

编者按 科技赋能医疗发展,技术推动时代进步。在外科手术智能化发展的时代背景下,作为引领微创手术发展方向的高端智能医疗设备,精准、微创的手术机器人承载着医者的仁心,诠释了医疗工作者对初心的坚守。最小的手术瘢痕,最大的人文关怀,手术机器人突破了视觉器官及操作灵活度的极限,实现了精确化的操作,从而成为医者的得力干将。

近年来,医疗机器人凭借其众多的技术优势和显著的临床益处,已被越来越多的医生和患者所关注,并广泛渗透于各领域中的外科手术。2022年,本刊开设的“机器人手术多学科应用进展专栏”在医疗机器人产学研领域引起了热烈的反响,且刊载文章的下载量和被引频次居于较高水平。该栏目介绍了远程手术的发展历史及现状,并针对亚学科总结和分析了机器人在口腔医学领域、胸外科、骨科、头颈部外科手术中的应用进展,为机器人手术在这些外科领域中的临床应用奠定了理论基础。本期栏目中,编辑部将秉承开设“机器人手术多学科应用进展专栏”的初心,继续探讨机器人手术在妇产科、肝胆胰外科、甲状腺手术和血管外科的应用进展,以搭建一个良好的学术交流平台,推动科技创新和科学普及的同频共振及两翼齐飞。未来,我们将奉上更多关于机器人学科进展的佳作,以供各位专家和读者分享。

机器人手术在妇产科的应用现状及未来

赵金燕, 公丕军, 白莉, 王海艳, 薛翔

(西安交通大学第二附属医院妇产科 陕西 西安 710004)

摘要 随着社会认知和科技水平的提高,患者对微创手术的需求与日俱增。如何在治疗的同时尽可能地保护/保留患者的生理结构和功能成为妇产科医生需要思考的问题。机器人手术系统的诞生使外科手术模式发生了革命性的变化,机器人手术与传统的妇科开腹手术或腹腔镜手术相比具有显著的优势,特别是在深窄或更宽阔的空间中能精确地完成高难度动作,在高清晰的3D视野下可以精确地进行解剖,并且可以克服手术医生的生理局限,给患者带来高质量的诊断和治疗,为患者带来显著的临床收益。本文将对机器人手术在妇产科中的应用和未来做一综述,为该手术在临床中的进一步应用提供参考依据。

关键词 机器人辅助腹腔镜手术; 妇产科学; 现状

中图分类号 R608 R713 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2023) 01-0001-11

收稿日期: 2021-06-15 录用日期: 2021-09-17

Received Date: 2021-06-15 Accepted Date: 2021-09-17

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (2018SF-213)

Foundation Item: Key Research and Development Project of Shaanxi Province (2018SF-213)

通讯作者: 薛翔, Email: xgxue@263.net

Corresponding Author: XUE Xiang, Email: xgxue@263.net

引用格式: 赵金燕, 公丕军, 白莉, 等. 机器人手术在妇产科的应用现状及未来 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2023, 4 (1): 1-11.

Citation: ZHAO J Y, GONG P J, BAI L, et al. Current status and prospect of robotic surgery in gynecology and obstetrics [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2023, 4(1): 1-11.

Current status and prospect of robotic surgery in gynecology and obstetrics

ZHAO Jinyan, GONG Pijun, BAI Li, WANG Haiyan, XUE Xiang

(Department of Obstetrics and Gynecology, the Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710004, China)

Abstract With the rapid development of social cognition and scientific technology, patients' desire for minimally invasive surgery is increasing. At the same time, how to protect or preserve the physiological structure and function of organs as much as possible during surgeries has become a problem that needs to be solved seriously by gynecologists. Robotic surgical system has revolutionized the surgical mode. Compared with traditional laparotomy or laparoscopic surgery, robotic surgery has significant advantages, especially accurately performing difficult movements and dissection in the deep and narrow space with high-definition 3D vision. It could also overcome physiological limitations of surgeons and bring significant clinical benefits to patients. This article aims to review the current and future application of robotic surgery in gynecology and obstetrics.

Key words Robot-assisted laparoscopic surgery; Gynecology and obstetrics; Current status

机器人手术系统的到来对外科手术领域产生了巨大的影响,代表了微创手术自然发展的新阶段。集临床医学、力学、机器人学、材料学、影像学、传感技术及计算机技术等多学科为一体的新型机器人辅助微创手术、经自然腔道内镜手术(Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery, NOTES)、机器人单孔腹腔镜手术(Robotic Laparoendoscopic Single-site, R-LESS)越来越多地应用于外科领域^[1]。从纯粹的外科角度而言,机器人手术相对于开放式或者腹腔镜手术的优势相当明显,主要包括:①高放大倍数、高清的三维立体手术视野;②稳定的机器人机械臂将外科医生手震颤的影响降到最低,增加了手术的精确性和精细度;③拥有多个自由度的机械臂,允许更精细的缝合和组织解剖,运动范围更广,且多个机械臂使得手术医生不必过多依赖助手的手术水平^[2-3]。目前,已有经美国FDA批准的机器人手术系统上市^[1],世界上最著名的、用途最广泛的机器人手术系统是达芬奇机器人手术

系统。该系统是手术机器人的代表,目前已发展到第4代。

1 国内外手术机器人系统简述

国际上,外科手术机器人的使用最早可追溯到1967年,当时由乔治·查尔斯·德沃尔(George Charles Deval)发明了机器人手臂。20世纪70年代,机器人辅助腹腔镜最初作为美国军事项目与美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)联合开发^[4]。1985年,第1个用于患者的机器人平台PUMA560在CT引导下用于神经外科脑组织活检^[5]。之后,手术机器人技术不断发展进步,从PROBOT(第1个前列腺手术机器人)、ROBODOC(第1个髋关节置换手术机器人)发展到ZEUS系统(达芬奇机器人的前身)。ZEUS是第1个用于妇科手术的机器人,1997年被用于输卵管重建手术^[6]。1999年,美国Intuitive Surgical公司成功研发了第1代达芬奇机

机器人手术系统，并于2000年获得美国FDA批准应用于临床，2005年达芬奇机器人手术系统获批用于妇科领域^[7]。目前，新型的可用于妇科领域的机器人手术系统有REVO-I机器人手术系统（2017年由韩国FDA批准）、Senhance机器人手术系统（2017年由美国FDA批准）和Versius机器人手术系统（2019年由欧盟CE认证）等，但多数仍处于试验阶段，尚未真正用于临床工作中。

在国内，最早开展外科手术机器人研究的单位是北京航空航天大学。1997年开始，由北京航空航天大学、清华大学和中国人民解放军总医院第六医学中心（原解放军海军总医院）合作开发的机器人辅助无框架脑外科立体定向手术系统，是国内最早自主开发的外科手术机器人。2006年，国务院印发的《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》首次指出，智能机器人研发具有国家战略意义，同时科技部进行了多项手术机器人研发项目立项。随后，各个专科领域自主研发的机器人不断出现，如北京天智航医疗科技股份有限公司联合北京积水潭医院、北京航空航天大学等单位研发的完全自主知识产权的“天玑”骨科手术机器人，由北京柏惠维康科技有限公司研发的“睿米”神经外科手术机器人，以及中南大学、天津大学、山东威高集团联合研发的国产“妙手（MicroHand）”手术机器人系统。我国手术机器人的研发尚处于起步阶段，但在单元技术方面已经取得突破，并已经开始在临床中初步应用机器人技术。

2 以“达芬奇”为首的机器人手术系统在妇科疾病中的应用

目前，在妇产科领域中应用最多的手术机器人系统是达芬奇机器人，可以用于良性或恶

性妇科疾病的治疗。良性疾病包括子宫肌瘤、异常出血、子宫内膜异位、盆腔脏器脱垂等，恶性肿瘤包括子宫内膜癌、宫颈癌、卵巢癌等。机器人手术系统具有全方位手术视野、仿真手腕、震颤过滤等优势，可帮助术者在非常狭窄的空间内稳定操作，且放大的视野可协助医生更加清晰地辨识血管、组织等。

2.1 妇科良性疾病

有研究报道，机器人手术系统可用于子宫切除术^[8]、子宫肌瘤切除术^[9]、阴道骶骨固定术^[10]、输卵管吻合术^[11]、子宫内膜异位症^[12]、宫颈环扎术^[13]及R-LESS^[14]等。然而，关于机器人在妇科良性疾病中的意义尚存在争议，有学者认为机器人手术通常费用较高，手术时间较长^[15]。但也有研究证明，与腹腔镜手术比较，机器人妇科手术具有可行性、安全性和同等的临床效果；与开腹手术比较，机器人手术具有更好的临床效果，其技术优势包括改进的人体工程学、三维可视化图像、更强的灵巧性和运动范围更广的机械臂及震颤过滤功能。虽然，关于手术机器人的学习曲线和手术时间等方面有各种不同的研究结果，但可以通过在大容量医院实施机器人手术、改进对外科医生和机器人团队的培训，积累丰富经验从而得到优化^[16-17]。随着愈来愈多熟悉微创手术的医生掌握该手术技术，手术时间明显缩短，手术并发症显著减少。手术费用将随着设备生产模式和竞争局面的形成而明显降低。

多项研究表明，机器人手术与常规腹腔镜手术一样，具有相同的安全性、有效性，是替代开腹手术的合理选择。该手术的主要优势在于，当常规腹腔镜手术在技术上具有挑战性时，可以在机器人系统辅助下轻松完成手术^[18-20]。例如在保留子宫的子宫肌瘤切除术中，传统腹

腔镜手术难以到达某些特殊区域的肌瘤（如深部宫颈肌瘤、非常靠后的后壁肌瘤或阔韧带肌瘤），剔除及缝合时由于手术角度问题操作比较困难，特大的肌瘤由于普通腹腔镜视野狭小、暴露困难，这些难题经常使手术医生知难而退转为开腹手术。机器人辅助腹腔镜子宫肌瘤切除术（Robot-assisted Laparoscopic Myomectomy, RALM）因其摄像技术改进、视野清晰开阔及仿真“手腕”式操作，可以克服这些局限，并进行精确的缝合，帮助大多数需要进行子宫肌瘤切除术的女性从微创手术中获益^[21]。腹腔镜手术的局限性也体现在某些有生育要求的子宫内膜异位症患者身上，特别是当子宫内膜异位症位于盆腔深处时，对有经验的腔镜医生可能也是一大挑战。机器人手术可弥补常规腹腔镜手术的技术缺陷，在术后并发症、中转开腹率及失血量等方面有类似或优于腹腔镜手术的优势^[22-25]。当子宫内膜异位症侵犯到肠管或膀胱等脏器，或患者年龄相对较大或肥胖时，机器人辅助腹腔镜手术优势更明显^[22, 24-26]。此外，机器人辅助腹腔镜微创手术在盆腔器官脱垂中越来越受欢迎。对于某些盆腔器官脱垂的修复，机器人辅助手术可使得缝合和解剖变得容易^[27]。多维度和多角度的精巧缝合更能使医生对盆腔器官脱垂患者不同部位、不同原因形成的脱垂进行个性化的处理，既达到治疗的目的，又不易复发。然而，对于机器人辅助盆腔脏器脱垂手术后的长远结局尚无定论，需要更多的研究评估围手术期、术后并发症及手术费用等相关情况。

2.2 妇科恶性疾病

目前，机器人手术系统在妇科中应用最广泛的疾病是恶性肿瘤，如宫颈癌、子宫内膜癌及卵巢癌等。自2005年报道第1例机器人辅助根治性子宫切除术后，在世界范围内开始越

来越多地使用机器人平台进行宫颈癌的治疗。有研究表明，与开放式手术相比，微创手术（腹腔镜或机器人）可以减少失血量和并发症，缩短住院时间，并且机器人辅助根治性子宫切除术和开放性手术在复发率或死亡率方面没有差异^[28-31]。然而，2018年《新英格兰医学杂志》（NEJM）发表了2篇重要研究^[32-33]，即Ramirez等人发表的前瞻性LACC试验及Melamed等人分析的美国SEER数据库均发现腹腔镜（包括机器人）宫颈癌根治术后的复发率高于开腹手术，总生存期短于开腹手术。基于此两项研究，美国FDA曾发出警告，声明“在任何癌症相关手术中使用机器人辅助手术设备都没有获得市场授权，与传统手术相比，对患者的生存收益尚未确定”。也有一些卫生监督组织呼吁暂停机器人癌症手术，但这种做法显然是不能一概而论的。LACC试验为随机性试验，在试验设计上也存在挑战，如医生选择偏倚，医生妇科肿瘤学专业培训与手术培训不匹配，以及缺乏外科手术技术的标准化等。另外，由于前瞻性分析的偏倚，数据库研究的本身缺陷仍然值得关注。LACC试验的主要局限性在于未纳入“低风险”宫颈癌，如<2cm的肿瘤。然而，在SEER数据库研究中，对于肿瘤<2cm的患者，两种手术方法之间未观察到存在生存率差异^[32]。在大多数具有积极意义的研究中，将肿瘤为2cm的患者也纳入了研究范围。故在有限数据支持的情况下，对于小病灶或肿瘤直径<2cm的患者，在选择适当的患者并经其充分知情同意后，机器人辅助手术可能仍然是适当的选择^[34-35]。与宫颈癌不同，对于子宫内膜癌，有几项具有重要意义的随机对照试验评估了微创手术治疗子宫内膜癌的安全性和可行性。美国的妇科肿瘤组LAP2研究（GOG-LAP2; Clinicaltrials.gov NCT00002706）是第一个证明微创手术可以改善短期手术效果的试验，包

括住院时间更短，腹腔镜手术并发症更少。该研究评估了 2500 多例患者，证实两组患者的总生存期或复发率无差异^[36]。另一项多国家、随机试验（LACE）再次证实 I 期子宫内膜癌行腹腔镜与开放式子宫切除术后的无病生存期或 4.5 年总生存期无差异^[37]。对于特殊的患者，如肥胖或老年子宫内膜癌患者，机器人手术仍然是安全、可行的，可能会带来类似的好处，但关于长期肿瘤学结局及成本效益的前瞻性数据仍然有限^[38-39]。迄今为止，尚无大样本随机对照试验比较腹腔镜手术、开腹手术和机器人辅助手术治疗子宫内膜癌的差异。与腹腔镜和开腹手术相比，机器人手术的优势在于失血量更少、中转开腹率低，且微创手术的手术时间（机器人和腹腔镜手术时间相似）均较开腹手术稍长，而住院时间更短。总体而言，机器人手术是安全的，可能比传统的腹腔镜手术使患者获益更多^[40-41]。尽管机器人辅助手术是治疗子宫内膜癌的有效方法，但很少有研究评估其在卵巢癌分期或治疗中的作用。根据 NCCN 指南，完整的手术分期应包括子宫切除术、双侧输卵管卵巢切除术、网膜切除术、盆腔及主动脉旁淋巴结切除术和腹膜活检。考虑到肿瘤细胞播散及疾病多象限分布的可能，有学者认为应采用开放手术进行腹腔内评估，不推荐将微创手术（包括机器人手术）用于早期或晚期卵巢癌的治疗^[42]。但也有 Meta 分析表明，开腹手术与机器人手术的住院时间、术后并发症及总生存率（Overall Survival, OS）比较，差异均有统计学意义（ $P < 0.05$ ），而机器人手术和腹腔镜手术在失血量、住院时间、术后并发症及总生存时间等研究指标方面没有差异^[43]。关于卵巢癌新辅助化疗后行间断细胞减灭术的优越性尚无共识，因此，对于新辅助化疗后是否可行机器人手术需要遵循一定的原则，如必须广泛知情同意，

正常的 CA125，化疗后影像学检查无异常（包括无腹水），腹腔镜检查证实无可见病灶或腹水等^[44]。

3 机器人辅助单孔腹腔镜及经自然腔道腹腔镜手术在妇科领域中的应用

妇科单孔腹腔镜手术主要分为传统单孔腹腔镜手术和 R-LESS 手术。2010 年，传统单孔腹腔镜子宫切除术开始流行，但由于手术困难且具有挑战性，在临床中不被广大腔镜医生接受。

2013 年 3 月，美国 FDA 批准了达芬奇机器人辅助单孔腹腔镜子宫全切手术，使单孔腹腔镜手术又掀起了新的浪潮。单孔腹腔镜手术是通往并掌握未来 NOTES 的必经桥梁。目前，在妇科领域中经脐单孔腹腔镜手术位列微创技术的前沿，随着手术器械的不断改进，该技术的手术病种范围也在不断扩大。然而，传统单孔腹腔镜手术极具挑战性，由于器械与腔镜平行进出从而丧失常规手术的操作三角，手术者在操作时会出现器械相互干扰的情况，且手术器械的左右换位使得操作者视觉和双手之间会出现不协调。而机器人辅助单孔手术平台的诞生重新使单孔手术又回到了原始的操作三角，凭借特定的机器人辅助单孔手术软件的转换，操作者克服了左右手互换所致的操作不协调。2013 年，由美国 FDA 批准的达芬奇单孔手术平台（Da Vinci Single-site）可以与达芬奇 Si 手术系统结合应用于妇科手术，达芬奇单孔腹腔镜手术专用器械的产生解决了大部分难题。这套器械包括特殊设计的脐部端口 Port，在没有穿刺套管的情况下仍然能维持不漏气，其上有 4 个通道，分别置入直径 8.5mm 的标准机器人三维

高清镜体，直径 5mm 腹腔镜辅助 Trocar 及两个弧形弯曲的 Trocar，半软可弯曲的器械通过这两个弧形弯曲的套管进入腹腔到达对侧，重新建立手术三角。然而，R-LESS 手术的配件中，除持针器外，目前大部分手术器械不具备机械腕功能，尤其是手术能量器械（包括单极电钩和双极电凝抓钳），另外还有用于切割的激光纤维。

美国 FDA 已批准 R-LESS 手术可用于全子宫切除术和卵巢切除术，手术器械的改进、手术空间的增大为手术者探索难度较大的手术方式创造了机会。有文献相继报道了相关的手术，如机器人辅助单孔腹腔镜下子宫肌瘤剔除术、子宫内膜癌盆腔淋巴结清扫术、子宫内膜异位症病灶的切除（包括输尿管的分离及子宫直肠陷窝子宫内膜异位病灶的切除）、盆腔淤血综合征患者卵巢静脉结扎术等。

虽然，R-LESS 手术与单孔腹腔镜手术相比有许多优点，但仍然有一定的局限性。机器人手术平台在器械移动时有范围限制，因为在设计机器人手术系统时，半硬的器械通过弯曲的套管和交叉到对面而提供更多的三角空间，但此空间仍然是有限的。而且，机器人辅助单孔手术的培训需要较长的学习曲线。

新一代机器人辅助单孔腹腔镜手术可带来革命性的变革。2014 年 4 月，美国 Intuitive Surgical 公司获得 FDA 批准，可以对下一代的单孔手术平台（EndoWrist SP 平台）进行推广。该手术系统提供了 3D 高清晰度摄像头、3 个可完全弯曲的多关节器械，与 2013 年批准的达芬奇单孔手术平台（Da Vinci Single-site）相比，EndoWrist SP 平台的器械多了两个自由关节器械，使得外科医生对器械操作更加得心应手。美国 Intuitive Surgical 公司的多关节 EndoWrist SP 器械（模型 SP999），包括可弯曲内窥镜、钝性和锐性分离钳、剪刀、铲子、持针器、内

镜/钩、电凝和组织操纵配件，可完成抓、切割、钝/锐性剥离、结扎、电凝及缝合操作。这些操作均是通过机器人单孔手术来完成，且目前已经在许多专业中得到广泛使用。

在妇科领域，目前开展的机器人辅助 NOTES 包括机器人辅助经脐单孔腹腔镜手术及机器人辅助经阴道自然腔道内镜手术（vNOTES）。机器人辅助腹腔镜手术的发展无疑将推动经自然腔道的机器人辅助腹腔镜手术的发展。另外，妇科领域中经阴道及子宫的机器人辅助腹腔镜手术有着独特的优势，将随着 R-LESS 手术设备及器械的革新和发展带来更好的前景。

4 机器人辅助宫腔镜

Harvey L 等人^[45]报道了一种用于宫腔镜手术的新型机器人内窥镜装置，它是一个类似于机器人辅助腹腔镜系统的外部控制系统，其目标是解决目前无法将内镜应用于狭窄空间的问题。该系统可允许放置 2 个 1.5mm 器械通道（由可弯曲的镍钛合金管组成，可伸缩和旋转，故可在宫腔镜顶端实现“人手样”操作）和 3mm 硬性光源镜，外套一个 9mm 的保护外鞘。每个操作通道有 4 个自由度，如平移、倾斜、旋转等，内镜和操作通道由外部机器人控制台控制。该装置的优势在于提供了一个灵巧的双臂器械通道，其器械操作独立于内镜角度，同时将内窥镜视野的移动与手术器械的移动分开，这使得外科医生能够沿着复杂的几何形状精确切除组织。该机器人手术系统虽未正式用于临床，但已在猪子宫组织模型液体流动环境中成功切除了子宫内膜息肉。对外科医生而言，这个平台的潜在优势包括术野暴露清晰、更精细的解剖能力和可用双手手术等。

5 机器人在产科方面的应用

双胎输血综合征（Twin to Twin Transfusion Syndrome, TTTS）是由于双胎间血液通过胎盘血管吻合支从供体流向受体的不平衡所致，是单绒毛膜双羊膜囊双胎的严重并发症，发生率为10%~15%，若未治疗，其死亡率为80%~100%^[46]。严重TTTS的一线治疗方法是胎儿镜下激光光凝胎盘异常吻合血管。Sayols N等人^[47]提出了一种可在吻合定位、凝血和胎盘表面检查过程中协助外科医生远程操作的机器人系统的想法，设计并验证了机器人辅助手术平台的性能。该系统具有图像稳定和兴趣点的精确定位功能，可以提高术中光凝的准确性，帮助外科医生进行正确的导航，从而减少手术时间。Ahmad M A等人^[48]研发了一种小型机器人，其可协助术者快速、有效地进行手术。目前这些机器人系统均在测试阶段，并未真正用于临床。另外，由于目前用于产科培训的物理模拟系统都不能提供动态顺应性方面的功能，故而不能真正代表宫颈成熟过程。Luk M J等人^[49]介绍了一款可以模拟临产潜伏期宫颈成熟过程的机器人，该款软机器人可用作分娩训练模拟器。

6 机器人的未来发展方向

机器人手术已经发展成为一个独立的领域，具有巨大的发展潜力。研究表明，到目前为止，该技术是适用的，并且能够为经过筛选的患者提供适当的治疗^[50-51]。机器人技术的发展和未来可能基于硬件及软件的改进，未来趋势将是寻求更小尺寸的器械和可移动推车平台，利用组织反馈技术与放射图像和人工智能的结合在很多领域中不断推广。

6.1 自动化机器人

机器人既可以执行预先编程的任务，也可以从自身的经验中通过反馈回路对获得的良好和不太好的结果（强化学习）进行学习。智能机器人将自动识别器官、组织和手术目标，执行由外科医生或机器人自动发出的任务，从而对医生的局限进行补充^[52]。2017年，Mako（Stryker, Kalamazoo, MI）骨科机械臂系统首次真正实现了外科机器人的自动化。Mako使用计算机断层扫描精确地预先计划关节置换，同时也能够在手术室进行实时调整。从物理方面讲，外科医生所需要做的是将连接到机械臂上的器械打入骨骼，机器人自动计算并考虑每个测量值、角度和可能的周围结构。

6.2 纳米机器人

纳米机器人整合了纳米技术、机器人技术、自然孔口手术和疾病的基因/蛋白质水平的细胞重组知识，以更高的精度和效率不受限制地到达所有器官系统，并提供在细胞水平上进行操作的可能^[53]。纳米机器人可通过血管进入人体，自主地或在外科医生的控制下到达特定部位，利用纳米仪器进行病理组织检查，并在生物学降解之前向外科医生反馈信息。Kirson E D等人^[54]描述了一种直径 $<1\mu\text{m}$ 的振动式微管，用于从神经元细胞上分离树突而不损坏细胞。Leong T G等人^[55]介绍了一种“微型抓取器”，该器械可顺应温度或化学物质而被远程触发，并能够从难以到达的区域抓取组织用于活检。

6.3 软体（折叠）机器人

软体（折叠）机器人是一个可被放置入脏器的内嵌有磁性微颗粒的机器人，在脏器内展开，并在体外磁场控制下像软体动物一样运动，进行成像/诊断或修复受损的器官，其有望被用于靶向药物递送、微创手术等医疗领域^[56]。

微型软体机器人可以最大程度地将当前最先进的机器人技术和最微创的手术原则整合。

6.4 触觉反馈及动眼跟踪系统

与达芬奇机器人有同等竞争力的机器人手术平台是 TransEnterix 公司（美国）的 Senhance 机器人，最初由意大利医疗保健公司的机器人部门开发，之前被命名为 Telelap ALF-x，是达芬奇®系统的唯一竞争对手，且同时获得了欧洲 CE 和 FDA 的批准。该系统的显著特点包括：通过使用 3D 眼镜可实现 3D 高清的开放式远程控制台，具有一个用于控制摄像机的眼动跟踪系统，位于独立推车上的三个腹腔镜机械臂位于独立的推车上（达芬奇系统只有一个推车），具有 6 个自由度的腹腔镜手柄控制器械，可通过腹腔镜手柄向术者提供触觉力反馈^[57]。在欧洲，该系统已获批，可用于腹部、骨盆和胸部手术（不包括心脏手术）。迄今为止，临床试验表明，Senhance 系统在微创手术中是安全、有效的，且已在妇科领域中成功实施手术^[58]。正在研发中的大多数机器人系统都包含触觉反馈（或采用感官代替即通过听觉或图像提示，如利用组织变形等提供触觉信息），这似乎将成为未来系统的基本标准。然而，截至目前，尚无临床研究比较机器人有触觉反馈与无触觉反馈的优劣和差别。

7 总结

机器人手术技术的可行性和安全性在妇科、泌尿科、肿瘤外科、心脏外科、胸外科、骨科、神经外科和头颈外科等专业领域中已得到了明确证实^[50]。有充分的证据表明，与腹腔镜手术相比，机器人辅助腹腔镜手术在手术效果、住院时间及主要并发症方面占有明显优势，但仍有

一些局限尚在改善中，如触觉反馈、设备微型化及手术成本等。未来将进一步扩大机器人辅助手术的范围（如将机器人手术系统整合到手术室中），以便在手术过程中更好地接近患者及扩大器械范围。另外，随着互联网信息技术的发展，这项技术在未来具有广阔的发展潜力，尤其是在远程手术中，可以将腹腔镜外科医生的先进技术惠及世界各地，使更多患者获益。

参考文献

- [1] Brodie A, Vasdev N. The future of robotic surgery[J]. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 2018, 100(Suppl 7): 4–13.
- [2] Lauterbach R, Matanes E, Lowenstein L. Review of robotic surgery in gynecology-the future is here[J]. *Rambam Maimonides Medical Journal*, 2017, 8(2): e0019.
- [3] Damle A, Damle R N, Flahive J M, et al. Diffusion of technology: trends in robotic-assisted colorectal surgery[J]. *American Journal of Surgery*, 2017, 214(5): 820–824.
- [4] Moon A S, Garofalo J, Koirala P, et al. Robotic Surgery in Gynecology[J]. *The Surgical Clinics of North America*, 2020, 100(2): 445–460.
- [5] Kwoh Y S, Hou J, Jonckheere E A, et al. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery[J]. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 1988, 35(2): 153–160.
- [6] Falcone T, Goldberg J M, Margossian H, et al. Robotic-assisted laparoscopic microsurgical tubal anastomosis: a human pilot study[J]. *Fertility and Sterility*, 2000, 73(5): 1040–1042.
- [7] Morrell A L G, Morrell-Junior A C, Morrell A G, et al. The history of robotic surgery and its evolution: when illusion becomes reality[J]. *Revista do Colegio Brasileiro de Cirurgioes*, 2021. DOI: 10.1590/0100-6991e-20202798.
- [8] Albright B B, Witte T, Tofte A N, et al. Robotic versus laparoscopic hysterectomy for benign disease: a systematic review and meta-analysis of randomized trials[J]. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, 2016, 23(1): 18–27.

- [9] Chen Y C, Lin H H, Hsiao S M. Comparison of robotic assisted laparoscopic myomectomy with barbed sutures and traditional laparoscopic myomectomy with barbed sutures[J]. *Taiwanese Journal of Obstetrics & Gynecology*, 2018, 57(5): 709–712.
- [10] Dubinskaya A, Hernandez-Aranda D, Wakefield D B, et al. Comparing laparoscopic and robotic sacrocolpopexy surgical outcomes with prior versus concomitant hysterectomy[J]. *International Urogynecology Journal*, 2020, 31(2): 401–407.
- [11] Ghomi A, Nolan W, Rodgers B. Robotic-assisted laparoscopic tubal anastomosis: single institution analysis[J]. *The International Journal of Medical Robotics + Computer Assisted Surgery: MRCAS*, 2020, 16(6): 1–5.
- [12] Restaino S, Mereu L, Finelli A, et al. Robotic surgery vs laparoscopic surgery in patients with diagnosis of endometriosis: a systematic review and meta-analysis[J]. *Journal of Robotic Surgery*, 2020, 14(5): 687–694.
- [13] Iavazzo C, Minis E E, Gkegkes I D. Robotic assisted laparoscopic cerclage: a systematic review[J]. *The International Journal of Medical Robotics + Computer Assisted Surgery: MRCAS*, 2019, 15(1): e1966.
- [14] Bogliolo S, Ferrero S, Cassani C, et al. Single-site versus multiport robotic hysterectomy in benign gynecologic diseases: a retrospective evaluation of surgical outcomes and cost analysis[J]. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, 2016, 23(4): 603–609.
- [15] Aarts J W, Nieboer T E, Johnson N, et al. Surgical approach to hysterectomy for benign gynaecological disease[J]. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2015, 2015(8): CD003677.
- [16] Truong M, Kim J H, Scheib S, et al. Advantages of robotics in benign gynecologic surgery[J]. *Current Opinion in Obstetrics & Gynecology*, 2016, 28(4): 304–310.
- [17] Lawrie T A, Liu H, Lu D, et al. Robot-assisted surgery in gynaecology[J]. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2019, 4(4): CD011422.
- [18] Jayakumaran J, Patel S D, Gangrade B K, et al. Robotic-assisted laparoscopy in reproductive surgery: a contemporary review[J]. *Journal of Robotic Surgery*, 2017, 11(2): 97–109.
- [19] Lim C S, Griffith K C, Travieso J, et al. To robot or not to robot: the use of robotics in benign gynecologic surgery[J]. *Clinical Obstetrics and Gynecology*, 2020, 63(2): 327–336.
- [20] Nezhat F R, Sirota I. Perioperative outcomes of robotic assisted laparoscopic surgery versus conventional laparoscopy surgery for advanced-stage endometriosis[J]. *JSLS: Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons*, 2014, 18(4): e2014.00094.
- [21] Daraï E, Dechaud H, Benifla J L, et al. Fertility after laparoscopic myomectomy: preliminary results[J]. *Human reproduction (Oxford, England)*, 1997, 12(9): 1931–1934.
- [22] Magrina J F, Espada M, Kho R M, et al. Surgical excision of advanced endometriosis: perioperative outcomes and impacting factors[J]. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, 2015, 22(6): 944–950.
- [23] Dulemba J F, Pelzel C, Hubert H B. Retrospective analysis of robot-assisted versus standard laparoscopy in the treatment of pelvic pain indicative of endometriosis[J]. *Journal of Robotic Surgery*, 2013, 7(2): 163–169.
- [24] Collinet P, Leguevaque P, Neme R M, et al. Robot-assisted laparoscopy for deep infiltrating endometriosis: international multicentric retrospective study[J]. *Surgical Endoscopy*, 2014, 28(8): 2474–2479.
- [25] Brudie L A, Gaia G, Ahmad S, et al. Peri-operative outcomes of patients with stage IV endometriosis undergoing robotic-assisted laparoscopic surgery[J]. *Journal of Robotic Surgery*, 2012, 6(4): 317–322.
- [26] Morelli L, Perutelli A, Palmeri M, et al. Robot-assisted surgery for the radical treatment of deep infiltrating endometriosis with colorectal involvement: short- and mid-term surgical and functional outcomes[J]. *International Journal of Colorectal Disease*, 2016, 31(3): 643–652.
- [27] Giannini A, Russo E, Malacarne E, et al. Role of robotic surgery on pelvic floor reconstruction[J]. *Minerva Ginecologica*, 2019, 71(1): 4–17.
- [28] Piedimonte S, Czuzoj-Shulman N, Gotlieb W, et al. Robotic radical hysterectomy for cervical cancer: a population-based study of adoption and immediate postoperative outcomes in the united states[J]. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, 2019, 26(3): 551–557.

- [29] Lowe M P, Chamberlain D H, Kamelle S A, et al. A multi-institutional experience with robotic-assisted radical hysterectomy for early stage cervical cancer[J]. *Gynecologic Oncology*, 2009, 113(2): 191–194.
- [30] Cantrell L A, Mendivil A, Gehrig P A, et al. Survival outcomes for women undergoing type III robotic radical hysterectomy for cervical cancer: a 3-year experience[J]. *Gynecologic Oncology*, 2010, 117(2): 260–265.
- [31] Shah C A, Beck T, Liao J B, et al. Surgical and oncologic outcomes after robotic radical hysterectomy as compared to open radical hysterectomy in the treatment of early cervical cancer[J]. *Journal of Gynecologic Oncology*, 2017, 28(6): e82.
- [32] Melamed A, Margul D J, Chen L, et al. Survival after minimally invasive radical hysterectomy for early-stage cervical cancer[J]. *The New England Journal of Medicine*, 2018, 379(20): 1905–1914.
- [33] Ramirez P T, Frumovitz M, Pareja R, et al. Minimally invasive versus abdominal radical hysterectomy for cervical cancer[J]. *The New England Journal of Medicine*, 2018, 379(20): 1895–1904.
- [34] Uppal S, Gehrig P A, Peng K, et al. Recurrence rates in patients with cervical cancer treated with abdominal versus minimally invasive radical hysterectomy: a multi-institutional retrospective review study[J]. *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, 2020, 38(10): 1030–1040.
- [35] Tewari K S. Minimally invasive surgery for early-stage cervical carcinoma: interpreting the laparoscopic approach to cervical cancer trial results[J]. *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, 2019, 37(33): 3075–3080.
- [36] Walker J L, Piedmonte M R, Spirtos N M, et al. Laparoscopy compared with laparotomy for comprehensive surgical staging of uterine cancer: Gynecologic Oncology Group Study LAP2[J]. *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, 2009, 27(32): 5331–5336.
- [37] Janda M, Gebiski V, Davies L C, et al. Effect of total laparoscopic hysterectomy vs total abdominal hysterectomy on disease-free survival among women with stage I endometrial cancer: a randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2017, 317(12): 1224–1233.
- [38] Chan J K, Gardner A B, Taylor K, et al. Robotic versus laparoscopic versus open surgery in morbidly obese endometrial cancer patients—a comparative analysis of total charges and complication rates[J]. *Gynecologic Oncology*, 2015, 139(2): 300–305.
- [39] Aloisi A, Tseng J H, Sandadi S, et al. Is robotic-assisted surgery safe in the elderly population? An analysis of gynecologic procedures in patients ≥ 65 years old[J]. *Annals of Surgical Oncology*, 2019, 26(1): 244–251.
- [40] Ran L, Jin J, Xu Y, et al. Comparison of robotic surgery with laparoscopy and laparotomy for treatment of endometrial cancer: a meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2014, 9(9): e108361.
- [41] Jørgensen S L, Mogensen O, Wu C, et al. Nationwide introduction of minimally invasive robotic surgery for early-stage endometrial cancer and its association with severe complications[J]. *JAMA Surgery*, 2019, 154(6): 530–538.
- [42] Coleman R L, Spirtos N M, Enserro D, et al. Secondary surgical cytoreduction for recurrent ovarian cancer[J]. *The New England Journal of Medicine*, 2019, 381(20): 1929–1939.
- [43] SHI C, GAO Y C, YANG Y J, et al. Comparison of efficacy of robotic surgery, laparoscopy, and laparotomy in the treatment of ovarian cancer: a meta-analysis[J]. *World Journal of Surgical Oncology*, 2019, 17(1): 162.
- [44] Clair K H, Tewari K S. Robotic surgery for gynecologic cancers: indications, techniques and controversies[J]. *The Journal of Obstetrics and Gynaecology Research*, 2020, 46(6): 828–843.
- [45] Harvey L, Hendrick R, Dillon N, et al. A novel robotic endoscopic device used for operative hysteroscopy[J]. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, 2020, 27(7): 1631–1635.
- [46] Lewi L, Jani J, Blickstein I, et al. The outcome of monochorionic diamniotic twin gestations in the era of invasive fetal therapy: a prospective cohort study[J]. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 2008, 199(5): 514e1–8.
- [47] Sayols N, Hernansanz A, Parra J, et al. Vision based robot assistance in TTTS fetal surgery[J]. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference*, 2019. DOI: 10.1109/EMBC.2019.8856402.

- [48] Ahmad M A, Ourak M, Gruijthuisen C, et al. Deep learning-based monocular placental pose estimation: towards collaborative robotics in fetoscopy[J]. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 2020, 15(9): 1561–1571.
- [49] Luk M J, Lobb D, Smith J A. A dynamic compliance cervix phantom robot for latent labor simulation[J]. Soft Robotics, 2018, 5(3): 330–338.
- [50] Rivas-López R, Sandoval-García-Travesí F A. Robotic surgery in gynecology: review of literature[J]. Cirugías Cirujanos, 2020, 88(1): 107–116.
- [51] Lavoue V, Collinet P, Fernandez H. Robotic surgery in gynecology: has France lost its leadership in minimally invasive surgery?[J]. Journal of Gynecology Obstetrics and Human Reproduction, 2020, 49(4): 101708.
- [52] Peters B S, Armijo P R, Krause C, et al. Review of emerging surgical robotic technology[J]. Surgical Endoscopy, 2018, 32(4): 1636–1655.
- [53] Li J, Esteban-Fernández de Ávila B, Gao W, et al. Micro/nanorobots for biomedicine: delivery, surgery, sensing, and detoxification[J]. Science Robotics, 2017, 2(4): eaam6431.
- [54] Kirson E D, Yaari Y. A novel technique for microdissection of neuronal processes[J]. Journal of Neuroscience Methods, 2000, 98(2): 119–122.
- [55] Leong T G, Randall C L, Benson B R, et al. Tetherless thermobiochemically actuated microgrippers[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(3): 703–708.
- [56] Henke E M, Schlatter S, Anderson I A. Soft dielectric elastomer oscillators driving bioinspired robots[J]. Soft Robotics, 2017, 4(4): 353–366.
- [57] Bozzini G, Gidaro S, Taverna G. Robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy with the ALF-X robot on pig models[J]. European Urology, 2016, 69(2): 376–377.
- [58] Gueli Alletti S, Rossitto C, Cianci S, et al. The Senhance™ surgical robotic system (“Senhance”) for total hysterectomy in obese patients: a pilot study[J]. Journal of Robotic Surgery, 2018, 12(2): 229–234.

· 简 讯 ·

《机器人泌尿外科手术学（原著第2版）》购书信息

《机器人泌尿外科手术学（原著第2版）》译著于2015年8月出版发行。该书由美国佛罗里达医院的全球机器人研究所主任、美国机器人学会创立者、The Journal of Robotic Surgery的创办者及主编、美国泌尿外科学会机器人手术高级课程主讲者 Vipul R.Patel 教授主编。近年来，泌尿外科



腹腔镜和机器人辅助手术得到广泛开展，显著提高了患者的生活质量。然而，泌尿外科腹腔镜和机器人辅助手术的训练，方法变化非常大，一项结构化的训练方案对当代泌尿外科医师掌握这些技术并将其发挥到最佳水平非常必要。本书的主要目的是通过展示所有标准化腹腔镜和机器人辅助手术步骤，认真指导泌尿外科医师的临床实践。每个手术通过大量腔镜照片和注解得以详细地展示。由此读者能了解到手术步骤的方方面面，从而逐步提高自己在机器人辅助手术方面的技术。

订阅电话：029-87286478 QQ：2713004807

本刊编辑部