

## 5G 远程机器人手术的应用现状及展望

景武堂<sup>1,2</sup>, 万浩浩<sup>1</sup>, 苗长丰<sup>1</sup>, 陈东东<sup>1</sup>, 许永成<sup>1</sup>, 李惠民<sup>1</sup>, 柳利利<sup>1</sup>, 蔡辉<sup>1,3</sup>,  
马云涛<sup>1,2,3</sup>, 杨婧<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃省人民医院普外科 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省人民医院机器人外科中心 甘肃 兰州 730000;  
3. 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** 第五代通信技术的商业化应用为远程机器人手术的安全性和有效性提供了保证。远程机器人手术能够为需要机器人手术治疗的患者提供远程医疗服务, 缓解偏远地区优秀外科医生短缺的现状, 使偏远落后地区患者享受到优质医疗资源, 提高患者就医满意率。另外, 通过远程指导当地缺乏专业知识的外科医生, 有助于提高其临床诊疗水平。本文针对国内外机器人远程手术的应用现状、潜在挑战和局限性等方面进行讨论, 并对 5G 远程机器人手术的前景进行了展望。

**关键词** 远程手术; 5G 通信技术; 机器人辅助手术; 远程医疗; 协同诊疗

**中图分类号** R608 R616 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 01-0001-05

### Current status and prospects of 5G remote robot-assisted surgery

JING Wutang<sup>1,2</sup>, WAN Haohao<sup>1</sup>, MIAO Changfeng<sup>1</sup>, CHEN Dongdong<sup>1</sup>, XU Yongcheng<sup>1</sup>, LI Huimin<sup>1</sup>,  
LIU Lili<sup>1</sup>, CAI Hui<sup>1,3</sup>, MA Yuntao<sup>1,2,3</sup>, YANG Jing<sup>1,2</sup>

(1. Department of General Surgery, Gansu Provincial Hospital, Lanzhou 730000, China; 2. Center of Robotic Surgery, Gansu Provincial Hospital, Lanzhou 730000, China; 3. Key Laboratory of Molecular Diagnostics and Precision Medicine for Surgical Oncology in Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

**Abstract** The commercialization of 5G technology at the present stage has ensured the safety and effectiveness of remote robot-assisted surgery. Telesurgery allows patients in remote areas to access high-quality medical resources, alleviates the shortage of excellent surgeons in remote areas, enables patients in remote and backward areas to share high-quality medical resources, and improves patients' satisfaction rate. Additionally, remote guidance is provided for local surgeons who lack professional expertise, thereby enhancing clinical diagnosis and treatment capabilities. The current status, potential challenges, and limitations of 5G remote robot-assisted surgery at home and abroad were reviewed in this paper, and the future development was prospected.

**Key words** Telesurgery; 5G Communication Technology; Robot-assisted Surgery; Telemedicine; Collaborative Diagnosis and Treatment

随着外科微创理念<sup>[1]</sup>的提出, 外科手术由 发生了巨大的变化, 而手术机器人的应用使微创传统开腹手术发展到腔镜技术, 使得外科领域 微创外科的发展达到了一个新高度。随着越来越

**基金项目:** 甘肃省自然科学基金 (22JR85RA663, 20JR10RA378); 甘肃省科技计划 (联合科研基金) 项目 (24JRRA885); 甘肃省人民医院内科研基金项目 (21GSSYB-5, 22GSSYC-15)

**Foundation Item:** Natural Science Foundation of Gansu Province (22JR85RA663, 20JR10RA378); Science and Technology Plan (Joint research fund) Project of Gansu Province (24JRRA885); Scientific Research Funding Project of Gansu Provincial Hospital (21GSSYB-5, 22GSSYC-15)

**通讯作者:** 马云涛, Email: 3575515665@qq.com; 杨婧, Email: 21634604@qq.com

**Corresponding Author:** MA Yuntao, Email: 3575515665@qq.com; YANG Jing, Email: 21634604@qq.com

**引用格式:** 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.

**Citation:** JING W T, WAN H H, MIAO C F, et al. Current status and prospects of 5G remote robot-assisted surgery [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(1): 1-5.

**注:** 景武堂, 万浩浩为共同第一作者

**Co-first author:** JING Wutang, WAN Haohao

多的医疗机构引入机器人手术系统，机器人手术也逐渐被人们熟知和接受。随着技术的更新迭代，远程机器人辅助手术已成为可能。国内优势医疗资源主要集中于省会城市或区域中心城市，尤其是造价昂贵且对外科技术要求较高的机器人手术系统，县域偏远农村地区基本上无法实现装机和人员配置。对于有意愿接受机器人辅助手术治疗的患者，也会因交通费用及通勤时间的增加而加重医疗负担。5G 通信技术的发展解决了困扰远程机器人手术发展缓慢的核心问题——网络延迟，使远程医疗多领域应用的安全性和有效性得到了保证。随着 5G 网络在国内的广泛部署，跨越时空的远程手术已成为现实。本综述针对 5G 通信技术下开展远程机器人手术的现状、潜在挑战及局限性进行了讨论，并对其未来发展进行了展望，以期对远程机器人手术的临床研究提供方向和参考。

## 1 机器人手术系统的发展现状

手术机器人最早可追溯至 20 世纪 80 年代。Arthrobot 机器人于 1983 年应用骨科手术，但需要两人协助，操作过程复杂且耗时较长<sup>[2]</sup>。1985 年，美国 PUMA 560 机器人在 CT 引导下完成了 1 例脑组织样本活检的机器人手术，其前身为 PUMA200 工业机器人，经过升级而首次应用于外科手术<sup>[3]</sup>。直到 90 年代，手术机器人得到更好的改良，其发展进入新阶段，如用于髋关节置换手术的 ROBODOC 机器人<sup>[4]</sup>；1997 年由 Computer Motion 公司生产的 AESOP（自动优化内镜定位系统）机器人系统通过语音和脚踏控制，是美国 FDA 批准的第一个用于腹腔手术的机器人<sup>[5]</sup>。在远程控制及远程呈现技术的支持下，Computer Motion 公司于 1998 年在此基础上研发出第三代机器人手术系统 Zeus，它可由一位医生单独操作，成为真正意义上可远程控制的手术机器人<sup>[6]</sup>。美国 Intuitive Surgical 公司生产的达芬奇系列手术机器人是目前最成功且应用最广泛的手术机器人<sup>[7]</sup>，其在 1999 年获得了欧盟 CE 市场的认证后，2000 年又被美国 FDA 正式批准应用于临床<sup>[8]</sup>。相比于腹腔镜手术，达芬奇机器人手术系统在暴露术野、操作稳定性等方面优势明显<sup>[9]</sup>。目前，达芬奇机器人手术系统

已被广泛应用于外科领域，包括泌尿外科、普通外科、心胸外科、妇科等<sup>[10]</sup>。2007 年，达芬奇手术机器人在全球全年度共完成约 9 万例手术，2010 年已达到约 28 万例，2013 年约 55 万例，其增长势头迅猛<sup>[7]</sup>。自 2006 年国内首次引进达芬奇机器人手术系统以来，机器人手术量也在逐步上升。随着市场份额缺口的增大，手术机器人行业也迎来新的发展机遇，国内相关研究不断推进。2014 年，由天津大学、中南大学等机构共同参与并自主研发生产的第一台国产手术机器人首次应用于临床<sup>[11]</sup>，1 例胃穿孔合并弥漫腹膜炎患者和 2 例阑尾炎患者应用该机器人进行了手术，3 例患者术程顺利，术后恢复良好。作为第一台国产手术机器人，它打破了国外手术机器人的垄断局面，具有特殊的意义。国内自主研发的精锋<sup>®</sup>手术机器人在泌尿外科及妇科先后进行了多中心的随机对照临床试验，标志着我国完全自主研发生产的医疗手术机器人系统已经开始临床应用<sup>[12]</sup>。近几年，国产手术机器人产业发展迅速，并不断更新换代。2019 年，国产妙手 S 手术机器人完成临床试验，其回顾性分析结果已初步证明了国产腹腔镜机器人的可靠性及安全性<sup>[13]</sup>，且已在 2023 年 6 月 14 日取得医疗器械注册证。微创医疗的图迈<sup>®</sup>手术机器人也已经通过注册申请，在完成多中心的 II 期临床试验后，已于 2022 年 1 月 27 日获批上市。在骨科机器人领域，以天智航的天玑<sup>®</sup>骨科手术机器人为代表，已在国内多家医疗机构完成万余例机器人手术。手术机器人市场的蓬勃发展，形成了以腹腔镜机器人为主、骨科手术机器人为辅，其他类型的手术机器人（如经自然腔道机器人、泛血管机器人等）多元发展的局面<sup>[9]</sup>。在未来，相信会有更多的国产手术机器人应用于外科临床及 5G 远程手术领域。

## 2 国内外应用现状

网络通信技术和医疗设备的改良升级为远程机器人手术的发展提供了技术支持。2001 年有研究者<sup>[14]</sup>首次在超过 14 000 km 的超远程距离下成功完成了 1 例人体胆囊切除术，网络平均延迟 155 ms，作为世界上首例人体远程机器人手术，它开创了远程医疗新纪元。由

于此网络连接线路安置需要耗费巨大的人力及财力，未能纳入后续的临床实践。2008年，美国医生使用达芬奇机器人手术系统进行了远距离猪肾切除术<sup>[15]</sup>，动物位于加利福尼亚州桑尼维尔，外科医生则位于不同的地点，通过有线互联网连接以平均5 Mbps左右的速度传输数据，但整体上平均延迟较高，可视化效果较差。自远程手术里程碑事件以来，由于网络通信系统的局限性，远程机器人手术的发展较为缓慢。数据传输速度是执行长距离远程数据的主要障碍，而往返的网络延迟普遍较高，使得远程机器人手术的实时性、安全性无法得到保障。后续研究逐渐关注于手术机器人的改进、通信技术传输效率及稳定性的提高，并不断探索和优化远程机器人手术的网络方案。5G通信技术的出现，使得远程机器人手术和通过5G网络进行远程手术指导成为现实。相比于以往的网络方案，5G通信技术具有超过10 Gps的数据传输速度，更大的连接容量和连接密度，更低的时延等特点<sup>[16]</sup>，可以满足万物互联、高清视频通讯的带宽需求和实时通讯的需求。以往远程医疗应用场景大多是基于视频连线的医疗会诊、健康咨询、远程监护等<sup>[17-18]</sup>，尚未进入远程手术等具有侵入性操作的领域。2018年12月，解放军总医院刘荣等人<sup>[19]</sup>进行了国际上第一次5G远程手术动物实验，医生通过操作机械臂，顺利完成猪的肝脏楔形切除，总耗时约1 h，出血约5 mL，术中影像及音频传输快速稳定，手术机器人主从一致性良好，未发生误操作，平均延迟时间<150 ms。其结果初步验证了5G远程国产机器人手术技术的可行性，对远程机器人手术的发展具有重要的现实指导意义。随着5G移动通信技术的逐步商用化，远程机器人手术取得了更大的突破。从2019年开始，国内外远程机器人手术的临床应用研究逐步增加。2019年2月27日，西班牙巴塞罗那医疗团队首次通过5G技术远程指导直肠肿瘤切除手术，并在世界移动大会上进行了直播<sup>[20]</sup>。2020年，意大利米兰的一位医生使用Frank Panda机器人结合5G网络技术，对远隔约15 km的尸体进行了显微外科手术，成功地切除了尸体的声带，术程中平均延迟为

102 ms，最大延迟为280 ms<sup>[21]</sup>。同年9月，青岛大学附属医院牛海涛团队利用5G网络技术结合国内自主研发的手术机器人为远隔3000 km外的男性膀胱癌患者实行了根治性切除术<sup>[22]</sup>，术者精准复现操作端的手术操作，完整地切除了肿瘤病灶，成功实现了5G远程手术从动物实验到人体手术的跨越，成为国内远程医疗领域中的另一里程碑事件。在此基础上，该研究团队不断进行新的尝试，对来自不同基层医院的患者开展了远程机器人辅助肾癌根治性手术。远程控制室和手术室之间的总延迟仅为200 ms，证实了5G远程手术治疗肾肿瘤患者的安全性、有效性及可行性<sup>[23]</sup>。北京积水潭医院脊柱外科团队利用5G远程骨科手术机器人对12例患者进行了远程机器人手术治疗，也取得了令人满意的结果，同时其过程还涉及一站对多地的脊柱手术，即通过北京积水潭医院主控室对不同地区手术室的患者进行交替手术和指导<sup>[24]</sup>。相比于腔镜机器人，骨科手术机器人更注重手术解剖定位的精准性。研究显示，在脊柱外科手术方面，应用骨科手术机器人进行手术比徒手操作具有更高的精确性及稳定性<sup>[25]</sup>。通信技术的进步，也在不断增加更远距离的尝试。2022年，江苏省人民医院泌尿外科联合新疆克州医院进行超远距离的机器人手术试验<sup>[26]</sup>，两地直线距离超过3800 km，使用国产图迈<sup>®</sup>腔镜机器人完成了2例精索静脉曲张高位结扎术，手术时长分别为45 min和40 min，出血量<5 mL，术中平均双向网络延迟为130 ms，平均连续丢包率1.4%，术中未发生网络不良事件。2023年，浙江大学医学院附属邵逸夫医院普外科团队也在超远距离下完成了远程机器人辅助胆囊切除和肝脏部分切除术，最远距离达5500 km<sup>[27-28]</sup>，实现了远程机器人在肝胆外科零的突破。甘肃省人民医院机器人手术团队利用无人机组网技术与5G网络相结合，建立了国内首个脱离医院真实环境的远程手术体系并成功完成了5G远程手术动物实验，为未来复杂手术环境及野外救援等奠定了技术基础和发展方向<sup>[29]</sup>。除此之外，在妇科以及胸外科领域，也有研究团队不断开展远程机器人手术<sup>[30-31]</sup>。得益于国产手

术机器人的进步和 5G 网络的优越性, 机器人远程手术在我国外科领域已形成百花争艳的发展局面。以上的研究证明了在远距离的条件下, 基于 5G 通信技术进行机器人外科手术是安全可行的。目前多链路聚合传输技术是远程机器人手术中较为成熟且广泛使用的网络方案, 可以保证远程手术的数据传输能力<sup>[32]</sup>。现如今, 基层医院对远程医疗服务的需求普遍增加, 患者付费意愿和能力都很强。分级医疗是近年来国家医疗改革的重要方向, 但由于无法解决民众对基层医疗卫生机构缺乏信心的问题和各级医疗卫生机构之间的利益分配问题, 分级医疗卫生改革的实际效果有限<sup>[33]</sup>。对于偏远的基层地区, 除了优秀外科医生的人力资源短缺外, 经济因素导致的设备及技术的落后也是极其重要的因素, 并且在基层医疗机构机器人手术的发展受限并非因为被忽视, 而是因为昂贵的机器人系统设备及通讯技术限制了远程机器人手术的落地。有数据显示, 截至 2021 年底, 大约有 80% 机器人手术系统安装于一线城市及省会城市的三甲医院中<sup>[34]</sup>。随着手术机器人的国产化, 机器人手术系统的引进费用有望进一步降低, 并将在基层医疗保健机构逐渐普及, 远程机器人手术的开展将越来越广泛。同时, 通过远程手术培训和指导, 有助于提高当地医生专业水平, 增强人们对初级医疗机构的信心。

### 3 潜在挑战与局限性

尽管 5G 移动通信技术的发展使网络延迟和传输稳定性得到了很大改善, 机器人手术系统比以往的外科手术平台具有更多的优势, 但受国内区域经济差异、相关法律法规和医保制度改革的影响, 机器人远程手术发展比较缓慢, 这主要是基于以下 3 个方面。

**3.1 网络安全性** 网络数据传输的安全性及信息私密性也是重要的方面, 患者在实行机器人手术时, 全过程接入互联网中。然而, 若出现网络不良事件则会导致操作者操作失误的概率增加, 如网络延迟问题导致的手术时间延长、机械臂不受控制等, 这会增加患者受到手术损伤的风险。除了要应对数据传输自身软硬件的问

题, 还要防御来自其他区域的网络攻击。即便现阶段的研究未出现此类安全问题, 但远程机器人手术尚位于初步阶段, 这对于想要推广远程机器人手术是必不可少的环节, 需要通过不断地模拟测试网络方案, 形成最安全有效的通信保障措施。

**3.2 成本问题** 我国疆域辽阔, 各地区经济发展不平衡。虽然远程机器人手术有助于减少患者的交通费用和通勤时间, 但是机器人手术系统价格昂贵, 基层医疗单位现阶段可能无法进行推广应用。远程机器人手术治疗费用尚未形成统一标准, 且未纳入医保, 在为偏远地区患者实施 5G 远程机器人手术前, 有必要进行成本效益分析。

**3.3 法律法规及伦理学问题** 远程机器人手术涉及的法律法规、道德伦理也是不能忽视的问题。外科医生利用机器人进行远程手术时, 若涉及医疗事故, 如何进行人员分配给予患者紧急医疗救助及落实责任主体划分等是亟需解决的问题。远程机器人手术设备的监管制度以及操作者的资质审核问题也是重要的关注点。国内的相关法律法规相对不够完善, 需要进一步研究和制订, 从而为远程机器人手术提供法律法规和伦理保障。

## 4 展望

随着 5G 通信技术的成熟和手术机器人的发展, 远程机器人手术的需求将不断增加, 这对于开启外科手术 4.0 时代是一个契机, 今后将会有更多远程机器人手术相关的临床研究出现。对于远程机器人手术的发展方向, 主要有以下几点: ①手术机器人改进。我国的手术机器人起步较晚, 但是现阶段发展迅猛, 国产机器人手术系统多方面功能已经可以和达芬奇机器人手术系统相媲美, 但也需要进一步完善。手术机器人属于高科技产业, 行业门槛高, 应加紧创新研发, 掌握核心技术, 进一步降低成本来推动手术机器人的普及。②5G 网络优化。5G 通信技术在远程机器人手术中发挥着重要作用, 是远程机器人手术发展的催化剂。现阶段的远程机器人手术主要是在网络通信较好且医疗设备齐全的手术环境中进行的, 在一些复

杂的场景中，如野外、偏远山区等罕有试验。5G 网络在此类环境下的信号可能不够稳定。需要进一步的优化 5G 网络，提高远程机器人手术的优先级，同时设置网络安全防护措施，以满足机器人手术多场景应用的通信安全保障。

③协同诊疗。随着区域诊疗体系和医联体的形成，人们逐渐意识到远程医疗的重要性，对远程机器人手术的需求会进一步增加。基于远程医疗，偏远落后地区的患者也能够享受到优质的医疗资源，从而提高患者满意度和手术治愈率。同时，可以通过远程医疗为当地的外科医生进行手术培训和指导，提高基层医疗机构的外科技术水平。虽然目前远程机器人手术面临着诸多困难，但随着远程机器人手术的发展成熟，克服推广过程中的一系列问题，将逐渐改变传统诊疗模式，实现跨越空间的协同诊疗，从而使更多患者获益。

**利益冲突声明：** 本文不存在任何利益冲突。

**作者贡献声明：** 许永成、苗长丰、陈东东、李惠民、柳利利负责文献查阅；万浩浩、景武堂负责文章的撰写；蔡辉、马云涛、杨婧负责指导论文撰写及审查等。

### 参考文献

- [1] 徐大华. 从微创外科技术应用纵观微创外科理念发展[J]. 中国微创外科杂志, 2011, 11(2): 102-103.
- [2] Takács A, Nagy D Á, Rudas I, et al. Origins of surgical robotics: from space to the operating room[J]. Acta Polytech Hung, 2016, 13(1): 13-30.
- [3] 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 Trans Biomed Eng, 1988, 35(2): 153-160.
- [4] Beyaz S. A brief history of artificial intelligence and robotic surgery in orthopedics & traumatology and future expectations[J]. Jt Dis Relat Surg, 2020, 31(3): 653.
- [5] Pugin F, Bucher P, Morel P. History of robotic surgery: from AESOP® and ZEUS® to da Vinci®[J]. J Visc Surg, 2011, 148(5 Suppl): e3-8.
- [6] 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]. Rev Col Bras Cir, 2021. DOI: 10.1590/0100-6991e-20202798.
- [7] 安芳芳, 荆朝侠, 彭燕, 等. 达芬奇机器人的“前世, 今生, 来世”[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(7): 148-151, 168.
- [8] Shawn T, Dmitry O, Jon G, et al. SAGES TAVAC safety and effectiveness analysis: da Vinci® Surgical System (Intuitive Surgical, Sunnyvale, CA)[J]. Surg Endosc, 2015, 29 (10): 2873-2884.
- [9] 欧阳安, 霍文磊. 我国手术机器人产业发展现状及对策建议[J]. 中国仪器仪表, 2021, (12): 21-25.
- [10] Pandav K, Te A G, Tomer N, et al. Leveraging 5G technology for robotic surgery and cancer care[J]. Cancer Rep (Hoboken), 2022, 5(8): e1595.
- [11] 佚名. 国产手术机器人首次用于临床[J]. 生物医学工程与临床, 2014, 18(3): 213.
- [12] 佚名. 国产手术机器人冲击“达芬奇”垄断地位[J]. 机床与液压, 2021, 49(20): 163.
- [13] 王国慧, 易波, 刘勇, 等. 国产手术机器人临床 I 期研究 (附 103 例报告)[J]. 中国实用外科杂志, 2019, 39(8): 840-843.
- [14] Jacques M, Joel L, Francesco R, et al. Transcontinental robot-assisted remote telesurgery: feasibility and potential applications[J]. Ann Surg, 2002, 235(4): 487-492.
- [15] Sterbis R J, Hanly J E, Herman C B, et al. Transcontinental telesurgical nephrectomy using the da Vinci robot in a porcine model[J]. Urology, 2007, 71(5): 971-973.
- [16] Al-Falahy N, Alani Y O. Technologies for 5G networks: challenges and opportunities[J]. It Prof, 2017, 19(1): 12-20.
- [17] Bardram J E. Remote Assessment in healthcare—Technologies, methods, benefits, and challenges[J]. PLoS One, 2023, 18(4): e0283945.
- [18] Weinstein S R, Krupinski A E, Doarn R C. Clinical examination component of telemedicine, telehealth, mhealth, and connected health medical practices[J]. Med Clin North Am, 2018, 102(3): 533-544.
- [19] 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.
- [20] Lacy A M, Bravo R, Otero-Piñeiro A M, et al. 5G-assisted telemonitored surgery[J]. Br J Surg, 2019, 106(12): 1576-1579.
- [21] Acemoglu A, Peretti G, Trimarchi M, et al. Operating from a distance: robotic vocal cord 5G telesurgery on a cadaver[J]. Ann Intern Med, 2020, 173(11): 940-941.
- [22] 佚名. 5G+ 国产原研手术机器人完成超远程外科手术[J]. 微创医学, 2020, 15(06): 797.
- [23] LI J M, YANG X C, CHU G D, et al. Application of improved robot-assisted laparoscopic telesurgery with 5G technology in urology [J]. Eur Urol, 2023, 83(1): 41-44.
- [24] TIAN W, FAN M X, ZENG C, et al. Telerobotic spinal surgery based on 5G network: the first 12 cases[J]. Neurospine, 2020, 17(1): 114-120.
- [25] Toossi N, Vardiman A B, Benech C A, et al. Factors affecting the accuracy of pedicle screw placement in robot-assisted surgery: a multicenter study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2022, 47(23): 1613-1619.
- [26] 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.
- [27] 佚名. 全球首例! 超远程 5G 机器人完成肝脏切除手术[J]. 人人健康, 2023, 30(19): 6.
- [28] 崔爽, 张强, 李诏宇, 等. 国产机器人从实验室走向手术台[N]. 科技日报, 2023-09-14 (005).
- [29] 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.
- [30] 田禹, 黄佳, 李剑涛, 等. 5G 远程机器人辅助胸腔镜下肺叶切除术的动物实验研究[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2023, 30(8): 1112-1115.
- [31] 顾成磊, 李立安, 王宁, 等. 5G 远程机器人辅助腹腔镜全子宫切除术首例报道[J]. 中国微创外科杂志, 2023, 23(8): 610-615.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 周会霞, 吴政希. 国产手术机器人[J]. 科技与金融, 2022, 6(9): 1-5.

收稿日期: 2024-08-27

编辑: 刘静凯