DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20250102

· 短篇论著 ·

超远程国产单孔机器人辅助腹腔镜肾囊肿去顶减压术 1 例报告

吴小凤[1]，陈丽茹[1]，冯　钰[1]，张　威[1]，王林辉[1]，陆小英[2*]
1. 海军军医大学（第二军医大学）第一附属医院泌尿外科，上海 200433
2. 海军军医大学（第二军医大学）第一附属医院护理处，上海 200433

［摘要］ **目的**　总结 1 例超远程国产单孔机器人辅助腹腔镜肾囊肿去顶减压术的操作经验，为远程手术的开展提供参考。**方法**　采用国产单孔术锐手术机器人进行手术，主控端与患者端相距 2 400 km，利用 5G 网络及中国电信 100 Mbps 专线带宽，主刀医师远程控制机械臂操作系统进行手术操作。**结果**　手术顺利，手术时长为 32 min，术中带宽延迟时间为（90±20） ms，术中失血 10 mL，未放置引流管，患者苏醒，术后安全返回病房。**结论**　国产单孔机器人实施超远程手术是安全可行的，可将优势医疗资源下沉，缓解分布不均的问题。

［关键词］ 国产机器人辅助手术系统；单孔机器人手术；腹腔镜肾囊肿去顶减压术；超远程手术
［引用本文］ 吴小凤，陈丽茹，冯钰，等. 超远程国产单孔机器人辅助腹腔镜肾囊肿去顶减压术 1 例报告[J]. 海军军医大学学报，2025，46(11)：1510-1513. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20250102.

Ultra-long-distance single-port robotic-assisted laparoscopic renal cyst decortication using a domestic robotic system: a case report

WU Xiaofeng[1], CHEN Liru[1], FENG Yu[1], ZHANG Wei[1], WANG Linhui[1], LU Xiaoying[2*]
1. Department of Urology, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China
2. Department of Nursing, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

[**Abstract**] **Objective**　To summarize the operation experience of 1 case of ultra-long-distance single-port robotic-assisted laparoscopic renal cyst decortication using a domestic robotic system, and provide references for the development of long-distance telesurgery. **Methods**　The procedure was performed using a domestically produced single-port robotic system. The distance between the main control end and the patient end was 2 400 km. The operation was conducted remotely via a 5G network and a 100 Mbps dedicated line provided by China Telecom. The surgeon controlled the robotic arm remotely. **Results**　The surgery was completed smoothly within a duration of 32 min. The real-time latency was (90±20) ms. Blood loss during the operation was 10 mL, and no drainage tube was placed. The patient recovered smoothly and returned to the ward without any complications. **Conclusion**　It is safe and feasible for the domestically produced single-port robotic system to implement ultra-long-distance telesurgery. This approach facilitates the decentralization of advanced medical resources and helps mitigate disparities in healthcare access.

[**Key words**] domestic robot-assisted surgery system; single-port robotic surgery; laparoscopic renal cyst decortication; telesurgery
[**Citation**] WU X, CHEN L, FENG Y, et al. Ultra-long-distance single-port robotic-assisted laparoscopic renal cyst decortication using a domestic robotic system: a case report[J]. Acad J Naval Med Univ, 2025, 46(11): 1510-1513. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20250102.

随着精准外科技术的发展，手术机器人辅助手术在泌尿外科得到广泛应用。单孔机器人手术因具有创伤小、手术视野集中、患者术后恢复快、手术并发症少等优点，逐渐成为微创外科领域的重要技术手段[1-2]。然而，受限于昂贵的设备价格及运行维护成本，目前手术机器人主要集中部署于经济发

［收稿日期］ 2025-02-20　　［接受日期］ 2025-06-25
［基金项目］ 海军军医大学第一附属医院人才计划，上海市重中之重研究中心建设项目（2022ZZ01011）. Supported by Talent Project of The First Affiliated Hospital of Naval Medical University and Shanghai Top Priority Research Center Project (2022ZZ01011).
［作者简介］ 吴小凤. E-mail: wuxiaofeng0921@163.com
*通信作者（Corresponding author）. E-mail: luxiaoyingjoy@163.com

达地区，边远地区患者难以享受先进手术技术带来的治疗益处[3]。近年来，5G 通信技术的快速发展为远程医疗特别是远程手术的实施提供了可行条件[4-5]。借助 5G 网络平台，操作者可异地实时控制机器人手术系统，完成远程精准操作，为边远地区患者提供优质外科服务，拓宽了高水平医疗资源的服务半径[6-7]。

国产单孔机器人手术系统的问世是我国自主医疗设备研发的重要突破[8]，将其与 5G 远程手术技术相结合，在边远地区开展临床探索，具有重要的现实意义与推广价值。同时，远程手术的实践也对围手术期管理、团队协作及安全保障提出了更高要求[9]。我院泌尿外科团队于 2024 年 4 月 25 日顺利开展了 1 例超远程国产单孔机器人辅助腹腔镜肾囊肿去顶减压术，现将相关经验报告如下。

1　资料和方法

1.1　*病例资料*　患者男，23 岁，未婚。于 1 年前体检发现左肾囊肿（直径约为 1.0 cm），主诉 4 个月前左侧腰部不适、胀痛，重体力活动后加重，休息后缓解，为明确诊治在当地医院就诊。患者于 2024 年 4 月 23 日收入我院治疗。入院后行泌尿系彩色超声检查提示左肾囊肿增大，大小约 4.0 cm×2.2 cm，未见实性成分。进一步行泌尿系增强 CT 检查，显示囊肿位于左肾腹侧中极，边界清晰，未见与集合系统相通。实验室检查未见明显异常，肾功能正常。既往体健，无手术禁忌证及麻醉高危因素。

1.2　*远程手术团队组建*　远程操作团队（主控端）位于上海（距患者端 2 400 km），由主刀医师（单孔机器人手术经验丰富的主任医师 1 名）、助手医师（1 名）及工程技术人员（2 名）组成。主刀医师为本次远程手术的主要操作者，负责术前方案制定、关键技术流程把控及术中远程操控；助手医师协助整理患者资料、推进术前评估与术前准备；2 名工程技术人员分别负责机器人系统的硬件部署和 5G 通信调试，保障术中系统运行和数据稳定传输。当地执行团队（患者端）设于当地医院手术室，由泌尿外科医师（2 名）、麻醉医师（1 名）、护理人员（2 名）及工程技术人员（1 名）组成。其中 1 名泌尿外科医师在术中担任第一助手，配合远程主刀医师完成组织牵拉、视野暴露及关键配合操作，具备术中必要时独立接管手术的能力；另 1 名泌尿外科医师负责术前患者管理与术中辅助操作，并作为应急备用助手。麻醉医师负责麻醉的评估、实施及术中突发情况处置。2 名护理人员分别承担洗手与巡回职责，全程参与术前准备、术中配合及术后整理。工程技术人员负责远程系统终端设备的安装调试、网络接入及术中信号保障。由于患者端所在地医疗资源不足，初始仅配备了 1 名泌尿外科医师、1 名麻醉医师和 1 名护理人员，又因主控端需运送手术设备，故从主控端增派泌尿外科医师、护理人员和工程技术人员各 1 名至患者端。因患者端医院地理位置偏远、交通不便，主控端团队还派遣了 1 名交通协调员，负责保障交通和安全。

1.3　*术前准备*　团队组建后，患者端医师用远程会诊的方式汇报患者病情及检查检验结果，主刀医师做全面分析，初步制定手术方案，明确团队成员分工。患者端的 2 名医师收治患者，完善术前检查，组织术前讨论，告知患者手术方案及可能的风险等，记录病历；2 名护理人员检查器械、物品、手术室环境、体位摆放用具等，同时将应急预案所需物品准备妥当备用；1 名工程技术人员安装连接机器并测试 5G 信号，寻找信号最稳定、最强的位置。团队协作进行远程情景演练及动物实验测试，结果显示信号无中断，延迟 80～120 ms，动作顺畅、可行。

1.4　*手术体位与入路*　采用北京术锐机器人股份有限公司生产的机器人手术系统于 2024 年 4 月 25 日实施远程手术，数据传输采用 5G 网络及中国电信 100 Mbps 专线宽带。患者全身麻醉气管插管成功后，取右侧卧位，抬高腰桥。常规消毒铺单，取左髂前上棘两横指位置，做一长约 3 cm 的横行切口，切开皮肤、皮下组织；使用中弯血管钳钝性分离肌肉，进入腹膜外间隙；手指钝性分离并扩大腹膜外间隙，置入气囊，充气 600 mL。建立后腹腔空间后，置入单孔机器人专用套管（Port）底座及操作组件，连接镜头臂和机械臂，两机械臂分别安装电剪刀和圆头双极钳。主刀医师在远端以电剪刀剔除腹膜外脂肪，打开肾周筋膜，分离肾周脂肪，暴露肾脏。见肾脏红润，腹侧中极见囊肿，大小约 3.8 cm×2.1 cm。用电剪刀剪开囊肿，吸除囊液，去除多余囊壁并取出囊壁送检，观察数分钟，手术区域无出血，未放置引流管。护士与医师清点物品无

误，撤出机械臂，逐层缝合伤口，术毕。患者麻醉清醒后顺利拔除气管插管，观察 30 min，患者生命体征平稳，未出现体温过低等手术并发症，安全返回病房。

2 结 果

术中，中国电信 5G 网络通信信号未出现中断现象，术中延时（90±20）ms，远程主刀医师操控无明显延迟感，动作流畅。3D 视野清晰流畅地显示于主刀医师控制台，术野画面清晰、显示顺畅，无明显卡顿现象。术中主控端和患者端语音通话声音清晰、无明显卡顿，沟通顺利。语音指令从主控端发出至患者端护理人员复述的平均响应时间为 3.2 s，镜下器械展示确认用时为 1.7 s，均低于术前制定的安全阈值（5 s）。手术过程顺利，手术总时长为 32 min，术中出血量少于 10 mL，未放置引流管。机器人操作全程稳定，未发生臂位失控或器械脱落等异常事件。术中更换器械共 5 次，均一次性交接成功，未出现差错。

术后 30 min，患者平稳苏醒，成功拔除气管插管，转入普通病房。次日主刀医师远程查房，患者切口干燥、生命体征平稳，无不适主诉，各项检查指标均正常，嘱床边活动、逐步恢复饮食。术后第 2 天拔除导尿管及静脉通道，无尿潴留、感染等情况；术后第 3 天出院。术后病理检查为单纯性肾囊肿，与术前诊断一致。术后 1 个月及 6 个月时在当地医院复查，CT 检查均未见囊肿复发或肾周积液，肾功能正常，患者满意度为 9 分（采用数值评分法，满分 10 分）。

3 讨 论

本研究成功实施了我国首例国产单孔机器人 5G 超远程肾囊肿去顶减压术，初步验证了在异地非接触条件下远程机器人手术具备良好的安全性、可控性及团队协作可行性。术中通信延迟时间为（90±20）ms，操控稳定，图像清晰；护理配合器械均一次性交接成功，无差错；患者术后恢复良好，满意度评分为 9 分。

目前已有研究报道远程多孔机器人手术技术在较近距离区域的应用，主要采用多孔机器人手术设备完成[10-12]。本研究采用国产单孔机器人手术系统，首次实现跨越 2 400 km 的超远程实时操控，完成了全身麻醉下患者的泌尿系统手术，标志着我国医疗在自主设备支撑下正式进入“远程单孔精准手术”阶段。本研究突破了区域间医疗资源分布不均的“瓶颈”。在当前高端医疗设备集中于大城市背景下，基层及边远地区的患者难以获得及时手术治疗。超远程机器人手术可实现高水平专家资源和设备能力的远程支持，推动优质医疗服务向基层延伸，尤其对偏远海岛、边防、应急灾难等特殊区域的医疗保障具有重要推广价值[13-14]。

本次超远程手术依托的国产术锐单孔机器人手术系统已在多个学科得到广泛应用，包括泌尿外科、普外科、妇科、胸外科、儿科等，其系统稳定性、安全性及操作适应性已获充分验证[15-16]；前期已在我科完成前瞻性随机对照临床试验，均顺利完成手术，未见严重并发症[17]。此次远程手术的开展，正是在此坚实技术基础与临床经验积累之上，推进其从“同地操控”向“异地精准协作”跨越，标志着国产单孔机器人手术系统正式进入远程手术临床应用阶段。为实现超远程操控条件下的全流程协同，我科在此次手术前完成了多项系统建设工作。首先，通过伦理审查与远程技术风险评估，明确远程手术的适应证范围与网络延迟控制标准。随后，联合两地工程、医护团队完成 5G 专网调试与双地硬件适配，确保术前测试阶段系统无中断、图像传输稳定。术前团队通过高保真模拟演练和远程动物实验，对网络异常、语音指令失效、图像延迟、器械卡顿等多类突发情境设定应急响应窗口，强化术者与本地协作者间的默契程度及风险管控能力。此次手术的顺利完成不仅验证了国产机器人手术系统的操控性能与远程传输能力，更体现了一个高效、稳定、协同的“远程手术运行体系”的可行性，这些经验为后续大规模开展多中心远程手术提供了成熟的技术路线和可复制的组织模式。

在本次超远程单孔机器人辅助手术中，护理团队不仅承担了传统意义上的器械准备与术中配合任务，更深度参与了整个远程手术体系的流程设计、应急管理与协同机制构建。团队在术前组织情景模拟训练，覆盖了语音指令失效、镜下图像延迟、器械卡顿及网络波动等多类异常情境，显著提升了护理团队对复杂手术环境的应对能力和协同反应速度。护理团队的深度参与有效弥补了术者远程操作下“现场判断力”的缺位。护士通过镜下观察、

语音理解与操作趋势分析，主动提出物资补给和风险提示，成为远程语境下关键的“临床信息中转枢纽”。这种护理协同范式适用于远程单孔手术场景，其在流程标准化、明晰角色与应急处置机制方面具有良好的可复制性，未来可推广至更复杂的远程术式，并与人工智能图像识别、远程手术质量追踪等技术深度融合，推动护理体系向“智能化－系统化－精准化”方向发展。

本研究基于国产单孔机器人手术系统，成功完成了 1 例超远程泌尿外科手术，初步验证了该技术在异地实时操控下的可行性与安全性。本病例采用的术式相对简单，手术风险较低，不足以全面代表远程单孔机器人手术在复杂病种、长时间操作或高风险患者中的应用效果，其临床应用范围尚需扩大以及纳入更多样的病例。

［参 考 文 献］

［1］ WANG Z, ZHANG C, XIAO C, et al. Initial experience of laparoendoscopic single-site radical prostatectomy with a novel purpose-built robotic system[J]. Asian J Urol, 2023, 10(4): 467-474. DOI: 10.1016/j.ajur.2023.08.002.

［2］ 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[J]. World J Urol, 2024, 42(1): 134. DOI: 10.1007/s00345-024-04827-3.

［3］ SUN Y, ZHOU L, ZHANG J, et al. Census report on Chinese urological surgeons[J]. Asian J Urol, 2020, 7(2): 149-160. DOI: 10.1016/j.ajur.2019.12.002.

［4］ CHU G, YANG X, LUO L, et al. Improved robot-assisted laparoscopic telesurgery: feasibility of network converged communication[J]. Br J Surg, 2021, 108(11): e377-e379. DOI: 10.1093/bjs/znab317.

［5］ 黄韵翰，周逢海，郭柏鸿，等．基于 5G 通信技术的远程机器人手术应用研究进展及关键技术分析［J］．中国微创外科杂志，2024，24（2）：138-142. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6604.2024.02.012.

［6］ 王楠，孟元光．5G 远程机器人手术的发展与应用现状［J］．机器人外科学杂志（中英文），2025，6（3）：503-507. DOI: 10.12180/j.issn.2096-7721.2025.03.029.

［7］ 王野，闫石，常易凡，等．远程手术创新的现状和进展［J］．海军军医大学学报，2023，44（5）：627-630. DOI: 10.16781/j.cn31-2187/r.20220129.
WANG Y, YAN S, CHANG Y F, et al. Innovation of telesurgery: current status and progress[J]. Acad J Naval Med Univ, 2023, 44(5): 627-630. DOI: 10.16781/j.cn31-2187/r.20220129.

［8］ 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[J]. Eur Urol Open Sci, 2024, 67: 26-37. DOI: 10.1016/j.euros.2024.07.107.

［9］ 郑岩，付军桦，赵林，等．5G 技术支持下远程国产机器人肾切除术的护理配合［J］．护理学杂志，2022，37（19）：48-51. DOI: 10.3870/j.issn.1001-4152.2022.19.048.

［10］ 黄韵翰，吕海迪，周逢海，等．基于 5G 通信技术的机器人辅助远程泌尿外科手术的临床应用研究［J］．中华泌尿外科杂志，2025，46（1）：49-54. DOI: 10.3760/cma.j.cn112330-20240721-00331.

［11］ 詹渭鹏，马于祺，狐鸣，等．5G 远程机器人辅助远端胃癌根治术一例报道（附手术视频）［J］．机器人外科学杂志（中英文），2025，6（1）：18-23. DOI: 10.12180/j.issn.2096-7721.2025.01.004.

［12］ 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.

［13］ 吴槟，杨诚，梁朝朝，等．机器人远程肾部分切除术的现状与未来［J］．国际外科学杂志，2025，52（2）：80-84. DOI: 10.3760/cma.j.cn115396-20250215-00032.

［14］ 景武堂，万浩浩，苗长丰，等．5G 远程机器人手术的应用现状及展望［J］．机器人外科学杂志（中英文），2025，6（1）：1-5. DOI: 10.12180/j.issn.2096-7721.2025.01.001.

［15］ 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[J]. Int J Surg, 2023, 109(11): 3417-3429. DOI: 10.1097/JS9.0000000000000612.

［16］ REN C, SUN D. Robot-assisted single-port laparoscopic bilateral ovarian cystectomy using the Shurui® system: a case report[J]. Intell Surg, 2022, 3: 9-13. DOI: 10.1016/j.isurg.2022.06.001.

［17］ 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[J]. Asian J Urol, 2025, 12(2): 152-161. DOI: 10.1016/j.ajur.2024.07.002.

［本文编辑］　魏莎莎