

5G 远程机器人辅助结肠癌根治术一例报道并文献复习（附手术视频）



扫码观看视频

张文涛¹, 苗长丰¹, 狐鸣¹, 田宏伟¹, 蔡辉^{1, 2}, 詹渭鹏¹, 马云涛^{1, 2}

(1. 甘肃省人民医院普外科 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省肿瘤分子诊断与精准医学重点实验室 甘肃 兰州 730000)

摘要 **目的:** 评价国产手术机器人在5G远程条件下行结肠癌根治术的安全性及可行性。**方法:** 本中心在5G网络下完成1例远程机器人辅助结肠癌根治术, 结合本病例资料与相关文献进行讨论分析。**结果:** 手术过程顺利, 无网络中断或机器人相关不良事件发生。手术操作及手术画面无延迟, 最高延时 84.2 ms, 平均丢包率 0.01%, 总手术时间 250 min, 主从连接时间 7 min, 主从控制时间 108 min, 术中出血量 10 mL。**结论:** 5G 远程机器人辅助结肠癌根治术安全可行。

关键词 机器人辅助手术; 5G 网络; 结肠癌**中图分类号** R608 R656.6 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 01-0028-05

5G remote robot-assisted radical colectomy for colon cancer: a case report and literature review(with surgical video)

ZHANG Wentao¹, MIAO Changfeng¹, HU Ming¹, TIAN Hongwei¹, CAI Hui^{1,2}, ZHAN Weipeng¹, MA Yuntao^{1,2}

(1. Department of General Surgery, Gansu Provincial Hospital, Lanzhou 730000, China; 2. Key Laboratory of Molecular Diagnostics and Precision Medicine for Surgical Oncology in Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract **Objective:** To evaluate the safety and feasibility of domestic robot-assisted radical colectomy for colon cancer under 5G network. **Methods:** A case of domestic robot-assisted radical colectomy for colon cancer under 5G network was performed in Gansu Provincial Hospital. Clinical data of the case and relevant literature were reviewed and analyzed. **Results:** The surgery went smoothly, with no adverse events involving robots or network interruptions. There was no delay in surgical operations and surgical images, with the maximum delay of 84.2 ms and the average packet loss probability of 0.01%. The total operative time was 250 min, the master-slave connection time was 7 min, with the master-slave controlling time of 108 min, and the intraoperative blood loss of 10mL. **Conclusion:** 5G remote robot-assisted colon surgery is safe and feasible.

Key words Robot-assisted Surgery; 5G Network; Colon Cancer

近年来, 我国结直肠癌的发病率和死亡率呈 尤其是 60 岁以后发病率显著提高^[2]。目前, 结 逐渐上升趋势^[1], 主要发病年龄集中于 60~74 岁, 直肠癌根治术是治疗结直肠癌的主要方法之一。

基金项目: 甘肃省自然科学基金 (22JR85RA663); 国家卫健委重点实验室专项 (ZX-62000001-2022-058); 甘肃省科技计划 (联合科研基金) 项目 (24JRRA885); 甘肃省人民医院院内基金 (ZX-62000001-2022-364); 甘肃省人民医院科研创新平台基金 (ZX-62000001-2021-258)

Foundation Item: Natural Science Foundation of Gansu Province (22JR85RA663); Key Laboratory Special Project of National Health Commission (ZX-62000001-2022-058); Science and Technology Plan (Joint Research Fund) Project of Gansu Province (24JRRA885); In-house Fund of Gansu Provincial Hospital (Education and Teaching Cultivation Project) (ZX-62000001-2022-364); Scientific Research and Innovation Platform Fund of Gansu Provincial Hospital (ZX-62000001-2021-258)

通讯作者: 马云涛, Email: YuntaoMa2018@126.com**Corresponding Author:** MA Yuntao, Email: YuntaoMa2018@126.com

引用格式: 张文涛, 苗长丰, 狐鸣, 等. 5G 远程机器人辅助结肠癌根治术一例报道并文献复习 (附手术视频) [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6 (1): 28-32.

Citation: ZHANG W T, MIAO C F, HU M, et al. 5G remote robot-assisted radical colectomy for colon cancer: a case report and literature review(with surgical video)[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(1): 28-32.

随着外科器械及能量平台等的发展，微创技术也越来越成熟。与以往开腹手术相比，腹腔镜手术具有切口小，术后疼痛轻，患者术后恢复快等优势，有助于降低手术相关的应激反应及术后并发症^[3-5]。然而，腹腔镜技术仍存在较多的局限，如狭小空间内操作灵活度不够，器械活动受限等，特别是在进行复杂位置的血管游离及解剖时。

机器人手术系统具有 3D 高清视野、机械手臂操作灵活且可以过滤人手震颤和抖动等技术优势，有助于提高手术的精确性并降低手术难度^[6-8]。Byrn J C 等人^[9]的研究指出，即使术者的临床经验和机器人手术操作经验不足，采用机器人手术系统也能够缩短手术时间（34%~46%），降低失误的发生率（44%~66%）和组织的意外损伤率。机器人手术系统不仅能够实现解剖的精细化，还能为远程手术的开展提供基础。Marescaux J 等人^[10]于 2001 年报道了首例真正意义上的远程手术，但国内相关研究起步相对较晚^[11-12]。目前，国内尚无远程机器人辅助结肠癌根治术的报道。本例远程机器人辅助右半结肠癌根治术取得了满意的疗效，现结合相关文献报道进一步探讨为结直肠癌患者行远程机器人辅助结直肠癌根治术的可行性。

1 临床资料

患者，男，70 岁。入院前 2 个月无明显诱因出现全身乏力，休息后可缓解，入院前 4 d 就诊于当地医院行肠镜等相关检查及检验，考虑结肠肿物，中度贫血。入院时化验结果显示：血红蛋白 61 g/L，红细胞比容 18.4%，白细胞 $2.8 \times 10^9/L$ ，血小板 $79 \times 10^9/L$ ，癌胚抗原 1.24 ng/mL，甲胎蛋白 1.85 ng/mL；外院行肠镜活检，病理提示：升结肠中分化腺癌。患者于 2023 年 9 月 2 日来我院就诊。入院后完善全腹增强 CT 提示：肝囊肿、前列腺增大、盆腔积液；行肿瘤相关血液检查，未见异常。完善术前相关检查，改善贫血状态，患者各项指标均符合手术指征，排除手术禁忌证后于 2023 年 9 月 15 日在全身麻醉下行 5G 远程机器人辅助结肠癌根治术。

2 方法

2.1 手术设备 手术采用国产图迈[®]机器人手术系统，1 号臂接主操作孔，2 号臂接观察孔，3 号臂接辅助孔，加 1 助手。本地医生控制台位于甘肃省人民医院（本部），远程医生控制台及其他设备位于甘肃省人民医院新区分院。通过 5G 切片专用无线网络和 5G 客户端设备（Customer Premise Equipment, CPE）实现医生操控台与 70 km 外的患者手术台之间的连接（如图 1）。远程机

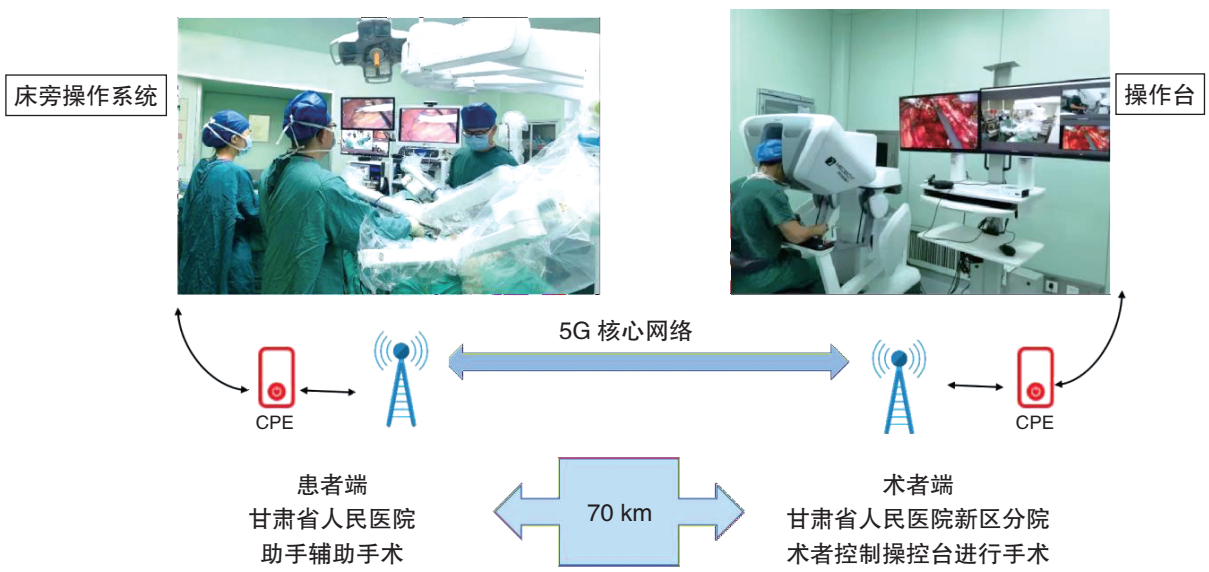


图 1 远程机器人手术示意图
Figure 1 Schematic diagram of remote robot-assisted surgery

器人主、从控制器, 受控端机器人手术平台, 图像平台, 5G 网络信号及其相关设备调试完成后进行测试, 测试结束后进行机器人辅助右半结肠癌根治术。5G 网络由中国电信(中国北京)和华为技术有限公司(中国深圳)提供和建立。

2.2 手术程序 于脐下缘行 10 mm 切口作为观察孔, 左锁骨中线与肋缘下 5 cm 交点处做 12 mm 切口作为主操作孔, 双侧锁骨中线上分别置入 5 mm Trocar 做辅助孔(如图 2)。依次探查腹腔, 升结肠近回盲部可见大小约 3 cm × 2 cm 肿物, 未浸透全层, 其余腹腔未见转移病灶。首先从内侧右结肠系膜开始, 游离出回结肠动静脉并行结扎、离断。由此进入 Toldt 间隙, 逐步分离出结肠中血管的起始部, 再次向右解剖游离至回肠系膜末端。将横结肠向尾侧牵引, 由胃结肠韧带开始, 解剖分离至十二指肠, 由下至上打开侧腹膜, 与分离的 Toldt 间隙相贯通。将小肠牵引至右上方, 保证右输尿管和右侧性腺血管的安全, 完全游离右侧血管。取下腹正中切口约

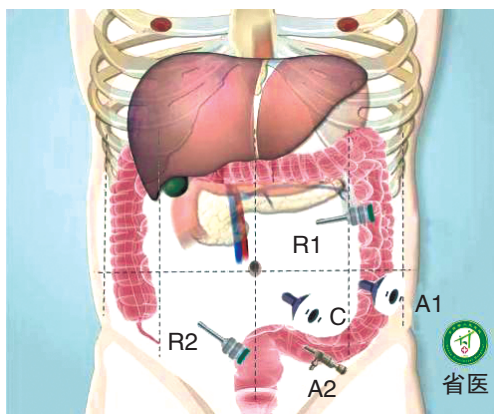


图 2 手术 Trocar 布局
Figure 2 Trocar layout

5 cm, 使用切口保护器保护切口, 将右半结肠提出。行回肠-横结肠侧侧吻合, 再次检查吻合口通畅, 血运良好。加固吻合口, 蒸馏水冲洗腹腔, 沿右结肠旁沟及盆腔放置硅胶引流管, 自右侧 Trocar 切口引出。检查术区无可见活动性出血, 清点敷料及器械无误后, 2-0 PDS 线连续缝合腹膜、腹直肌前鞘, 4-0 可吸收线间断缝合皮下脂肪及皮肤。伤口贴覆盖伤口, 术毕(如图 3)。

2.3 结果 手术过程顺利, 5G 网络信号稳定, 下载网速 178.52 Mbps, 上传速率 103.61 Mbps, 最大延迟 84.20 ms, 最小延迟 31.11 ms, 术者操作无延迟感, 手术画面清晰流畅无卡顿, 且两地主刀与助手的交流通畅、无延迟, 无网络中断或机器人相关不良事件的发生。平均主-从切换时间 4 s, 全程切换 3 次, 平均丢包率 0.01%。总手术时间为 250 min, 装机时间及消毒时间为 28 min, 主从连接时间为 7 min, 主从控制时间 108 min, 体外吻合及关腹时间为 76 min, 术中出血 20 mL, 术后 2 d 下地活动, 术后 5 d 经口进食, 术后 7 d 拔出腹腔引流管, 术后 9 d 康复出院, 出院 15 d 返院行第一次化疗。围术期无手术相关并发症发生。术后病理提示: ①右半结肠癌, 隆起型, 中分化腺癌, 癌组织侵及肠壁固有肌浅层, 可见肿瘤出芽(低级别), 上、下切缘及侧切缘均未见癌组织累计, 淋巴结未见转移(0/28); ②阑尾未见癌组织累及(pT₂N₀M₀), P53(错义突变型表达), CgA(-), Syn(-), CD56(-), Her-2(1+), CDX-2(+), MLH1(+), PMS2(+), MSH2(+), MSH6(+), Ki-67(index70%)。

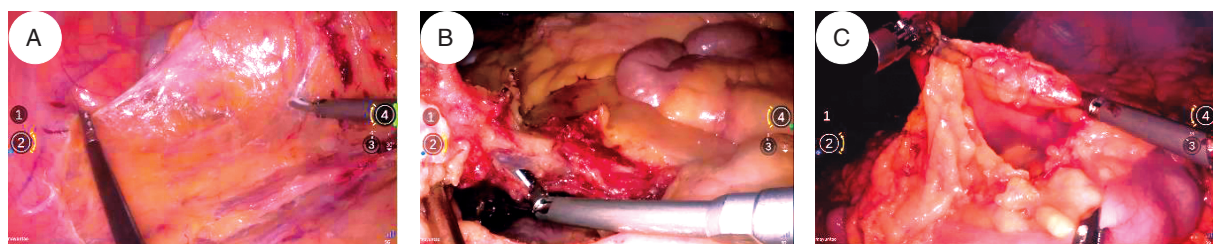


图 3 关键手术步骤
Figure 3 Key surgical procedures

注: A. 游离 Toldt 间隙; B. 离断回结肠血管; C. 离断胃结肠韧带

3 讨论

远程机器人手术是现代科技与临床外科融合发展的结果，其打破了地域和时间的限制，有助于促进医疗资源的下沉，为更多基层患者带来获益^[13]。5G 远程机器人手术在医疗资源整合方面有巨大潜力，可以实现医疗资源的远程共享、跨地区的医疗合作、医疗培训及教育，同时也降低了患者转运的风险，减少就医成本^[13-16]。

本团队顺利完成首例 5G 远程机器人辅助右半结肠癌根治术，实现了 5G 远程机器人手术又一新的突破。在完成该研究之前，本团队驾驶装备了国产图迈[®]手术机器人的中国卫生医疗救援车，完成了“丝路之光”项目。从 2022 年 8 月 20 日开始，历时 15 d，行驶约 3000 km，通过在兰州新区、武威、嘉峪关、酒泉市和金塔县等多地医院、多种气候环境、不同海拔地区的户外演示、远程动物手术操作以及离体标本的剥离等手术模拟操作，证实了 5G 远程机器人手术在复杂的地域环境中安全可行。

国外早在 2001 年报道完成相距 7000 km 的远程胆囊手术，即著名的“Charles Lindbergh 手术”^[10, 17]，该研究使用海底电缆专线网络进行信号传递，信号传输稳定，网络延迟较低，但由于海底电缆耗资巨大，人力、物力花费高，准备周期过长，后期再无新的研究报道。

国内诸多团队也曾探索了 5G 远程机器人手术的研究。2019 年刘荣团队^[18]进行了 5G 信号下远程机器人手术的动物实验，该研究使用国产康多机器人手术系统，借助 5G 网络互联，主刀医师，间隔距离 50 km 进行动物手术，对远程机器人手术的稳定性和安全性进行了测试、分析。同年，中国人民解放军总医院为 1 例帕金森病患者进行了世界首例远程“脑起搏器”植入术^[19]，并于当年完成了首例 5G 远程国产骨科机器人手术。YANG X C 等人^[20]应用国产 MicroHand 机器人手术系统完成了首例远程膀胱癌根治术，患者术后恢复良好。这些手术的成功开展都是远程手术进一步发展的基础。

就目前国内远程机器人手术的发展来看，

5G 通信技术具有高宽带、低延时等优点，足以满足当下远程机器人手术的需求^[21-22]，同时也是整个手术过程中最为重要的一部分。随着国产机器人的大力发展，运动控制系统的精准度极大提高^[23]。本研究中采用物联网卡技术，手术过程中最大延迟 84.20 ms，平均丢包率 0.01%，说明当期的 5G 网络技术完全能够满足远程机器人手术需求。

本研究按结肠癌淋巴清扫标准完成了全国首例 5G 远程机器人辅助结肠癌根治术，两地相距 70 km，采用国产图迈[®]手术机器人系统（MT1000），使用中国电信 5G 专用网络进行远程手术，术中延迟时间波动在 20~100 ms，术中操控医师延迟感不明显。Xu S 等人^[24]的研究也曾表明 200 ms 以下的时延为远程手术理想状态，将延迟放宽到 200~300 ms 不会影响手术顺利完成，而更高的网络时延则会影响手术操作的精度和安全性，甚至无法进行正常操作。如今，在 5G 网络全域覆盖的情况下，相信远程手术会更加稳定安全，比铺设电缆专线更省时、省力，且无额外费用的产生^[25-27]。

目前，远程机器人手术的开展面临多方面的困难，如网络延迟和断线、网络数据传输的安全性和隐私保护等^[28-29]。笔者中心首次采用物联网卡技术实现设备之间的连接和数据传输，物联网卡具备多重加密和认证机制，有助于保障数据传输的安全性。前期开展的 5G 远程动物实验数据显示平均双向网络延迟为 63.7 ms，对术者操作影响较小。然而，远程机器人手术仍处于起步阶段，对于手术操作及实施缺乏统一的标准及规范^[30]。

相信随着 5G 远程机器人手术的不断发展，当前医疗资源区域分布不平衡的问题将得到有效解决，且远程手术会诊有助于减少手术风险，带动下级医院医疗技术的提高，逐渐实现医疗水平的同质化，减轻患者异地就医所带来的经济负担^[9]。同时，患者对医生的选择也跨越了地域的限制，实现及时的术中会诊和高质量的手术治疗，提高患者对手术的满意度。

利益冲突声明: 本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明: 张文涛负责设计论文框架, 起草论文; 苗长丰、狐鸣、田宏伟、詹渭鹏均参与该项目具体操作及研究过程的实施, 论文修改; 蔡辉、马云涛负责拟定写作思路, 指导撰写文章并最后定稿。

参考文献

- [1] LI N, LU B, LUO C Y, et al. Incidence, mortality, survival, risk factor and screening of colorectal cancer: A comparison among China, Europe, and northern America [J]. Cancer Letters, 2021. DOI: 10.1016/j.canlet.2021.09.034.
- [2] Chen W Q, Zheng R S, Baade P D, et al. Cancer statistics in China, 2015 [J]. CA Cancer J Clin, 2016, 66(2): 115-132.
- [3] Shibata J, Ishihara S, Tada N, et al. Surgical stress response after colorectal resection: a comparison of robotic, laparoscopic, and open surgery [J]. Techniques in Coloproctology, 2015, 19(5): 275-280.
- [4] Chopra S S, Haacke N, Meisel C, et al. Postoperative immunosuppression after open and laparoscopic liver resection: assessment of cellular immune function and monocytic HLA-DR expression [J]. JSLS, 2013, 17(4): 615-621.
- [5] Veenhof A A, Vlug M S, van der Pas M H, et al. Surgical stress response and postoperative immune function after laparoscopy or open surgery with fast track or standard perioperative care: a randomized trial [J]. Annals of surgery, 2012, 255(2): 216-221.
- [6] 韩晓光, 张琦, 何达. 远程医疗机器人手术研究进展 [J]. 邵阳学院学报 (自然科学版), 2022, 19(5): 103-107.
- [7] 郭进, 苏河, 马云涛. 国产图迈手术机器人 5G 信号 + 远程动物手术时主刀医师心理压力的调查与分析 [J]. 中国普外基础与临床杂志, 2023, 30(10): 1205-1209.
- [8] 冯青阳, 许剑民. 机器人结直肠癌手术中国专家共识 (2020 版) 解读 [J]. 临床外科杂志, 2021, 29(5): 405-408.
- [9] Byrn J C, Schluender S, Divino C M, et al. Three-dimensional imaging improves surgical performance for both novice and experienced operators using the da Vinci Robot System [J]. American Journal of Surgery, 2007, 193(4): 519-522.
- [10] Marescaux J, Leroy J, Gagner M, et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery [J]. Nature, 2001, 413(6854): 379-380.
- [11] 王楠, 李立安, 杨雯, 等. 5G 远程机器人妇科手术初步临床实践与评价 [J]. 中华腔镜外科杂志 (电子版), 2024, 17(3): 168-172.
- [12] 李松岩, 闻巍, 戴飞翔, 等. 超远程手术机器人辅助直肠癌根治术临床初步研究 [J]. 中国实用外科杂志, 2024, 44(3): 308-311.
- [13] 冯源康, 史惠惠, 李阳阳, 等. 5G 通信技术在机器人手术中的应用 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2024, 5(5): 986-990.
- [14] 梁霄, 蔡秀军. 5G 远程医疗机器人手术的现状和展望 [J]. 中华消化外科杂志, 2024, 23(4): 554-560.
- [15] 周翔, 王家寅, 朱祥, 等. 超远程 5G 机器人辅助腹腔镜下精索静脉曲张高位结扎术 2 例报道及文献复习 [J]. 中华男科学杂志, 2022, 28(8): 696-701.
- [16] 徐立, 郭卫星. 远程手术机器人系统的应用发展现状 [J]. 中华肝胆外科杂志, 2024, 30(3): 228-332.
- [17] Clayman R V. Transatlantic robot-assisted telesurgery [J]. The Journal of Urology, 2002, 168(2): 873-874.
- [18] 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.
- [19] 田伟. 5G 技术应用于远程医疗的探索与展望 [J]. 中华外科杂志, 2020, 58(1): 1-4.
- [20] YANG X C, WANG Y H, JIAO W, et al. Application of 5G technology to conduct tele-surgical robot-assisted laparoscopic radical cystectomy [J]. Int J Med Robot, 2022, 18(4): e2412.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 张葛. 基于运动控制器的微创手术系统设计与实现 [J]. 中国数字医学, 2014, (3): 60-62.
- [24] Xu S, Perez M, Yang K, et al. Determination of the latency effects on surgical performance and the acceptable latency levels in telesurgery using the dV-Trainer® simulator [J]. Surgical Endoscopy, 2014, 28(9): 2569-2576.
- [25] 田禹, 黄佳, 李剑涛, 等. 5G 远程机器人辅助胸腔镜下肺叶切除的动物实验研究 [J]. 2023, 30(8): 1112-1115.
- [26] ZHENG J L, WANG Y H, ZHANG J, et al. 5G ultra-remote robot-assisted laparoscopic surgery in China [J]. Surg Endosc, 2020, 34(11): 5172-5180.
- [27] WANG Y, AI Q, ZHAO W Y, et al. Safety and reliability of a robot-assisted laparoscopic telesurgery system: expanding indications in urological surgery [J]. Eur Urol, 2024, 85(5): 506-507.
- [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]. 2024, 44(7): 836-838.
- [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 (中英文), 2024, 24(2): 138-142.
- [30] 张旭, 李宏召, 王野. 远程外科面临的机遇与挑战 [J]. 中华外科杂志, 2024, 62(1): 27-30.

收稿日期: 2024-08-28

编辑: 刘静凯

编后语 5G 技术的蓬勃发展为医疗领域带来了前所未有的变革, 其中 5G 远程机器人手术更是成为了令人瞩目的焦点。

从技术层面而言, 5G 网络的高速率、低延迟和高带宽特性, 为远程机器人手术提供了稳定且高效的通信保障, 使医生能够突破地域限制, 远程操控手术机器人进行精细的手术操作。在一些医疗资源分布不均的地区, 患者可以借助这一技术享受到来自远方顶尖医疗团队的服务, 这无疑是医疗公平性的巨大进步。

从医疗效果来看, 机器人手术本身具有精准度高、稳定性强等优势, 再结合 5G 网络的优势, 能进一步保障远程手术的效果。然而, 我们也要清醒地认识到, 这项技术仍面临诸多挑战。例如, 网络安全问题需要严密防范, 以确保手术过程不被恶意干扰; 医疗法规和伦理准则也需要与时俱进, 以规范 5G 远程机器人手术的应用范围和操作流程。

未来, 我们期待看到 5G 远程机器人手术在更多领域的应用, 也希望科研人员、医疗工作者以及政策制定者能够携手合作, 不断优化技术、完善法规, 让这一技术更好地造福患者, 为医疗健康事业开辟新的篇章。这不仅是技术的进步, 更是人类在追求健康与生命质量道路上的重要里程碑。