot-assisted radical prostatectomy?Expert Rev Med Devices, 2025, 22(6): 569-579. doi: 10.1080/17434440.2025.2499661.

[29] DAIKO H. da Vinci single-port esophagectomy via the subcostal approach. Kyobu Geka, 2025, 78(10): 888-891.

[30] KWAK Y H, LEE H, SEON K, *et al*. Da Vinci SP single-port robotic surgery in gynecologic tumors: Single surgeon's initial experience with 100 cases. Yonsei Med J, 2022, 63(2): 179-186. doi: 10.3349/ymj.2022.63.2.179.

[31] ZHANG L, ZHOU H, WEN Z, *et al*. Initial urological surgery using a new domestic single-port surgical robotic system. J Endourol, 2025, 39(4): 375-380. doi: 10.1089/end.2024.0822.

[32] GONG P, MAO H, HE T, *et al*. Initial outcomes and methodologies of a novel single-port robotic surgery in gynecology. JSLS, 2024, 28(4): e2024.00047. doi: 10.4293/JSLS.2024.00047.

[33] JIANG Z, FENG Z, XU Y, *et al*. Single-port robotic resection of recurrent hepatocellular carcinoma in the right anterior lobe: a case report. Int J Med Robot, 2025, 21(4): e70092. doi: 10.1002/rcs.70092.

[34] 韩萍, 梁发雅, 林沛亮, 等. 国产精锋单孔机器人辅助手术在咽喉头颈多部位疾病中的应用: 病例系列报告. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2025, 39(11): 1048-1052. doi: 10.13201/j.issn.2096-7993.2025.11.010.
HAN P, LIANG F Y, LIN P L, *et al*. Application of domestic jingfeng single-port robotic-assisted surgery in multisite diseases of oropharyngeal-head and neck region:case series. J Clin Otorhinolaryngol Head Neck Surg, 2025, 39(11): 1048-1052. doi: 10.13201/j.issn.2096-7993.2025.11.010.

[35] CHEN Y, ZHENG Y, WANG P, *et al*. Single-port robotic surgery using the EDGE SP1000 surgical system in gynaecology: Initial experience of a single institution. Int J Med Robot, 2023: e2578. doi: 10.1002/rcs.2578.

[36] GUO Z, SHI Y, SONG Z, *et al*. Single-incision robotic assisted surgery: a nonrandomized cohort pilot study on a novel surgical platform in colorectal surgery. Int J Surg, 2023, 109(11): 3417-3429. doi: 10.1097/js9.0000000000000612.

[37] LIANG H, WANG W, ZHANG M, *et al*. Safety and feasibility of novel single-port robotic-assisted lobectomy/segmentectomy for lung cancer. Ann Thorac Surg, 2025, 121(1): 205-214. doi: 10.1016/j.athoracsur.2025.04.035.

[38] LI Z Y, LUO C. Perioperative outcomes of the SHURUI single-port robotic system in urologic surgery: a systematic review and single-arm meta-analysis. J Robot Surg, 2025, 19(1): 334. doi: 10.1007/s11701-025-02519-7.

[39] CHANG R, PING D, YANG S, *et al*. Effectiveness and safety of SR-ENS-600endoscopic surgical system in benign and malignant gynecological diseases: a prospective, multicenter, clinical trial with 63 cases. J Robot Surg, 2024, 18(1): 210. doi: 10.1007/s11701-024-01871-4.

[40] WANG N, ZHENG Y, LIU J. Performing endometrial cancer surgery using the new single-port robotic laparoscopic surgical system (Shurui). Asian J Surg, 2024 Sep 10: S1015-9584(24)01887-6. doi: 10.1016/j.asjsur.2024.08.147.

[41] LIU Y, ZHANG W, CHEN X, *et al*. First trans-city remote laparoscopic surgery using the Shurui single-port surgical robot: a preclinical animal study. Nature Communications, 2024, 15(1): 789.

[42] LEE N, CHOI S H, KIM M L, *et al*. Comparing two types of robotic single-site myomectomy using propensity score matching: Coaxial with da Vinci Xi vs. da Vinci SP System. J Clin Med, 2025, 14(14): 5106. doi: 10.3390/jcm14145106.

[43] HIGUCHI N, KANNO K, ONJI H, *et al*. Comparing approaches to benign hysterectomy using conventional multi-port and newer single-port robots: a propensity score matching analysis of surgical outcomes and literature review. J Robot Surg, 2025, 19(1): 320. doi: 10.1007/s11701-025-02448-5.

[44] CHIOFALO B, BRUNO V, MANCINI E, *et al*. Feasibility and safety of robotic single-port surgical staging in epithelial ovarian cancer using the da Vinci SP platform: a preliminary experience. Int J Gynecol Cancer, 2025, 35(8): 101977. doi: 10.1016/j.ijgc.2025.101977.

[45] 王乔, 王沂峰, 郑莹, 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 Q F, ZHENG Y, *et al*. pioneering application of a domestically developed single-arm single-port robotic system in ultra-remotetelesurgery: a clinical report of two gynecological oncology cases. J Sichuan Univ (Med Sci), 2025, 56(5): 1399-1404. doi: 10.12182/20250960202.

（2026－01－04收稿, 2026－04－25修回）

编辑 汤 洁

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)*