DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20250460

·专题报道·

单孔机器人手术在妇科领域的应用及展望

王瑞琪[1]，刘晓军[1,2*]
1. 上海理工大学健康科学与工程学院，上海 200093
2. 海军军医大学（第二军医大学）第二附属医院妇产科，上海 200003

［摘要］ 单孔机器人手术系统作为微创外科领域的前沿技术，在妇科领域展现出显著优势。本文系统检索并分析了关于单孔机器人手术在妇科领域应用的22篇临床研究文献，共涉及患者2 130例。数据显示，与传统手术相比，单孔机器人手术具有学习曲线短、术中出血量少、美容效果好、术后并发症少等优点，尤其是在处理子宫肌瘤等良性疾病中。然而，其在妇科恶性肿瘤中的应用仍面临挑战。未来还需要依托大样本多中心研究和长期随访验证其远期疗效，同时应加强新型材料的开发以及人工智能与单孔机器人的融合，突破现有“瓶颈”，从而推动妇科手术向更精准、更微创的方向发展。

［关键词］ 单孔腹腔镜手术；妇科手术；机器人辅助手术；微创外科手术

［引用本文］ 王瑞琪，刘晓军. 单孔机器人手术在妇科领域的应用及展望[J]. 海军军医大学学报，2025，46(11)：1394-1400. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20250460.

Single-port robotic surgery in gynecology: application and prospect

WANG Ruiqi[1], LIU Xiaojun[1,2*]
1. School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China
2. Department of Obstetrics and Gynecology, The Second Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200003, China

［**Abstract**］ As a cutting-edge technology in minimally invasive surgery, single-port robotic surgery systems have demonstrated significant advantages in gynecology. This study reviewed 22 clinical research papers on the application of single-port robotic surgery in gynecology, involving 2 130 patients. The data indicated that, compared with conventional surgery, single-port robotic surgery had advantages such as a shorter learning curve, reduced intraoperative blood loss, improved cosmetic outcomes, and fewer postoperative complications, particularly in managing benign conditions like uterine fibroids. However, its application in gynecological malignancies remains challenging. Future research will require large-scale, multicentre studies with long-term follow-up to validate long-term efficacy. Advancing novel materials and integrating artificial intelligence with single-port robotic systems will help overcome current limitations, propelling gynecological surgery towards greater precision and minimally invasive techniques.

［**Key words**］ single-port laparoscopic surgery; gynecological surgery; robot-assisted surgery; minimally invasive surgery

［**Citation**］ WANG R, LIU X. Single-port robotic surgery in gynecology: application and prospect[J]. Acad J Naval Med Univ, 2025, 46(11): 1394-1400. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20250460.

现代医学中，精准化及微创化是妇科手术的发展趋势，也是临床医生和患者的共同追求。近年来，单孔腹腔镜手术因其创伤小以及美容效果好而备受关注[1]，但是传统的单孔腹腔镜手术受限于器械冲突、操作自由度低等问题难以广泛应用于复杂的妇科手术[2]。单孔机器人手术系统的开发解决了以往单孔腹腔镜手术的技术盲点[3]，被视为微创领域的革命性创新。本文系统检索了单孔机器人手术系统在妇

［收稿日期］ 2025-08-20　［接受日期］ 2025-10-14
［基金项目］ 上海申康医院发展中心市级医院诊疗技术推广及优化管理项目(SHDC12024121). Supported by Municipal Hospital Diagnosis and Treatment Technology Promotion and Optimization Management Project of Shanghai Hospital Development Center (SHDC12024121).
［作者简介］ 王瑞琪，硕士生. E-mail: 1976280247@qq.com
*通信作者(Corresponding author). E-mail: 13816122418@163.com

科领域应用的相关文献，综述了其进展情况并提出其面临的挑战及未来的发展趋势。

1　文献检索和筛选方法

1.1　*文献检索*　采用主题词和自由词相结合的方式进行文献检索，检索数据库包括 PubMed、EMBASE、Web of Science、中国知网、万方数据库和维普资讯中文期刊服务平台，文献检索时间自建库至 2025 年 5 月 1 日。英文检索主题词包括"robotic surgery""single-port robotic""single-site robotic"以及"gynecology""myomectomy""endometriosis""gynecological cancer""cervical cancer""endometrial cancer""ovarian cancer"；中文检索主题词包括"机器人手术""单孔机器人""机器人单孔手术"以及"妇科""子宫肌瘤""子宫内膜异位症""妇科肿瘤""宫颈癌""子宫内膜癌""卵巢癌"。

1.2　*文献纳入与排除标准*　纳入标准：（1）研究对象为妇科良恶性疾病患者；（2）手术方式为单孔机器人手术。排除标准：（1）无法获取文献全文；（2）文献类型为会议摘要或评论性文章；（3）非中文或英文文献；（4）重复发表的文献。

1.3　*文献筛选*　将所有数据库中检索到的 1 510 篇文献导入 EndNote 软件，去除重复文献。由 2 名妇科学研究者根据文献纳入及排除标准对检索到的文献进行筛选，首先阅读文献标题和摘要进行初筛，然后获取并阅读可能符合要求的文献全文进行复筛。筛选过程中如果遇到分歧，则由第 3 名研究者介入讨论并确认是否将歧义文献纳入研究。

排除重复文献 334 篇、研究内容不符 956 篇、研究类型不符 107 篇、研究对象不符 86 篇、无法获得全文 3 篇、非中英文文献 2 篇，最终共纳入 22 篇文献（2 130 例患者）进行综述，其中英文文献 21 篇，中文文献 1 篇[4-25]。

2　单孔机器人手术系统的发展

达芬奇机器人手术系统由美国 Intuitive Surgical 公司研发制造，于 2005 年通过美国 FDA 批准应用于妇科手术，是目前国内外应用最广泛的机器人手术系统。相较于传统腹腔镜手术，达芬奇 Si/Xi 机器人手术系统通过 1 080i 3D 高清视野、直觉式动作以及可转腕器械构建了 3D 手术空间感知体系[26]，使操作者能够以更舒适的操作方式完成手术中的精细分离与重建，有效降低了技术难度、提高了手术效率。

随着临床医生和患者对手术精准性和微创性要求的提升，单孔机器人手术应运而生。达芬奇 SP 机器人手术系统是 2018 年推出的单孔机器人手术系统，与之前的达芬奇多孔机器人手术系统（Si/Xi）相比，SP 机器人手术系统的新型柔性内镜可以与操作臂齐头并进，通过改善操作臂多个关节的运动，有效实现了远端"三角化"（即形成类似于传统多孔腹腔镜手术的三角形操作面），对腹部不同部位、不同器官进行联合手术，拓宽了手术适应证[27]。同时，SP 机器人手术系统的设计更为精简，缩短了术前准备时间，工具也更符合人体工学，提高了操作者舒适度[28]。SP 机器人手术系统的另一个显著优点是允许操作者在更狭窄的手术空间内进行操作[29]，尤其是在妇科恶性肿瘤切除等复杂术式中，该系统凭借 7 个自由度关节式手术器械和实时影像跟踪功能，显著提升了手术安全性及彻底性[30]。

达芬奇 SP 机器人手术系统在中国尚未获批上市，因此国内妇科单孔机器人手术的临床应用主要依赖国产创新设备，包括术锐 SR-ENS-600 单孔机器人手术系统、与达芬奇 SP 机器人相似的精锋 SP1000 单孔机器人手术系统和图迈® 单孔腹腔镜手术机器人[4-6]。尽管这 4 款均为单孔机器人手术系统，但是在系统特性上存在差异，具体见表 1。在临床试验方面，以术锐 SR-ENS-600 单孔机器人手术系统为例，张可欣等[7]对 21 例接受术锐 SR-ENS-600 单孔腹腔镜手术机器人治疗的妇科疾病患者进行了回顾性队列分析，结果显示在手术时间、住院时间及血红蛋白变化等指标上均比单孔腹腔镜组更佳，证明该国产机器人手术系统是安全可行的。这几款设备凭借灵活的操作臂设计和 3D 高清的成像系统，在妇科微创手术领域展现出了精准的组织解剖和狭窄空间操作优势[8]。不过受限于国产设备上市时间较短，目前尚缺乏对器械磨损、组织粘连等远期并发症的追踪数据，未来还需通过多中心长期研究与技术迭代持续提升临床适用性。

3　单孔机器人手术系统在妇科中的应用

近年来，妇科手术患者群体呈现年轻化趋势，

手术创口的美观性成为绝大部分年轻患者的共同需求，因此，能提供更好美容效果的单孔腹腔镜手术获得了更高的患者满意度[31-32]。但因手术操作空间狭窄等技术难点，单孔腹腔镜手术对操作医生的技术要求也较高。因此，自 2009 年 Escobar 等[33]首次报道了机器人辅助单孔腹腔镜手术在妇科领域的应用以来，单孔机器人手术被广泛应用于妇科良恶性疾病的手术治疗[9-10]。

表 1　4 款单孔机器人手术系统特性对比

Tab 1　Comparison of system characteristics of 4 single-port robotic surgery systems

特性	达芬奇SP机器人	术锐SR-ENS-600 机器人	精锋SP1000 机器人	图迈®单孔机器人
机械臂设计	刚体性双关节器械	连续体柔性机械臂(类似蛇形结构)	多关节刚性机械臂	交错双C灵巧臂技术
器械数量	3 支手术臂和 1 支内镜	3 支手术臂和 1 支视觉臂	3 支手术臂和 1 支内镜	3 支蛇形手术器械和 1 支蛇形内镜
成像系统	全腕 3D 高清摄像头，可提供 73°视野范围	3D 内镜，可实现双构节八方向任意弯转	3D 内镜，低延时	3D 高清柔性内镜
单臂负载能力	未公开具体数据	不小于 10 N	6 N	未公开具体数据
器械运动自由度	7 个自由度	7 个自由度	7 个自由度	7 个自由度
切口大小	单一切口(直径 2.5 cm)	单一切口(直径 2.5 cm)	单一切口(直径未公开具体数据)	单一切口(直径 2.5 cm)
延时控制	未公开具体数据	全链路延时＜50 ms	未公开具体数据	未公开具体数据

3.1　*妇科良性疾病*

3.1.1　*子宫肌瘤*　子宫肌瘤是女性生殖系统最常见的良性肿瘤，许多育龄女性患者需要行保留子宫的肌瘤切除术以保持生育能力[34]。2004 年 Advincula 等[35]首次采用机器人辅助腹腔镜技术行子宫肌瘤切除术，证明机器人辅助子宫肌瘤切除术是安全可行的，有望成为开放手术的替代方法。为了验证单孔机器人行子宫肌瘤切除术的效果，Kim 等[11]回顾性分析了 286 例接受单孔机器人子宫肌瘤切除术患者的手术结局和生育结果，其中 70 例使用达芬奇 Xi 机器人手术系统，216 例使用达芬奇 SP 机器人手术系统，结果显示两组肌瘤切除结局没有明显差异，且对生育没有过大影响，但达芬奇 SP 机器人手术系统有助于缩短手术时间，适合更为复杂的手术。子宫肌瘤切除的瘤体数量、直径大小等因素会影响术后血红蛋白等指标的变化。Lee 等[12]将 61 例接受达芬奇 SP 机器人手术系统切除子宫肌瘤的患者根据肌瘤数目（≥7 个）和最大直径（≥10 cm）分为两组，第 1 组肌瘤数目＜7 个且最大直径＜10 cm，第 2 组肌瘤数目≥7 个或最大直径≥10 cm，结果显示第 1 组在手术时间[（123.8±43.8）min vs（217.6±89.4）min]、血红蛋白下降值[（21±9）g/L vs（27±12）g/L]和住院时间[（4.4±0.8）d vs（4.7±0.9）d]方面均优于第 2 组，两组均未出现严重并发症，也没有转换多孔腹腔镜手术。以上研究均表明采用单孔机器人手术系统进行子宫肌瘤切除术安全且效果良好。然而，截至目前，还没有研究针对该手术方式在肌壁间肌瘤、浆膜下肌瘤、宫颈肌瘤及黏膜下肌瘤等不同类型子宫肌瘤治疗中的术后结果进行验证。

3.1.2　*子宫内膜异位症*　子宫内膜异位症是一种慢性病，影响了约 10% 的女性[36]。采用传统腹腔镜进行子宫内膜异位症相关手术可能会造成盆腔粘连、正常解剖结构和功能丧失、生殖系统不良预后等。因此，能提供更高完成精度的机器人辅助手术成为更多患者的选择[37]。Huang 等[13]根据子宫内膜异位症分期将接受单孔机器人腹腔镜手术的患者分为Ⅰ～Ⅳ期组，发现随着子宫内膜异位症分期的升高，手术时间（111、122、140、188 min）和术中出血量（15.00～27.50、15.00～30.00、25.00～50.00、25.00～100.00 mL）逐渐增加。Moon 等[14]的回顾性研究中纳入 120 例晚期子宫内膜异位症患者，单孔机器人腹腔镜手术组的手术时间和术中出血量高于传统单孔腹腔镜组[（107.8±37.6）min vs（76.9±46.4）min，（106.7±171.7）mL vs（57.1±44.9）mL]，但这可能与前者囊肿较大[（5.23±2.53）cm vs（4.37±2.14）cm]以及深部浸润型比例更高（76.5% vs 63.5%）有关；在关键围手术期指标（包括住院时间、术中和术后并发症发生率）上两组差异并没有统计学意义。对于青少年子宫内膜异位症患者，Fan 等[15]通过回顾性研究发现该群体经单孔机器人

手术治疗后并发症发生率极低，手术的安全性良好。

3.2　妇科恶性肿瘤

3.2.1　宫颈癌　在我国，宫颈癌的发病率在妇科恶性肿瘤中居第 1 位[38]。早期宫颈癌患者的治疗已经有了明确手术方案，即根治性子宫切除＋盆腔淋巴结切除术。近年来，单孔腹腔镜手术因术后恢复时间短、美容效果好等优点应用范围越来越广，但是盆腔解剖环境复杂、空间狭小，手术时易伤及血管及膀胱、输尿管等，为单孔腹腔镜手术应用于妇科肿瘤切除及淋巴结清扫带来了巨大困难[39]。2015 年，Sinno 和 Tanner[40]报道了全球首例机器人辅助单孔腹腔镜完成的ⅠB1 期宫颈癌根治术，术后患者未发生切口出血、感染、血管及神经损伤等并发症。Gao 等[16]和 Song 等[17]的研究发现，对于早期宫颈癌患者（国际妇产科联盟 2018 分期ⅠA2、ⅠB1 和ⅠB2），单孔机器人腹腔镜手术不仅手术时间更短、术中出血量更少，患者的 5 年无病生存率也可达到 90% 以上。然而，该手术对局部晚期宫颈癌患者的治疗效果相对较差，Li 等[18]研究结果显示，在早期患者中术后 3 年无病生存率可达 97.6%，但在局部晚期癌患者中仅为 88.1%。目前应用单孔机器人腹腔镜手术治疗局部晚期宫颈癌的临床数据仍较为有限，缺乏充分证据以明确其预后效果。

3.2.2　子宫内膜癌　子宫内膜癌是常见的女性生殖系统恶性肿瘤之一，其发病与肥胖、年龄等危险因素密切相关，这些因素同时也增加了手术操作的难度。为探讨子宫内膜癌患者 BMI 对单孔机器人腹腔镜手术效果的影响，Corrado 等[19]将 225 例患者根据 BMI 分为 A 组（30～34.9 kg/m^2）、B 组（35～39.9 kg/m^2）和 C 组（≥40 kg/m^2），结果显示仅在 A 组中单孔机器人手术的手术时间和估计出血量低于多孔机器人手术，表明单孔机器人手术在极度肥胖患者中优势并不明显。目前，单孔机器人手术主要应用于早期子宫内膜癌患者（国际妇产科联盟分期ⅠA～ⅠB 期）。Matsuura 等[20]对 84 例接受机器人子宫切除术的早期子宫内膜癌患者进行分析发现，与达芬奇 Xi 机器人手术系统相比，采用达芬奇 SP 机器人手术系统可使总手术时间显著缩短［（93.7±11.2）min vs （127.7±51.6）min］。此外，Vizza 等[21]对 25 例行单孔机器人子宫切除术的子宫内膜癌患者的研究发现，中位出血量为 67.0 mL，中位血红蛋白下降值为 12 g/L，表明该术式在早期子宫内膜癌中是安全可行的，可为子宫内膜癌患者的治疗提供一种新的选择。Chung 等[22]和 Sun 等[23]的研究也支持这一结论。

3.2.3　卵巢癌　大部分卵巢癌患者确诊时已处于晚期，治疗难度大。目前临床上主要采用肿瘤细胞减灭术联合化疗作为标准治疗方案。在卵巢癌领域，单孔机器人腹腔镜手术治疗的数据相当有限。Yoo 等[24]对 1 例临床拟诊早期卵巢癌的患者实施单孔机器人辅助腹腔镜分期手术，成功切除 15 个盆腔淋巴结和 7 个主动脉旁淋巴结，且没有任何并发症出现。Chen 等[25]成功采用单孔机器人手术完成了 1 例晚期上皮性卵巢癌的初次减瘤手术，且未发生血管损伤。卵巢癌手术范围广、恶性程度高、复发率高，需要根据病情、分级、患者自身情况等选取最适合、最安全的手术方式，因此仍需开展较高质量、较长随访期的研究以阐明单孔腹腔镜机器人手术系统在卵巢癌中应用的优劣势。

4　挑战与展望

尽管单孔机器人手术有手术创伤小、美容效果好等诸多优势，在妇科良恶性疾病中的可行性和安全性已经在多项研究中得到证明，但其依旧存在一定的局限性与进步空间。

4.1　缺乏触觉和应力反馈　当前单孔机器人手术系统缺乏触觉和应力反馈，需要操作者视觉作为补充。例如在子宫内膜异位症手术中，医生原本依靠触觉辨别纤维化组织，而在机器人辅助手术中这一能力缺失，通常通过吲哚菁绿荧光成像技术予以弥补[41]。值得关注的是，越来越多的研究者正致力于开发微创手术机器人的触觉感知及应力反馈技术。例如三轴触觉传感器由 3 个相交的光波导组成，专门设计应用于手术镊子，在术中能够为医生提供精确的施加力的大小和方向[42]；多轴电容式触觉力传感器具备卓越的力学测量能力，可同时对 x、y 和 z 轴上的法向力及切向力进行精确测量，并实现不同方向力的完全解耦与独立输出，为手术器械的精准操控提供了可靠的数据支持[43]；而微型硅基电容式六轴力 / 扭矩传感器则是通过 S 形梁的设计、应力优化及解耦理论，实现了高精度、大范围、低串扰的力 / 扭矩检测[44]。这 3 款传感器目前均处于模拟仿真阶段，并将进行临床前的动物实验，这有望从根本上解决触觉反馈及应力反馈不足的困境。

4.2　器械活动受限与术野受阻　多关节操作臂需要更大的工作空间，然而手术器械的移动范围存在一定限制，此问题在妇科盆腔淋巴结清扫等对精准度要求极高的操作中尤为突出。由于淋巴结紧密贴附于血管和神经表面，器械在有限空间内的移动极易与周边关键组织发生意外接触并导致视野受限，增加了误伤血管壁或神经束的风险以及术中严重出血和术后并发症的发生率。在未来，有望通过增强现实手术导航，即通过人工智能算法将患者的术前影像数据与术中实时内镜显示的解剖结构精确匹配，来解决因器械遮挡和视野受限造成的视觉信息缺失问题[45]。

4.3　手术相关费用问题　对于医疗机构来说，手术机器人系统高昂的成本是其在国内大规模临床应用与普及进程中的关键阻碍。以达芬奇手术机器人系统为例，公开资料表明，单台系统在国内市场的售价高达2 000万～3 000万元，且每年维护费用达200万元[46]，令多数医疗机构难以承受。值得关注的是，2024年北京术锐单孔腹腔镜手术机器人系统成功中标，价格为1 997万元。对患者来说，虽然上海、北京等地区已将部分机器人手术费用纳入医保，但全面纳入医保尚需时日，目前相对高昂的手术费用仍超出多数患者的承受范围，阻碍了其推广使用。

4.4　学习曲线　与传统的多孔机器人腹腔镜手术相比，单孔机器人腹腔镜手术的学习曲线通常相对较短。这主要得益于单孔机器人具有更先进的系统，如达芬奇SP机器人手术系统拥有的EndoWrist Sp器械比以往的多孔机器人系统多2个自由度，操作更加灵活直观；此外，参与单孔机器人手术学习的外科医生多具备丰富的多孔机器人手术经验，使其能快速将已有技能迁移并适应新系统。例如在子宫切除术中，外科医生使用达芬奇SP系统进行10～30例手术后可达到熟练程度，而使用传统多孔机器人进行手术则需要33～50例[47]。有研究表明，使用专门为单孔腹腔镜手术设计的达芬奇SP机器人系统进行卵巢膀胱切除术时，其对接时间、控制台时间和整体手术时间方面的学习曲线短于采用达芬奇Si/Xi机器人系统进行单孔手术[48]。但目前针对国产单孔机器人手术系统的学习曲线尚无相关研究。

4.5　人工智能与单孔机器人手术系统融合　近年来，随着人工智能技术的突破性进展，其在医疗领域的应用已经得到显著的发展，特别是在医学图像分析等方面[49]。Lecointre等[45]开发的增强现实系统可以将腹腔镜实时图像与术前影像数据实施多模态时空配准，从而在盆腔淋巴结清扫术中成功识别前哨淋巴结。人工智能与机器人手术系统进行深度融合不仅有利于在术中精准引导医生完整切除目标病灶以及转移淋巴结等，提高患者预后，还能凭借人工智能强大的数据处理和分析能力快速评估手术风险，提前预警可能出现的并发症。同时随着5G技术的发展，专家远程精准操控单孔机器人手术系统已经成为现实[50]。然而，目前人工智能与单孔腹腔镜手术机器人系统的融合仍面临一些挑战，如数据安全和隐私保护问题、人工智能算法的可解释性不足等，需要建立相应法律法规以确保双方的权益。

5　小　结

单孔机器人手术系统在妇科领域的可行性及安全性已经在临床试验中得到了证实，优势显著：学习曲线更短，术者能更快掌握操作技巧；美容效果更佳，满足了患者对美观的需求；术中出血量少，降低了手术风险；术后并发症少，利于患者快速康复，在治疗子宫肌瘤、子宫内膜异位症等良性疾病中表现优异。然而，在妇科恶性肿瘤手术方面，受限于操作空间狭小、深部组织暴露困难，手术操作难度大，目前研究对象多为早期癌症患者，样本量小且缺乏长期随访数据，还无法完全取代传统手术。此外，单孔机器人手术系统自身存在触觉和应力反馈缺失、器械活动受限、术野受阻等不足，对手术精准度造成一定影响。高昂的机器人系统购置费用也限制了其广泛普及。未来仍需开展大样本、多中心临床研究并做好长期随访，以进一步验证远期效果。同时，技术研究应聚焦于新型材料研发及人工智能与单孔机器人的融合方面以突破现有“瓶颈”，使其在妇科领域发挥更大作用。

[参 考 文 献]

[1]　CHEN J, LI M, LAI Y, et al. Comparative study of complications and incision esthetic satisfaction between single-port laparoscopy and traditional laparoscopy in benign gynecological surgery[J]. J Invest Surg, 2024, 37(1): 2419139. DOI: 10.1080/08941939.2024.2419139.

[2]　KANNO K, YANAI S, SAWADA M, et al. Nerve-sparing deep endometriosis surgery with rectal discoid resection using da Vinci SP[J]. Fertil Steril, 2024, 122(4): 758-760. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2024.07.015.

[3]　KIM J M, LEE S M, SEOL A, et al. Comparison of surgical outcomes between single-port laparoscopic

surgery and da Vinci single-port robotic surgery[J]. J Pers Med, 2023, 13(2): 205. DOI: 10.3390/jpm13020205.

[4] ZHAO L, CONG R, PAN Z, et al. The feasibility and short-term safety of single-site hysterectomy: a retrospective cohort study of a novel robotic platform[J]. Surg Endosc, 2025, 39(2): 1362-1371. DOI: 10.1007/s00464-025-11533-7.

[5] 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[J]. Int J Med Robot Comput Assist Surg, 2024, 20(1): e2578. DOI: 10.1002/rcs.2578.

[6] HU X, RUAN M, ZHU L, et al. This is the first in-human trial and prospective case series of a novel single-port robotic system for gynaecological surgery: an IDEAL stage 2a study[J]. Int J Med Robot, 2024, 20(5): e2657. DOI: 10.1002/rcs.2657.

[7] 张可欣，孙大为，任常. 国产单孔蛇形臂腹腔镜机器人在妇科领域的应用探索[J]. 中华腔镜外科杂志（电子版），2024，17(2)：106-110. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-6899.2024.02.008.

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

[9] GUAN X, YANG Q, LOVELL D Y. Assessing feasibility and outcomes of robotic single port transvaginal NOTES (RSP-vNOTES) hysterectomy: a case series[J]. J Minim Invasive Gynecol, 2024, 31(12): 1041-1049. DOI: 10.1016/j.jmig.2024.08.018.

[10] REN C, DUAN P, SHEN Y, 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]. J Robot Surg, 2024, 18(1): 210. DOI: 10.1007/s11701-024-01871-4.

[11] KIM S J, PARK M H, LEE J H. Comparison of operative and fertility outcomes of single-incision robotic myomectomy: a retrospective single-center analysis of 286 cases[J]. J Robot Surg, 2023, 17(6): 2945-2953. DOI: 10.1007/s11701-023-01743-3.

[12] LEE J H, YOO H K, PARK S Y, et al. Robotic single-port myomectomy using the da Vinci SP surgical system: a pilot study[J]. J Obstet Gynaecol Res, 2022, 48(1): 200-206. DOI: 10.1111/jog.15076.

[13] HUANG Y, DUAN K, KOYTHONG T, et al. Application of robotic single-site surgery with optional additional port for endometriosis: a single institution's experience[J]. J Robot Surg, 2022, 16(1): 127-135. DOI: 10.1007/s11701-021-01217-4.

[14] MOON H S, SHIM J E, LEE S R, et al. The comparison of robotic single-site surgery to single-port laparoendoscopic surgery for the treatment of advanced-stage endometriosis[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2018, 28(12): 1483-1488. DOI: 10.1089/lap.2018.0118.

[15] FAN X, DUAN K, ZHANG C, et al. Feasibility of two robotic single-site surgery techniques for adolescent endometriosis: focal versus butterfly[J]. Int J Med Robot, 2022, 18(1): e2339. DOI: 10.1002/rcs.2339.

[16] GAO J, DANG J, CHU J, et al. A comparative analysis of robotic single-site surgery and laparoendoscopic single-site surgery as therapeutic options for stage ⅠB1 cervical squamous carcinoma[J]. Cancer Manag Res, 2021, 13: 3485-3492. DOI: 10.2147/CMAR.S299827.

[17] SONG C, JANG T K, KONG S, et al. Robotic single-site radical hysterectomy for early cervical cancer: a single center experience of 5 years[J]. J Pers Med, 2023, 13(5): 733. DOI: 10.3390/jpm13050733.

[18] LI J, GONG X, LI P, et al. Application of da Vinci robotic surgery system in cervical cancer: a single institution experience of 557 cases[J]. Asian J Surg, 2022, 45(2): 707-711. DOI: 10.1016/j.asjsur.2021.07.052.

[19] CORRADO G, MEREU L, BOGLIOLO S, et al. Comparison between single-site and multiport robot-assisted hysterectomy in obese patients with endometrial cancer: an Italian multi-institutional study[J]. Int J Med Robot, 2020, 16(2): e2066. DOI: 10.1002/rcs.2066.

[20] MATSUURA M, NAGAO S, KUROKAWA S, et al. Surgical outcomes of da Vinci Xi™ and da Vinci SP™ for early-stage endometrial cancer in patients undergoing hysterectomy[J]. J Clin Med, 2024, 13(10): 2864. DOI: 10.3390/jcm13102864.

[21] VIZZA R, CORRADO G, MANCINI E, et al. Feasibility, safety, and efficacy of robotic single-port hysterectomy (R-SPH) using the da Vinci SP system in low-risk endometrial cancer: a pilot study[J]. Minim Invasive Ther Allied Technol, 2025: 1-8. DOI: 10.1080/13645706.2025.2538764.

[22] CHUNG H, JANG T K, NAM S H, et al. Robotic single-site staging operation for early-stage endometrial cancer: initial experience at a single institution[J]. Obstet Gynecol Sci, 2019, 62(3): 149-156. DOI: 10.5468/ogs.2019.62.3.149.

[23] SUN H, GAO J, JIN Z, et al. Robotic single-site surgery versus laparoendoscopic single-site surgery in early-stage endometrial cancer: a case-control study[J]. Wideochir Inne Tech Maloinwazyjne, 2021, 16(3): 597-603. DOI: 10.5114/wiitm.2021.103955.

[24] YOO J G, KIM W J, LEE K H. Single-site robot-assisted laparoscopic staging surgery for presumed clinically early-stage ovarian cancer[J]. J Minim Invasive Gynecol, 2018, 25(3): 380-381. DOI: 10.1016/j.jmig.2017.09.005.

[25] 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[J]. Int J Gynecol Cancer, 2023, 33(12): 1976-1977. DOI: 10.1136/ijgc-2023-004729.

[26] 蔡永聪，李超. 达芬奇机器人手术系统在头颈肿瘤外

科的应用进展[J]. 肿瘤预防与治疗，2023，36(11)：915-921. DOI: 10.3969/j.issn.1674-0904.2023.11.001.
[27] COVAS MOSCHOVAS M, BHAT S, ROGERS T, et al. Da Vinci SP platform updates and modifications: the first impression of new settings[J]. J Robot Surg, 2021, 15(6): 977-979. DOI: 10.1007/s11701-021-01248-x.
[28] SHIN H J, YOO H K, LEE J H, et al. Robotic single-port surgery using the da Vinci SP® surgical system for benign gynecologic disease: a preliminary report[J]. Taiwan J Obstet Gynecol, 2020, 59(2): 243-247. DOI: 10.1016/j.tjog.2020.01.012.
[29] VALENZI F M, SANTARELLI V, HABERAL H B, et al. Advances in robotic surgery: in favor of the single port platform[J]. Eur Urol Focus, 2025, 11(1): 3-4. DOI: 10.1016/j.euf.2025.04.002.
[30] ASADIZEIDABADI A, HOSSEINI S, VETSHEV F, et al. Comparison of da Vinci 5 with previous versions of da Vinci and sina: a review[J]. Laparosc Endosc Rob Surg, 2024, 7(2): 60-65. DOI: 10.1016/j.lers.2024.04.006.
[31] ZHANG Y, ZHU Y. Comparison of conventional versus single port laparoscopy for surgical treatment of gynecological diseases: a pilot study[J]. Wideochir Inne Tech Maloinwazyjne, 2022, 17(1): 252-260. DOI: 10.5114/wiitm.2021.105823.
[32] SCHMITT A, CROCHET P, PIVANO A, et al. The effects of a laparoscopy by single-port endoscopic access in benign adnexal surgery: a randomized controlled trial[J]. J Minim Invasive Gynecol, 2024, 31(5): 397-405. DOI: 10.1016/j.jmig.2024.01.017.
[33] ESCOBAR P F, FADER A N, PARAISO M F, et al. Robotic-assisted laparoendoscopic single-site surgery in gynecology: initial report and technique[J]. J Minim Invasive Gynecol, 2009, 16(5): 589-591. DOI: 10.1016/j.jmig.2009.05.004.
[34] PAREDES J S, LEE C L, CHUA P T. Myomectomy: choosing the surgical approach—a systematic review[J]. Gynecol Minim Invasive Ther, 2024, 13(3): 146-153. DOI: 10.4103/gmit.gmit_152_23.
[35] ADVINCULA A P, SONG A, BURKE W, et al. Preliminary experience with robot-assisted laparoscopic myomectomy[J]. J Am Assoc Gynecol Laparosc, 2004, 11(4): 511-518. DOI: 10.1016/s1074-3804(05)60085-0.
[36] AS-SANIE S, MACKENZIE S C, MORRISON L, et al. Endometriosis: a review[J]. JAMA, 2025, 334(1): 64-78. DOI: 10.1001/jama.2025.2975.
[37] RIBEIRO F, FERREIRA H. Novel minimally invasive surgical approaches to endometriosis and adenomyosis: a comprehensive review[J]. J Clin Med, 2024, 13(22): 6844. DOI: 10.3390/jcm13226844.
[38] HAN B, ZHENG R, ZENG H, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2022[J]. J Natl Cancer Cent, 2024, 4(1): 47-53. DOI: 10.1016/j.jncc.2024.01.006.
[39] PARK J Y, KIM Y M, LEE Y Y, et al. Laparoendoscopic single-site radical hysterectomy for early stage cervical cancer[J]. Obstet Gynecol Sci, 2017, 60(1): 110-114. DOI: 10.5468/ogs.2017.60.1.110.
[40] SINNO A K, TANNER E J 3rd. Robotic laparoendoscopic single site radical hysterectomy with sentinel lymph node mapping and pelvic lymphadenectomy for cervical cancer[J]. Gynecol Oncol, 2015, 139(2): 387. DOI: 10.1016/j.ygyno.2015.08.012.
[41] JAYAKUMARAN J, PAVLOVIC Z, FUHRICH D, et al. Robotic single-site endometriosis resection using near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green: a prospective case series and review of literature[J]. J Robot Surg, 2020, 14(1): 145-154. DOI: 10.1007/s11701-019-00951-0.
[42] LI Y, GAOZHANG W, HU J, et al. Optical-waveguide based 3-axial tactile sensor for minimally invasive surgical instruments[J]. IEEE Robot Autom Lett, 2024, 9(2): 1604-1611. DOI: 10.1109/LRA.2023.3346756.
[43] HUSSAIN S, SALEEM M M, REHAN M, et al. A high sensitivity, low cost and fully decoupled multi-axis capacitive tactile force sensor for robotic surgical systems[J]. PLoS One, 2024, 19(11): e0313737. DOI: 10.1371/journal.pone.0313737.
[44] TAN R, XIA Y, HAN X, et al. Miniaturized silicon-based capacitive six-axis force/torque sensor with large range, high sensitivity, and low crosstalk[J]. Microsyst Nanoeng, 2024, 10(1): 180. DOI: 10.1038/s41378-024-00831-0.
[45] LECOINTRE L, VERDE J, GOFFIN L, et al. Robotically assisted augmented reality system for identification of targeted lymph nodes in laparoscopic gynecological surgery: a first step toward the identification of sentinel node: augmented reality in gynecological surgery[J]. Surg Endosc, 2022, 36(12): 9224-9233. DOI: 10.1007/s00464-022-09409-1.
[46] 张孟月. 北京术锐徐凯：自研单孔技术，破解“达芬奇密码”[J]. 科技与金融，2022(9)：24-27.
[47] 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]. J Robot Surg, 2025, 19(1): 320. DOI: 10.1007/s11701-025-02448-5.
[48] KIM S, LEE S M, SEOL A, et al. Learning curve analysis of single-incision ovarian cystectomy: comparative study of robotic and conventional laparoscopic techniques[J]. J Pers Med, 2024, 14(8): 785. DOI: 10.3390/jpm14080785.
[49] BEAM A L, DRAZEN J M, KOHANE I S, et al. Artificial intelligence in medicine[J]. N Engl J Med, 2023, 388(13): 1220-1221. DOI: 10.1056/nejme2206291.
[50] 孙昊，党建红，李月明，等. 5G 远程机器人辅助单孔腹腔镜妇科手术 1 例应用实践[J]. 海军医学杂志，2025，46(3)：268-272. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0754.2025.03.013.

[本文编辑]　孙　岩