

DOI:10.16781/j.CN31-2187/R.20220129

• 综述 •

## 远程手术创新的现状和进展

王野<sup>1</sup>, 闫石<sup>1</sup>, 常易凡<sup>1</sup>, 徐伟东<sup>2</sup>, 任善成<sup>2\*</sup>

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)第二附属医院泌尿外科, 上海 200003

**[摘要]** 远程手术是指外科医师使用无线网络和机器人技术为远在异地的患者做手术, 属于远程医疗的一部分。远程手术不仅可以缓解区域外科医师短缺的情况, 而且能打破空间壁垒, 及时、有效地开展手术, 降低医疗成本和患者转运风险。远程手术的发展需要5G网络技术和手术机器人技术的双重辅助。本文分析了5G网络技术和计算机辅助技术在远程手术中的应用与限制, 总结了远程手术创新发展的现状和进展, 为远程手术的发展提供更多思路。

**[关键词]** 远程手术; 远程医疗; 机器人手术; 5G; 军事医学

**[中图分类号]** R 61

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 2097-1338(2023)05-0627-04

### Innovation of telesurgery: current status and progress

WANG Ye<sup>1</sup>, YAN Shi<sup>1</sup>, CHANG Yi-fan<sup>1</sup>, XU Wei-dong<sup>2</sup>, REN Shan-cheng<sup>2\*</sup>

1. Department of Urology, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

2. Department of Urology, The Second Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200003, China

**[Abstract]** Telesurgery, part of telemedicine, uses wireless networking and robotics to allow surgeons to perform operations on patients in remote locations. This technology can not only alleviate surgeon shortage problem, but also reduce the adverse effects caused by geographical barriers, allowing timely and effective surgery and reducing the cost of surgical treatment and the risk during transport. The development of telesurgery requires the dual support of 5G network technology and surgical robotic technology. This article analyzes the applications and limitations of 5G network technology and computer-assisted technology in telesurgery, summarizes the current status and innovative development in telesurgery, and provides further insights for its development.

**[Key words]** telesurgery; telemedicine; robotic surgery; 5G; military medicine

[Acad J Naval Med Univ, 2023, 44(5): 627-630]

随着计算机、通信、医疗技术的不断推陈出新和交叉融合, 远程医疗技术应运而生, 它能缓解医疗资源不足、分配不均、发展不平衡等问题, 具有广阔的应用前景。远程手术是远程医疗技术中的一个重要组成部分。外科医师通过网络技术, 在计算机辅助技术和虚拟现实技术的辅助下开展手术, 打破了空间壁垒, 解除了地点和时间的限制, 降低了医疗成本和患者转运风险, 其应用场景包括远程

机器人手术、远程手术指导、远程手术教学等<sup>[1]</sup>。网络技术和计算机辅助技术在远程手术的发展中起着重要作用, 5G网络技术的迅猛发展为远程医疗的实践提供了更多的可能。

### 1 远程手术的硬件条件

1.1 5G网络技术 远程手术是一种依托通信、机器人、传感器等技术的新型手术方式, 位于远端的

**[收稿日期]** 2022-02-15 **[接受日期]** 2022-07-01

**[基金项目]** 医企融合创新协同专项(SHDC2022CRT005), 新兴前沿技术联合攻关项目(SHDC12022117), 海军军医大学(第二军医大学)“三航”计划。Supported by Medical-Enterprise Integration, Innovation and Synergy Project (SHDC2022CRT005), Joint Research Projects on Emerging Frontier Technologies (SHDC12022117), and “San Hang” Program of Naval Medical University (Second Military Medical University).

**[作者简介]** 王野, 硕士生. E-mail: a15026489059@163.com

\*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-81886813, E-mail: renshancheng@gmail.com

医师利用操纵杆控制机器人并借助3D视频成像和触觉感应回馈进行手术操作,需要实时传输多种视频信息,包括手术环境、监护指标和手术视野等。更加高清、更低卡顿的视频传输网络支持是保证手术操作顺畅、使机械操作与术者操作达到统一的前提条件,传统网络无法满足这一需求<sup>[2]</sup>。5G网络技术运用云基础架构、边缘智能服务和虚拟化网络核心等技术,以交融、统一的标准提供了人与人、人与物、物与物之间快速、安全和自由的互联<sup>[3-4]</sup>。5G网络具有低时延、高带宽、万物互联、移动边缘计算(mobile edge computing, MEC)、网络切片、高精定位6大特点,这些特点使5G网络速度更加稳定,数据传输速度和效率更高,能够充分地实现自动化、智能化<sup>[5]</sup>,为远程手术提供更好的操作条件,在硬件上满足远程手术的需求<sup>[6]</sup>。5G网络能够实现视频传输的及时性与实时性,保证视频中的影像投射与手术流程保持一致<sup>[7]</sup>。更快的网络传输、更宽的网络频谱保证了手术过程中可以同时使用多个设备,并且随意调配网络,使整体的操作流程与交互更加顺畅。此外,更快的传输速度能够使术者在术前、术中和术后的检查中及时了解患者的病情变化,增加了手术的可操控性和安全性<sup>[8]</sup>。

总之,5G网络具有高速率、大带宽、低时延的特性,可以解决传统网络条件下手术视频播放卡顿、远程控制延迟较高的问题,有效保障远程手术的稳定性、可靠性和安全性,保证手术操作的即时性与准确性<sup>[9]</sup>。2021年是5G加速落地的关键年份,电信、移动、联通3大运营商都在加快推进基础设施建设,相信在未来的一段时间,5G基建、大数据中心、人工智能、工业互联网都能达到一个更高的水平,这将为远程医疗发展提供更大的助力<sup>[10-11]</sup>。

### 1.2 手术机器人

手术机器人最早使用于20世纪80年代后期,从第1个机械手到今天使用的现代多臂平台,手术机器人趋向于更小、更便携,并且可以为外科医师提供可视化的模拟增强视野<sup>[12]</sup>。手术机器人的使用已越来越广泛,截至2017年底,全球共安装机器人控制台4 666台<sup>[12]</sup>,达芬奇机器人手术量已超750 000台<sup>[13]</sup>。目前机器人手术技术已逐渐被临床工作者掌握,整个操作系统较为完善,整体手术流程较为规范,这为远程手术提供了技术支持。

远程手术机器人需要有更好的视觉显示、更短的网络延迟、更灵敏的触觉反馈<sup>[14]</sup>,其中视觉

显示与网络延时效果已经通过技术更新越来越完善,但是触觉反馈技术发展缓慢。在远程手术中,术者往往通过视觉的反馈来进行操作与判断<sup>[15]</sup>,例如在缝合组织伤口时只能通过视频与音频来判断结扎程度,这无疑增加了缝合操作的难度。而触觉反馈能够让术者拥有实体操作似的触感,使机器人手术更接近开放外科手术。欧洲新型远程手术系统Telenap Alf-x一定程度上克服了缺乏触觉反馈这一问题,它通过增加触觉、眼球追踪系统和配置的多功能性,可将触觉反馈1:1地从器械的尖端传递到外科医师的手指,使外科医师准确地感觉到打结的张力<sup>[14]</sup>。

## 2 远程手术的应用与发展

远程手术发展的过程是科技与临床技术发展整合的过程。2001年,美国纽约的一个外科团队使用ZEUS机器人系统完成了最早的远程手术。此次手术是在法国史特拉斯堡的一家医院完成的,患者是一名女性,手术术式为腹腔镜胆囊切除术,患者术后恢复平稳<sup>[16]</sup>。之后还有一些团队尝试了远程手术<sup>[17]</sup>。例如,Marescaux等<sup>[18]</sup>和Rassweiler等<sup>[19]</sup>运用基础科学和临床远程外科经验证明了远程机器人用于远程外科手术的适用性。2014年,Shenai等<sup>[20]</sup>开发了一个虚拟交互平台,它为实时手术远程协作创建了一个共享视野,允许多个远程参与者同时查看彼此视野,可应用于手术培训和指导教学,是远程手术的一次伟大跨越。

相比临床使用的机器人手术,远程手术发展较为缓慢,很大程度上受限于网络技术。网络除了影响操作流畅性外<sup>[21]</sup>,还会影响音频与视频的传输,而文件、视频、音频的传输速度和质量都是决定手术能否顺利进行的重要因素。有学者提出了基于补偿性运动缩放的延时机器人手术,证明运动缩放作为时间延迟机器人手术中的一种补偿技术可降低高延迟带来的负面影响,这是一种通过计算机技术来辅助解决硬件问题的方法<sup>[22]</sup>。5G网络技术的出现为解决远程手术的瓶颈问题提供了硬件支持。国外已有学者基于5G网络在尸体上实施远程手术,结果证实5G远程手术具有一定的可行性<sup>[23]</sup>。

我国医疗团队对5G网络下远程手术的应用进行了探索。2018年12月18日,刘荣等<sup>[24]</sup>通过动物实验探索了5G网络下远程机器人手术的可行性。2019年3月16日,中国人民解放军总医院完成了世界首例帕金森病“脑起搏器”植入的5G远程人

体手术<sup>[25]</sup>。全球首例5G+国产骨科机器人多中心联合远程手术于2019年6月27日成功实施<sup>[26]</sup>。Yang等<sup>[27]</sup>使用国产MicroHand机器人通过5G网络进行远程机器人辅助腹腔镜根治性膀胱切除术,术后患者恢复良好。这些成功的尝试开启了5G远程手术治疗的新篇章。

### 3 远程手术在军事医学方面的探索

随着远程手术的发展,在拥有更多自动化设备和远程控制车辆的现代战场上,运用远程手术机器人对受伤士兵进行治疗和护理成为可能。它能在保证后方部队安全且不被影响的情况下,对前线战地的战士进行及时救治,提供创伤护理和手术治疗。在美国陆军远程医学和先进技术研究中心的共同资助下,辛辛那提大学研发了新的远程手术装置并进行了测试。该装置的系统组件包括基于无线无人机的通信平台和移动远程机器人手术系统。在试验过程中,远程手术机器人能够完成一些简单的外科操作,例如缝合等<sup>[28]</sup>。这项研究为未来军队远程医疗发展提供了宝贵的经验。为了解决现有的机器人手术系统体积太大、无法与急救人员一起有效部署的难题,Reichenbach等<sup>[29]</sup>设计了一个由微型手术机器人、高质量视觉系统、用户界面软件、触觉控制器及远程遥控和远程手术共同组成的微型手术平台,该系统通过在肚脐开1个2英寸(5 cm)的切口将微型机器人安装至腹部,通过无线传输进行控制,从而实现远程信息管理和操作。这种微型机器人手术系统在作战中作为随身装备携带,能在突发情况下完成一些外科操作,及时提供帮助。远程手术在军事医学方面的探索仍存在很大空间,有待开发出更加便利、实用的手术系统。

### 4 远程手术发展过程中亟待解决的问题

4.1 远程手术在软硬件方面仍需发展 在网络方面,5G网络于2019年正式投入使用,在中国各个地区的基站数量仍未达到理想水平,整个网络的搭建及普及仍需一定时间。在手术机器人方面,目前机器人已能胜任常规手术操作,但远程手术的硬件和系统发展尚未成熟到可以完美配合大部分手术的水平,仍需改善手术机器人硬件基础,逐步完善系统,加强软硬件结合能力。目前已有学者开发了一个可应用于非内镜机器人系统的辅助3D成像系统,它是一个基于增强现实的远程自动立体手术可视化系统<sup>[30]</sup>。新型成像系统为远程手术增添了多

方面的技术辅助。

我国在手术机器人的研发领域起步较晚,与国际水平仍存在一定差距。目前已经有较多公司致力于发展本土手术机器人,实现技术方面的自给自足。国产骨科手术机器人和神经外科手术机器人已取得国内医疗器械注册证并在临床上广泛应用,但其他一些科室在实施腹腔镜手术时首选的还是达芬奇机器人。国产的多孔腹腔镜手术机器人已逐步进入临床试验阶段,其他手术机器人也在逐步完善中。随着我国手术机器人研发效率及自主创新技术能力的进一步提升,我们期待国家进一步加强对国产机器人发展的政策扶持,加快关键核心部件与技术的研发,促进手术机器人产业的加速发展<sup>[31]</sup>。

4.2 远程手术操作缺乏统一规范 目前我国远程手术还处于探索阶段,虽然有很多专家团队已进行初步尝试,但在整体流程、操作规范上仍未有统一规范。手术过程除了根据常规手术术式进行操作外,也容易出现突发情况,没有规范往往会增加手术过程中的盲目性和随意性,增加远程手术的风险。

4.3 相关法律还不够完善 远程手术是一种新兴的治疗方式,它打破了传统面对面的就医模式,涉及医患双方、医疗设备、网络与计算机等多方面因素,若出现医疗事故,调查取证与责任划分难度极大,其中的问题将逐步凸显出来<sup>[32]</sup>。在这个盲区,无论是医师还是患者,都存在很多不确定性,可能会导致医师不愿学习尝试、患者不愿接受治疗的情况,这给远程手术发展增加了新的阻碍。

## 5 小 结

远程手术在2001年被正式提出并成功实践,它的发展一直没有停歇,虽然目前整体的系统及技术还不够完善,但在5G网络到来的今天,以前的设想都有机会成为现实。在未来,远程手术会是一个可持续发展且有巨大潜力的项目,因为它灵活,变化形式多样,拥有很强的可塑性。随着民众对健康医疗的需求与自我保健意识的日益提高,加强区域协同、促进信息共享、推进智慧医疗成为现阶段医疗卫生信息化发展的新趋势。远程手术的实用性也会慢慢凸显,甚至能够实现远程手术的全球化。

### [参 考 文 献]

- [1] 白蓉,王安春. 甘肃省远程医疗持续发展模式的探讨与思考[J]. 中国卫生标准管理, 2016, 7: 1-3.

- [2] 钱锦. 5G 通信技术及其在远程医疗中的应用分析[J]. 智慧中国, 2021:90-91.
- [3] 陈冠臻. 浅析大数据与 5G 通信[J]. 通讯世界, 2019, 26:67-68.
- [4] 常秀颖, 夏瑞雪. 5G 无线网络及其关键技术[J]. 通信电源技术, 2018, 35: 187-188.
- [5] 马亮. 5G 网络技术特点分析及无线网络规划思考初探[J]. 数字通信世界, 2020: 141.
- [6] 王小平, 张定发. 5G 技术在智慧医疗领域的应用场景研究[J]. 现代临床医学, 2020, 46: 62-64.
- [7] ZHENG J L, WANG Y H, ZHANG J, GUO W D, YANG X C, LUO L, et al. 5G ultra-remote robot-assisted laparoscopic surgery in China[J]. Surg Endosc, 2020, 34: 5172-5180.
- [8] LACY A M, BRAVO R, OTERO-PIÑEIRO A M, PENA R, DE LACY F B, MENCHACA R, et al. 5G-assisted telementored surgery[J]. Br J Surg, 2019, 106: 1576-1579.
- [9] ZHANG Z, WANG Y H, ZHANG Z L, ZHENG J L, SU Z, GUI H X, et al. Application of deterministic networking for reducing network delay in urological telesurgery: a retrospective study[J/OL]. Int J Med Robot, 2022, 18: e2365. DOI: 10.1002/rcs.2365.
- [10] 盛煜, 彭恒, 冯毅. 基于 5G 移动网络的智慧医疗应用[J]. 邮电设计技术, 2019, 521: 1-5.
- [11] 范卉青. “新基建”牵引, 运营商发力 5G 迈进加速建设年[J]. 通信世界, 2020, 836: 5.
- [12] MUADDI H, HAFID M E, CHOI W J, LILLIE E, MESTRAL C D, NATHENS A, et al. Clinical outcomes of robotic surgery compared to conventional surgical approaches (laparoscopic or open): a systematic overview of reviews[J]. Ann Surg, 2021, 273: 467-473.
- [13] COLE A P, TRINH Q D, SOOD A, MENON M. The rise of robotic surgery in the new millennium[J]. J Urol, 2017, 197(2S): S213-S215.
- [14] MIAO Y M, JIANG Y Y, PENG L M, HOSSAIN M S, MUHAMMAD G. Telesurgery robot based on 5G tactile internet[J]. Mobile Netw Appl, 2018, 23: 1645-1654.
- [15] STARK M, MORALES E R, GIDARO S. Telesurgery is promising but still need proof through prospective comparative studies[J]. J Gynecol Oncol, 2012, 23: 134-135.
- [16] CHOI P J, OSKOUIAN R J, TUBBS R S. Telesurgery: past, present, and future[J/OL]. Cureus, 2018, 10: e2716. DOI: 10.7759/cureus.2716.
- [17] BARBA P, STRAMIELLO J, FUNK E K, RICHTER F, YIP M C, OROSCO R K. Remote telesurgery in humans: a systematic review[J]. Surg Endosc, 2022, 36: 2771-2777.
- [18] MARESCAUX J, LEROY J, GAGNER M, RUBINO F, MUTTER D, VIX M, et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery[J]. Nature, 2001, 413: 379-380.
- [19] RASSWEILER J, FREDE T, SEEMANN O, STOCK C, SENTKER L. Telesurgical laparoscopic radical prostatectomy. Initial experience[J]. Eur Urol, 2001, 40: 75-83.
- [20] SHENAI M B, TUBBS R S, GUTHRIE B L, COHEN-GADOL A A. Virtual interactive presence for real-time, long-distance surgical collaboration during complex microsurgical procedures[J]. J Neurosurg, 2014, 121: 277-284.
- [21] XU S, PEREZ M, YANG K, PERRENOT C, FELBLINGER J, HUBERT J. Determination of the latency effects on surgical performance and the acceptable latency levels in telesurgery using the dV-Trainer® simulator[J]. Surg Endosc, 2014, 28: 2569-2576.
- [22] OROSCO R K, LURIE B, MATSUZAKI T, FUNK E K, DIVI V, HOLSINGER F C, et al. Compensatory motion scaling for time-delayed robotic surgery[J]. Surg Endosc, 2021, 35: 2613-2618.
- [23] ACEMOGLU A, PERETTI G, TRIMARCHI M, HYSENBELLI J, KRIEGLSTEIN J, GERALDES A, et al. Operating from a distance: robotic vocal cord 5G telesurgery on a cadaver[J]. Ann Intern Med, 2020, 173: 940-941.
- [24] 刘荣, 赵国栋, 孙玉宁, 杨文龙, 刘景丰, 黄尧, 等. 5G 远程机器人手术动物实验研究[J/CD]. 中华腔镜外科杂志(电子版), 2019, 12: 45-48.
- [25] 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: 402.
- [26] 全球首例! 5G+国产骨科机器人多中心联合远程手术成功实施[J]. 智能机器人, 2019(3): 27.
- [27] YANG X C, WANG Y H, JIAO W, LI J M, WANG B Q, HE L, et al. Application of 5G technology to conduct tele-surgical robot-assisted laparoscopic radical cystectomy[J/OL]. Int J Med Robot, 2022, 18: e2412. DOI: 10.1002/rcs.2412.
- [28] HARNETT B M, DOARN C R, ROSEN J, HANNAFORD B, BRODERICK T J. Evaluation of unmanned airborne vehicles and mobile robotic telesurgery in an extreme environment[J]. Telemed J E Health, 2008, 14: 539-544.
- [29] REICHENBACH M, FREDERICK T, CUBRICH L, BIRCHER W, BILLS N, MORIEN M, et al. Telesurgery with miniature robots to leverage surgical expertise in distributed expeditionary environments[J]. Mil Med, 2017, 182: 316-321.
- [30] HUANG T Q, LI R Y, LI Y X, ZHANG X R, LIAO H E. Augmented reality-based autostereoscopic surgical visualization system for telesurgery[J]. Int J CARS, 2021, 16: 1985-1997.
- [31] 李治非, 杨阳, 苏月, 何堃, 华玉涛. 我国外科手术机器人研究应用现状与思考[J]. 中国医学装备, 2019, 16: 177-181.
- [32] 姜俊阁, 苏轼. 远程医疗应用现状与发展难题[J]. 中国医疗器械信息, 2016, 22: 124-126.