

国产手术机器人 5G 远程双侧性腺切除术： 全球首例报道（附手术视频）



扫码观看视频

童国煜¹, 张轶男¹, 吴少峰², 邹翔宇², 陈少锋¹, 李天霖¹, 孙杰²

(1. 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心海南医院小儿外科 海南 三亚 572000; 2. 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心泌尿外科 上海 200217)

摘要 近年来, 得益于 5G 网络技术的飞速发展, 我国在机器人远程手术领域取得了突破性进展。本文首次报道了全球范围内基于 5G 网络的国产机器人在小儿外科成功实施远程手术的案例。患者为 7 岁女童, 确诊为 46, XY 性别发育障碍 (DSD), 需进行双侧性腺切除术。手术利用图迈® 四臂腔镜手术机器人, 通过 5G 网络实现远程操作, 确保手术同步进行且无延迟。手术过程顺利, 患儿术后恢复良好, 验证了该技术的可行性和安全性。此次手术不仅标志着我国在远程手术技术上的全球领先地位, 也为未来医学资源均衡分配提供了新的可能性, 展现了 5G 网络技术在医疗领域的巨大潜力。

关键词 5G 网络技术; 机器人远程手术; 性腺发育异常; 国产手术机器人; 小儿外科

中图分类号 R726.1 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2024) 06-1266-05

Domestic surgical robot-assisted 5G remote bilateral gonadectomy: the first case report (with surgical video)

TONG Guoyu¹, ZHANG Yinan¹, WU Shaofeng², ZOU Xiangyu², CHEN Shaofeng¹, LI Tianlin¹, SUN Jie²

(1. Department of Pediatric Surgery, Hainan Branch, Shanghai Children's Medical Center, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Sanya 572000, China; 2. Department of Urology, Shanghai Children's Medical Center, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200217, China)

Abstract In recent years, China has made groundbreaking progress in the field of robotic remote surgery, due to the rapid development of 5G network technology. The first domestic robot-assisted bilateral gonadectomy based on 5G network technology in the world was reported in this paper. The female patient was 7-year-old, diagnosed with 46, XY disorders of sex development (DSD), required bilateral gonadectomy. The surgery was remotely performed using the Toumai® Laparoscopic Surgical Robot with 5G network to ensure synchronized and delay-free execution. The procedure was completed smoothly, and the patient recovered well after surgery, which confirmed its feasibility and safety. This report not only marks China's global leadership in remote surgery, but also offers new possibilities for the equitable distribution of medical resources in the future, demonstrating the immense potential of 5G networks technology in the medical field.

Key words 5G Network Technology; Remote Robotic Surgery; Gonadal Dysgenesis; Domestic Surgical Robot; Pediatric Surgery

收稿日期: 2024-08-21 录用日期: 2024-09-13

Received Date: 2024-08-21 Accepted Date: 2024-09-13

基金项目: 福建省自然科学基金 (2023J01183); 三亚市科技创新专项基金 (2022KJCX40)

Foundation Item: Natural Science Foundation of Fujian Province (2023J01183); Special Fund for Science and Technology Innovation of Sanya City (2022KJCX40)

通讯作者: 孙杰, Email: sunjie@scmc.com.cn

Corresponding Author: SUN Jie, Email: sunjie@scmc.com.cn

引用格式: 童国煜, 张轶男, 吴少峰, 等. 国产手术机器人 5G 远程双侧性腺切除术: 全球首例报道 (附手术视频) [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2024, 5 (6): 1266-1270.

Citation: TONG G Y, ZHANG Y N, WU S F, et al. Domestic surgical robot-assisted 5G remote bilateral gonadectomy: the first case report (with surgical video)[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024,5(6): 1266-1270.

我国各类优质医疗卫生资源存在较为明显的地域性极化效应^[1]，偏远地区患儿接受治疗所耗费的经济、时间、精力成倍增加^[2-4]。随着近年来 5G 技术的日益进步，将其应用于机器人远程手术是新时代的又一次技术革新，也是医疗产业未来发展的趋势之一，这将有利于消除我国医疗资源配置的地域差异^[5]。依托于我国先进的 5G 网络建设，使得我国机器人远程手术应用研究进展迅速，多个国产机器人远程手术研究已被报道^[6-11]。小儿外科也是最早将机器人辅助手术技术用于外科手术的学科之一。作为国产手术机器人的代表，图迈[®]手术机器人目前拥有全球范围内最丰富的 5G 超远程手术实践经验，在多学科领域完成超过 50 例远程手术和试验，最远手术距离超过 5000 公里，创造了多项全球首例纪录。目前国内文献报道的包括但不限于，根治性前列腺切除术、肾癌根治性切除术、肾上腺切除术、膀胱癌根治性切除术、肝癌切除术、保留脾脏胰尾肿瘤切除手术、胃癌根治术、子宫切除术及肺叶切除动物手术试验等高难度复杂手术，标志着国产手术机器人在临床应用上日益走向成熟，可以充分满足多科室临床要求^[12]。

1 病例资料

1.1 基本信息及查体 患儿社会性别女，7 岁，因“体格发育延迟，学习技能障碍”就诊。查体意识反应好，无特殊面容。专科检查结果如下：身高 105.2 cm，体重 15.1 kg，双侧乳房 B1 期，女童外阴外观无异常色素沉着，阴毛 PH1 期，双侧腹股沟、阴唇内未及肿块。

1.2 辅助检查 染色体核型分析提示染色体异常（46，XY），如图 1A，查体见患儿生殖器为女性外观，无男性性征。外生殖器男性化评估：Prader 0 级。患儿染色体与外生殖器外观不符（如图 1B~C），进一步完善 HCG 激发试验（见表 1）。盆腔 MRI：卵巢窝区似见圆形实性信号结节，未见子宫影，阴道可见，符合 46，XY 性别发育障碍（Disorders of Sex Development，DSD）。

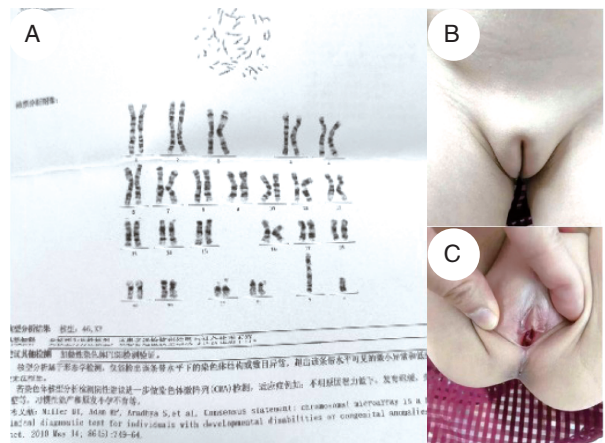


图 1 辅助检查结果

Figure 1 Results of auxiliary examinations

注：A. 染色体核型分析结果；B~C. 患儿外生殖器外观

行性腺活检见卵巢样组织。病理检查：卵巢型 DSD/ 睾丸退化。

1.3 病情分析 患者明确诊断为 46，XY DSD 后，建议早期行性腺切除术预防，若未及时手术有中等癌变风险^[13-14]，但何时行性腺切除术则需要多学科团队共同权衡利弊后做出正确决策。关于儿童和青少年性腺切除术时机的前瞻性研究资料仍非常有限，缺乏被普遍接受的指南共识^[15]。考虑到疾病的特殊性，院方组织泌尿外科、内分泌科、发育行为/心理科、病理科、社工部专家团队与患儿监护人联合进行 MDT，结合家长和患儿的性别决定意愿、社交适应性，根据生理、心理、社会属性等各方面最有利于患儿身心成长，以及家庭各方利益最大化的原则^[16]，确定女性方向纠治更为合理，预后更好，决定对患儿条索状发育不良的性腺予以切除。此次手术已通过医院伦理委员会审核。

2 手术过程

手术开始前 1 h，机器人工程师团队建立网络连接并检测网络延时数值，对机器人进行最终调试，保证信号强度 > -85 dbm，信噪比 > 33 db，丢包率为 0.5%。调试满意后，患儿采用全身麻醉，取卧位，麻醉显效后，常规消毒、铺巾。于患儿脐部横行切开，开放式置入穿刺锥，建立 CO₂ 气腹，压力 9 mmHg，放入腹腔镜，腹腔镜监视

表 1 HCG 激发试验结果
Table 1 HCG provocation test results

时间	AMH	睾酮 (T)	双氢睾酮 (DHT)
肌注前 1 d	57.65 ng/mL	<0.01 mmol/L	<9.4 pg/mL
肌注 1~3 d	—	HCG 1500U, 肌注, Qd*3 d	
肌注次日	—	5.43 mmol/L	80.32 pg/mL

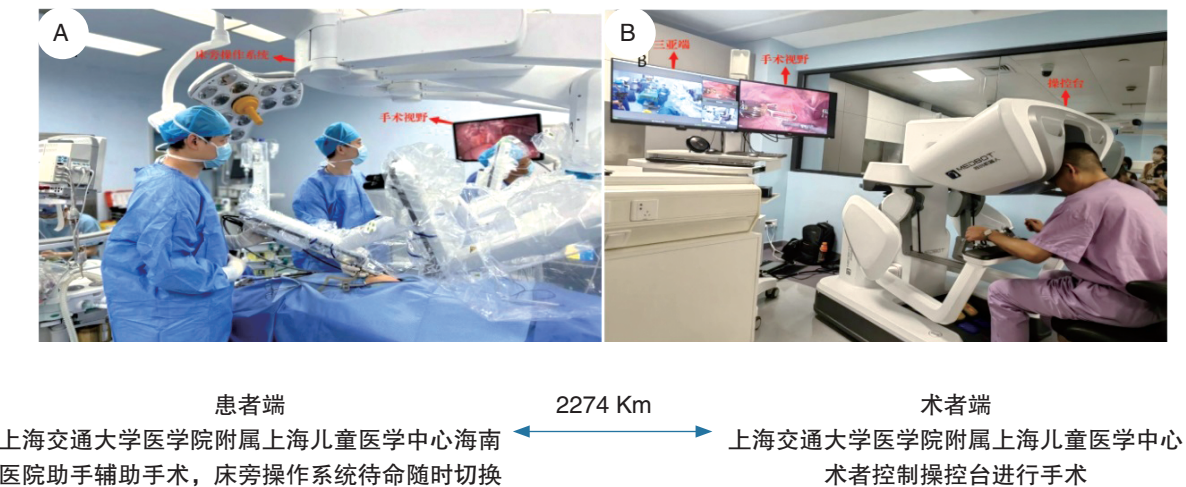


图 2 手术操作场景
Figure 2 Surgical site
注：A. 患者端；B. 术者端

下分别于左右两侧腹部置入穿刺锥。穿刺锥连接机器人操作臂，主刀医生于操作台操作（如图 2）。游离左侧精索血管远端，从腹股沟管中将性腺钳夹、牵引，直至将精索拉出。超声刀切断精索系膜、苗勒管残迹及骨盆漏斗韧带（如图 3A~B）。电凝止血，同理行右侧性腺切除（如图 3C~D）。检查性腺是否切除完整，避免肿瘤、癌变可能性，分离钳取出两枚性腺送病理检查。检查无活动性出血，清点手术器械无误，撤除腹腔镜器械，缝合腹部切口。手术远程操作与本地执行基本同步，过程无卡顿，无机械臂碰撞、暂停，无手术操作系统报警等不良事件。手术过程顺利，时长为 40 min，术中出血量约 2 mL，无输血，术毕患儿安返病房。术后第 1 d 排气并进食，术后第 3 d 出院。术中及术后患儿无明显不适症状，指导患儿积极进行术后切口护理、饮食护理。术后病理检查报告性腺发育不全。

3 讨论

机器人远程手术研究自 20 世纪 90 年代开始逐步兴起，多名学者^[17-19]对其相继探索。2001 年 Marescaux J 等人^[16]报道成功完成了真正意义上的世界首例机器人远程手术，标志着全球由此进入现代远程手术研究阶段。尽管机器人辅助手术已在多个医学领域得到广泛应用，但在小儿外科的应用仍是首次^[20]。

本文首次报道了在全球范围内成功实施基于 5G 网络的国产手术机器人在小儿外科双侧性腺切除的远程手术。这一成功标志着我国在远程手术技术上的重大突破，不仅验证了 5G 远程机器人辅助手术在小儿外科的可行性和安全性，也真正打破了手术地域和时间限制，对解决地域性医疗资源分配不均存在重大意义，具有广阔的应用前景^[21]。医疗手术机器人属于高新技术产业，行业壁垒高，目前市场份额主要由外

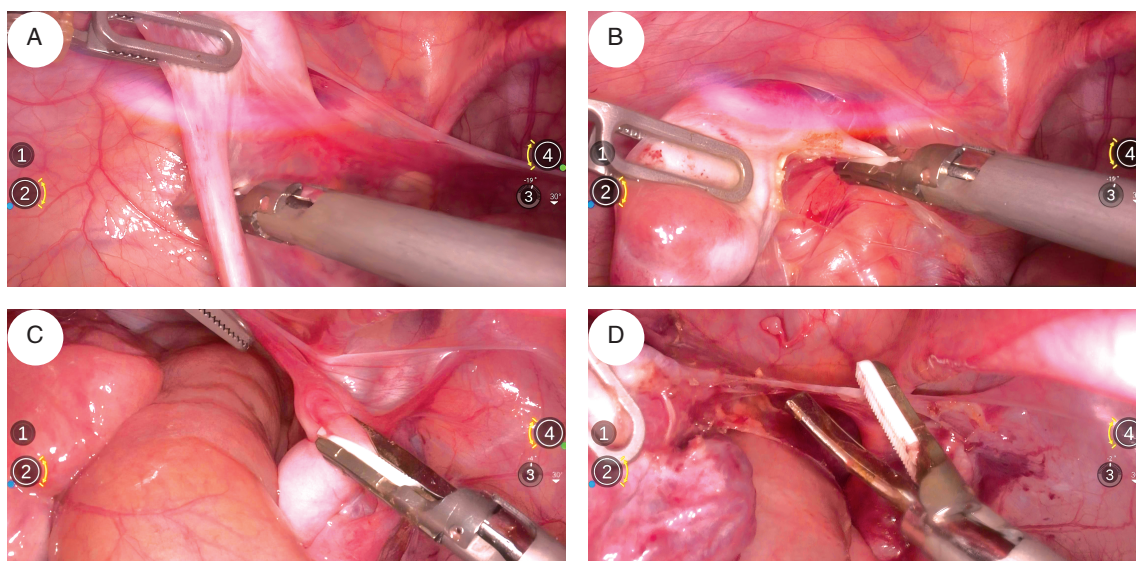


图3 双侧性腺切除操作过程

Figure 3 Key procedures of bilateral gonadectomy

注：A~B. 左侧性腺牵拉切除；C~D. 右侧性腺牵拉切除

国公司占据主导地位。2016 年以前，远程手术的实践主要限于国外。近几年来，得益于我国 5G 网络通信技术的迅猛发展，5G 通信技术下的远程机器人辅助手术发展十分迅速^[22]。在国内外，已有多例 5G 远程手术的成功报道^[23-25]。然而，在小儿外科领域 5G 远程手术的应用尚未报道。本次手术的成功不仅填补了这一空白，也为未来在小儿外科其他领域推广远程手术提供了宝贵的经验和参考。

得益于 5G 网络的迅猛发展以及在远程机器人辅助手术中的充分运用^[26-27]，此次手术利用国产手术机器人低延时主从控制、高带宽网络通信及高稳定性系统架构等方面的技术优势，成功克服了跨海信号传输的环境因素影响，全程未出现信号卡顿，将远程操作时间差控制在毫秒级，主刀医生与现场支持的手术团队实现了信息的实时交流。这不仅解决了医疗资源地理上分配不均及偏远地区看病难、看病贵的问题，也展示了 5G 网络技术在优化医疗资源分配方面的巨大潜力。

尽管初步结果是令人欣喜和满意的，但仍需要较大样本量的临床多中心研究来进一步论证本结论。目前将机器人辅助远程手术大规模

应用于临床，仍面临一些挑战：①由于远程手术为跨地域操作，需要远程主刀医生、本地助手医生和通信网络三者的协作，涉及的法律和伦理问题更加复杂，任何一方出现问题都可能影响手术的成功与患者的安全。因此，需要制定相关法律和规章制度明确各方的责任和义务，以处理远程手术中可能发生的医疗事故责任归属问题。尤其是在并发症发生或手术失败时，如何追责和赔偿是亟待解决的关键问题^[28]。

②目前，虽然 5G 网络可以提供高带宽和低延迟，但其稳定性和安全性问题仍不容忽视，手术过程中任何网络中断或数据包丢失都可能对患者造成严重影响。因此，提供通信服务的企业必须建立冗余网络系统和实时监测机制，确保远程手术具备足够的带宽和优先级，在任何情况下都能维持稳定的通信。此外，手术数据的保密性和完整性必须得到保障，以防止恶意攻击和数据泄露，企业应设计适用于 5G 网络的安全防护系统，保证手术过程中信息传输的绝对安全性^[29]。③医生的操控台需要进一步小型化，并与虚拟现实技术结合，构建便携式的虚拟手术操作系统和平台，使外科医生能够随时随地进行远程外科手术。当前的手术机器人系统通

常庞大且昂贵,限制了其在更多医疗场景中的应用。通过引入虚拟现实技术,可以提高手术的精确度和医生的操作体验。然而,这需要在软硬件方面进行大量的研发投入,包括更高精度的手术器械、更流畅的虚拟现实互动界面,以及更智能的手术辅助系统^[30-31]。④医生需要接受专门的培训以适应远程机器人辅助手术的新技术。这不仅包括操作机器人手术系统的技能,还需要掌握远程手术中特有的沟通与协调技巧,以及应对突发情况的能力^[32-33]。只有在技术、法律、安全和人力培训等方面都得到充分准备的情况下,5G 远程机器人辅助手术才能真正实现大规模应用,为医疗服务带来革命性的变化。

利益冲突声明: 本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明: 童国煜负责撰写文章,收集数据;张铁男、吴少峰负责文章修改;邹翔宇负责协助手术;陈少锋负责收集数据;李天霖负责收集数据,制作图表;孙杰负责手术操作,文章修改。

参考文献

- [1] 陈奎,张爱静,叶俊. 基于集聚度的我国医疗卫生资源配置均衡性研究[J]. 中国医疗管理科学, 2020, 10(5): 5-10.
- [2] 陆汉文,朱晓玲. 西藏偏远地区的脱贫道路与发展困境——以阿里地区一个贫困村为例[J]. 中国农业大学学报(社会科学版), 2020, 37(6): 113-119.
- [3] 王书平,时文馨,干颖滢,等. 我国偏远地区紧急医学救援体系构建及运行费用测算探索[J]. 中国卫生经济, 2022, 41(7): 12-15.
- [4] 黄亚新,王长青. 从失配到适配:农村医疗卫生服务可及性的逻辑转换[J]. 学海, 2022(5): 90-97.
- [5] TIAN W. Exploration and prospect of 5G application in telemedicine[J]. Zhonghua Wai Ke Za Zhi, 2020, 58(1): 1-4.
- [6] 王树新,刘玉亮,李进华,等. 腹腔镜微创手术机器人远程控制平台开发及实验[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2015, 48(12): 1041-1049.
- [7] 李爱民,李进华,李建民,等. 国产机器人妙手S系统远程手术实验研究[J]. 腹部外科, 2016, 29(6): 473-477.
- [8] 世界首例多点协同5G远程多学科机器人手术试验成功[J]. 信息系统工程, 2019(9): 2.
- [9] 我国成功完成世界首例5G远程操控颅脑手术[J]. 微创医学, 2019, 14(4): 402.
- [10] 王军强,赵春鹏,胡磊,等. 远程外科机器人辅助胫骨髓内钉内固定系统的初步应用[J]. 中华骨科杂志, 2006(10): 682-686.
- [11] 刘荣,赵国栋,孙玉宁,等. 5G远程机器人手术动物实验研究[J]. 中华腔镜外科杂志(电子版), 2019, 12(1): 45-48.
- [12] 中国“智造”出海获赞[J]. 微创医学, 2023, 18(4): 421.
- [13] 傅淑娜,潘宁萍,吴瑞瑾. 46,XY单纯性腺发育不全21例临床分析[J]. 现代妇产科进展, 2019, 28(3): 206-208,211.
- [14] 李雪艳,殷晓鸣,刘鑫,等. 41例46,XY性别发育异常临床诊治及基因筛查结果分析[J]. 临床小儿外科杂志, 2019, 18(3): 184-190.
- [15] 吕拥芬,李嫔. 《性发育异常的儿科内分泌诊断与治疗共识》解读[J]. 重庆医科大学学报, 2022, 47(3): 259-262.
- [16] Subspecialty Group of Endocrinologic, Hereditary and Metabolic Diseases, the Society of Pediatrics. Consensus statement on the diagnosis and endocrine treatment of children with disorder of sex development[J]. Zhonghua Er Ke Za Zhi, 2019, 57(6): 410-418.
- [17] Lee B R, Bishoff J T, Janetschek G, et al. A novel method of surgical instruction: international telementoring[J]. World Journal of Urology, 1998, 16(6): 367-370.
- [18] Micali S, Virgili G, Vannozzi E, et al. Feasibility of telementoring between Baltimore(USA)and Rome(Italy): the first five cases[J]. Journal of Endourology, 2000, 14(6): 493-496.
- [19] Cheah W K, Lee B, Lenzi J E, et al. Telesurgical laparoscopic cholecystectomy between two countries[J]. Surgical Endoscopy, 2000, 14(11): 1085.
- [20] Marescaux J, Leroy J, Gagner M, et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery[J]. Nature, 2001, 413(6854): 379-380.
- [21] 韩彩文,田宏伟,杜斌斌,等. 机器人辅助技术在普外科的应用现状和前景展望[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2020, 27(12): 1598-1603.
- [22] LI C, ZHENG J, ZHANG X, et al. Telemedicine network latency management system in 5G telesurgery: a feasibility and effectiveness study[J]. Surgical Endoscopy, 2024, 38(3): 1592-1599.
- [23] 李英忠. 基于5G医疗定制网的远程手术的实践与思考[J]. 电信科学, 2021, 37(11): 104-114.
- [24] YANG X, WANG Y, JIAO W, et al. Application of 5G technology to conduct tele-surgical robot-assisted laparoscopic radical cystectomy[J]. MRCAS, 2022, 18(4): e2412.
- [25] LI J M, YANG X C, CHU G D, et al. Application of improved robot-assisted laparoscopic telesurgery with 5G technology in urology[J]. European Urology, 2023, 83(1): 41-44.
- [26] Patel V, Saikali S, Moschovas M C, et al. Technical and ethical considerations in telesurgery[J]. Journal of Robotic Surgery, 2024, 18(1): 40.
- [27] LI C, ZHENG J, ZHANG X, et al. Telemedicine network latency management system in 5G telesurgery: a feasibility and effectiveness study[J]. Surgical Endoscopy, 2024, 38(3): 1592-1599.
- [28] 张泽平,李祖曦,乔吉灵,等. 5G远程机器人手术应用现状及前景[J]. 中国实用外科杂志, 2024, 44(7): 836-838,840.
- [29] 黄韵翰,周逢海,郭柏鸿. 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.
- [30] Chatterjee S, Das S, Ganguly K, et al. Advancements in robotic surgery: innovations, challenges and future prospects[J]. Journal of Robotic Surgery, 2024, 18(1): 28.
- [31] Knudsen J E, Ghaffar U, Ma R, et al. Clinical applications of artificial intelligence in robotic surgery[J]. Journal of Robotic Surgery, 2024, 18(1): 102.
- [32] 袁亦挺,梁霄. 机器人辅助胰十二指肠肠切除术的学习曲线研究[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2024, 5(1): 75-79.
- [33] 田东旭,牛海涛. 远程手术的发展历史及现状[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2022, 3(5): 343-350.

编辑: 崔明璐