

## 5G 通信技术在机器人手术中的应用

冯源康<sup>1, 2</sup>, 史惠惠<sup>3</sup>, 李宁阳<sup>2</sup>, 黄步登<sup>2</sup>, 卢福博<sup>2</sup>, 谢国庆<sup>2</sup>, 郭阿宝<sup>2</sup>, 王丛巍<sup>2</sup>,  
吴启哲<sup>2</sup>, 王军<sup>2</sup>, 黄珍林<sup>2</sup>, 杨锦建<sup>2</sup>, 贾占奎<sup>2</sup>

(1. 天津医科大学第二医院泌尿外科 天津 300211; 2. 郑州大学第一附属医院泌尿外科 河南 郑州 450052;  
3. 郑州大学第一附属医院妇产科 河南 郑州 450052)

**摘要 目的:** 探究 5G 通信技术在机器人手术中的应用进展。**方法:** 检索 2023 年 9 月 14 日之前科学引文索引扩展数据库 Web of Science 和万方数据库中关于“5G 技术”和“机器人手术”的所有文献。将相关文献汇总整理后运用文献计量的工具对其进行统计分析, 并对结果进行探讨, 以明确 5G 技术在机器人手术中的现状和发展方向。**结果:** 本文共纳入英文文献 38 篇, 英文文献年平均发文量 5.43 篇, 每篇平均被引频次为 13.47 次; 中文文献 59 篇, 中文文献年平均发文量 7.38 篇, 每篇平均被引频次为 2.58 次。BELQASMI F 英文文献发文量最多(3 篇), 张琦中文文献发文量最多(4 篇)。“5G-assisted telementored surgery”为领域内核心文献, 中国和美国是发文量前两名的国家, 在 5G 机器人手术领域处于领先水平, 但与其他国家的合作有待提升。**结论:** 5G 技术具有高速率、大连接和低延时等突出特点, 为超远程机器人手术的开展及推广普及机器人手术提供技术保障。

**关键词** 5G 通信技术; 文献计量学; 手术机器人; 远程手术

**中图分类号** R61 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2024) 05-0986-05

## Application of 5G communication technology in robotic surgery

FENG Yuankang<sup>1, 2</sup>, SHI Huihui<sup>3</sup>, LI Ningyang<sup>2</sup>, HUANG Budeng<sup>2</sup>, LU Fubo<sup>2</sup>, XIE Guoqing<sup>2</sup>, GUO Abao<sup>2</sup>,  
WANG Congwei<sup>2</sup>, WU Qizhe<sup>2</sup>, WANG Jun<sup>2</sup>, HUANG Zhenlin<sup>2</sup>, YANG Jinjian<sup>2</sup>, JIA Zhankui<sup>2</sup>

(1. Department of Urology, the Second Hospital of Tianjin Medical University, Tianjin 300211, China; 2. Department of Urology, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China; 3. Department of Obstetrics and Gynecology, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract Objective:** To investigate the application of 5G technology in the realm of robotic surgery. **Methods:** The literatures of “5G technology” and “robotic surgery” were searched from the databases of Web of Science and Wanfang before September 14, 2023. Following the synthesis and meticulous organization of pertinent literatures, bibliometric tools were used to undertake a rigorous statistical analysis. After the collection, organization, and summary of relevant literatures, bibliometric tools were utilized to perform the statistical analysis, after which further investigation was made to clarify the current status and development directions of 5G technology in robotic surgery. **Results:** A total of 38 English articles were included, with an average annual publication of 5.34 articles and an average citation frequency of 13.47 per article. Additionally, a total of 59 Chinese articles were included, with an average annual publication of 7.38 articles and an average citation frequency of 2.58 per

收稿日期: 2023-09-18 录用日期: 2023-12-22

Received Date: 2023-09-18 Accepted Date: 2023-12-22

**基金项目:** 国家自然科学基金(82172564); 河南省医学科技攻关计划项目(SBGJ2018027); 河南省中青年卫生健康科技创新领军人才培养项目(YXKC2021012)

**Foundation Item:** National Natural Science Foundation of China (82172564); Medical Science and Technology Research Project of Henan Province (SBGJ2018027); Young-and Middle-aged Health and Medical Science and Technology Innovation Leading Talent Training Program of Henan Province (YXKC2021012)

**通讯作者:** 贾占奎, Email: jiazhankui@126.com

**Corresponding Author:** JIA Zhankui, Email: jiazhankui@126.com

**引用格式:** 冯源康, 史惠惠, 李宁阳, 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.

**Citation:** FENG Y K, SHI H H, LI N Y, et al. Application of 5G communication technology in robotic surgery[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(5): 986-990.

article. Notably, Belqasmi F emerged as the most prolific author in the domain of English-language publications, contributing a noteworthy 3 articles. In contrast, ZHANG Qi claimed the top position among Chinese-language authors, with an impressive count of 4 articles to their credit. “5G-assisted telementored surgery” is a core literature in the field. China and the United States stand out as the leading nations in terms of publication volume, solidifying their prominent positions in the realm of 5G robotic surgery. However, it is evident that there is room for enhancing collaboration with other countries in this field. **Conclusion:** The 5G technology, with its high speed, extensive connectivity and low latency, provides technical support for the development, promotion and popularization of remote robotic surgery.

**Key words** 5G Communication Technology; Bibliometrics; Surgical Robot; Remote Surgery

5G 通信技术是一种具有超高数据传送速率、低延迟、高移动性、高能效和高流量密度等特点的全新移动通讯技术<sup>[1]</sup>，从 2020 年开始对人们的生活、工作、出行等产生了极大的影响。近些年，它在医疗领域发挥了巨大的作用，主要应用于临床诊断、患者监测、诊断成像测试、疫苗分发、紧急医疗服务、机器人辅助远程手术等<sup>[2]</sup>。

自 1985 年第 1 台手术机器人 Puma 560 问世以来，机器人辅助手术技术经历了数次迭代和改变<sup>[3]</sup>。目前，外科医生比较关心的一个问题是，在提高机器人辅助手术精度的同时，如何更好地实现超远程机器人辅助手术，而 5G 技术为其提供了可能。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 以“5G”和“Robotic surgery”为主题词，检索 1985~2023 年科学引文索引扩展数据库（Web of Science, WoS）中所有关于 5G 技术在机器人手术中应用的文献。以“5G”、“机器人”和“手术”为关键词，检索 2023 年以前万方数据库中所有关于 5G 技术在机器人手术中应用的中文文献。经 3 位外科专业的医生进行筛选并纳入研究。从 WoS 数据库获得各个文献的基本信息（包括文献标题、作者、作者国家、附属机构等信息），并将其导出为“ciw”格式文件供后续分析。

**1.2 文献计量学分析工具** Bibliometrix (4.1.3) 是基于 R 语言的科学计量学和文献计量学定量研究的工具。它能够对“Scopus”、“Web of Science”和“PubMed”等众多数据库的文献进行计量学分析。使用 Bibliometrix 对英文文献进行计量学分析。VOSviewer (1.6.19) 是一种用于文献计量学分析的可视化工具<sup>[4]</sup>，我们主要用其进行文献耦合分析（VOSviewer 图中圆的大小代表重要程度，圆圈越大，重要度越大；两圆之间的连线代表研究项目之间相互关联，距离越

近，联系强度越高）。文献共被引网络是基于两篇独立文献同时被新发表的文献引用的现象所绘制的网络图，文献同时被引用的次数叫做“同被引强度”（在图中以圆圈大小表示），同被引强度数值越大，说明它们之间的关系越紧密<sup>[5]</sup>。

## 2 结果

**2.1 文献整体发表及引用情况** 本研究共纳入 97 篇文献，其中英文文献 38 篇，中文文献 59 篇。2016 年，国内《信息通信技术与政策》杂志第 1 次提出 5G 技术在机器人手术中应用的概念<sup>[6]</sup>；2017 年，Soldani D 等人<sup>[7]</sup>第 1 次在会议上发表有关 5G 技术在机器人手术中应用的文献。英文文献年平均发文量 5.43 篇；中文文献年平均发文量 7.38 篇（如图 1）。英文文献共计被引用 512 次，每篇平均被引频次为 13.47 次；中文文献共计被引用 152 次，每篇平均被引频次为 2.58 次。SHEN Y 等人<sup>[8]</sup>发表在《IEEE ACCESS》杂志上的研究“Robots under COVID-19 pandemic: a comprehensive survey”是被引用次数最高（89 次）的英文文献。刘荣等人发表在《中华腔镜外科杂志（电子版）》上的研究“远程机器人手术动物实验研究”是被引用次数最高（46 次）的中文文献<sup>[9]</sup>。

**2.2 作者及机构发文量分析** 共有 190 名作者参与 5G 技术在机器人手术中应用相关的英文文献，其中 9 名作者（4.7%）参与发表了 2 篇以上文献，可认为是本领域的“核心作者”；1 名（0.5%）作者参与发表了 3 篇以上文献；181 名（95.3%）作者仅参与发表 1 篇文献，称为“偶然作者”。其中 Belqasmi F 发表英文文献最多（3 篇），图 2A 展示了该领域内发文量前 10 名作者的年发表情况，BELQASMI F 在该领域的研究活动最为活跃。同时，布拉福定律显示，《IEEE ACCESS》为领域内的核心期刊（如图 2B）。

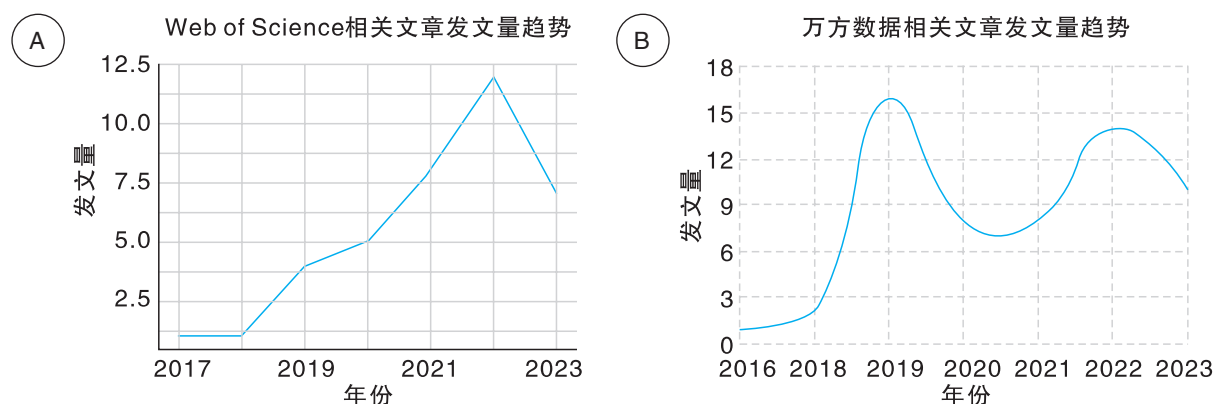


图1 5G技术在机器人手术中的应用领域年发表文献量

Figure 1 Annual publication volume of literature on the application of 5G technology in robotic surgery

注: A. Web of Science 相关文章发文量趋势; B. 万方数据相关文章发文量趋势

共有 191 名作者参与 5G 技术在机器人手术中应用相关的中文文献, 其中 11 名作者 (5.8%) 参与发表了 2 篇以上的文献, 可认为是本领域的“核心作者”; 4 名作者 (2.1%) 参与发表了 3 篇以上的文献, 180 名作者 (94.2%) 参与发表了 1 篇文献, 称为“偶然作者”。其中张琦发表中文文献最多 (4 篇)。

**2.3 词频分析及可视化** 对中英文文献的关键词进行汇总整理, 并对其进行可视化分析, 结果如图 3 所示。其中, 英文文献出现前五名的关键词为: Surgery (8 次), Feasibility (4 次),

Telesurgery (4 次), 5G (3 次), Network (3 次)。中文文献出现前五名的关键词为: 远程手术 (12 次)、人工智能 (10 次)、机器人 (10 次)、机器人手术 (9 次)、手术机器人 (8 次)。

**2.4 英文文献共被引分析和耦合分析** 为探究各个英文文献之间的联系, 本研究对英文文献进行耦合分析, 结果如图 4A 所示, 耦合强度排名前 5 位的作者分别为: Lacy A M 2019<sup>[10]</sup> (PageRank 值 0.067), Marescaux J 2001<sup>[11]</sup> (PageRank 值 0.062), ZHENG J L 2020<sup>[12]</sup> (PageRank 值 0.061), TIAN W 2020<sup>[13]</sup> (PageRank 值 0.045) 及 Haidegger T 2011<sup>[14]</sup> (PageRank 值 0.043); 图 4B 展示了机构耦合分析结果, 排名前 5 位的机构分别为: 爱资哈尔大学 (Total Link Strength 值 504)、IMPS 工程技术学院 (Total Link Strength 值 504)、焦夫大学 (Total Link Strength 值 504)、卡帕加维纳亚加工程技术学院 (Total Link Strength 值 504) 及帕鲁大学 (Total Link Strength 值 504); 图 4C 显示了国别的耦合分析, 颜色深度代表发文量, 国家间连线多少及粗细代表关联强度, 中国和美国是 5G 技术在机器人手术中应用领域发文量最大的国家, 但与其他国家的合作有待提升。

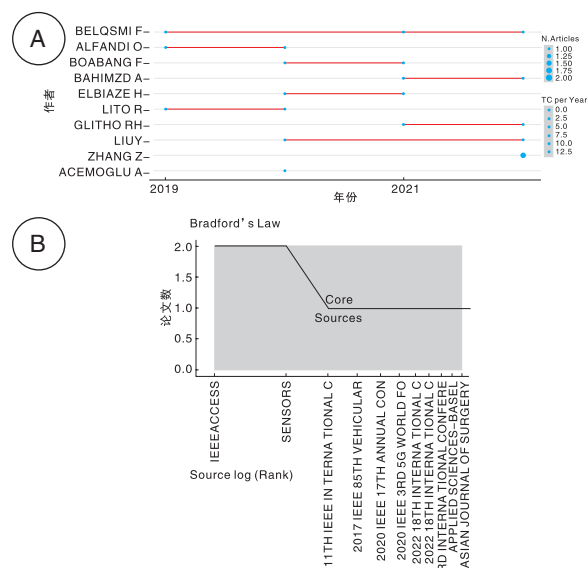


图2 英文文献作者及机构发文量分析

Figure 2 Analysis of publication volume by authors and institutions in English literatures

注: A. 英文文献发文前 10 名作者的年发表情况; B. 英文核心期刊的布拉福定律分布图

### 3 讨论

在过去的 3000 年里, 人类一直尝试通过制造机器人来完成自己的构想<sup>[15]</sup>。人类最早制造的机器, 可以追溯到公元前 1500 年的埃及文物<sup>[16]</sup>, 其形式是在水力钟内敲响钟声的人体雕像。然而, 在医学领域, 尤其是外科手术方面, 机器

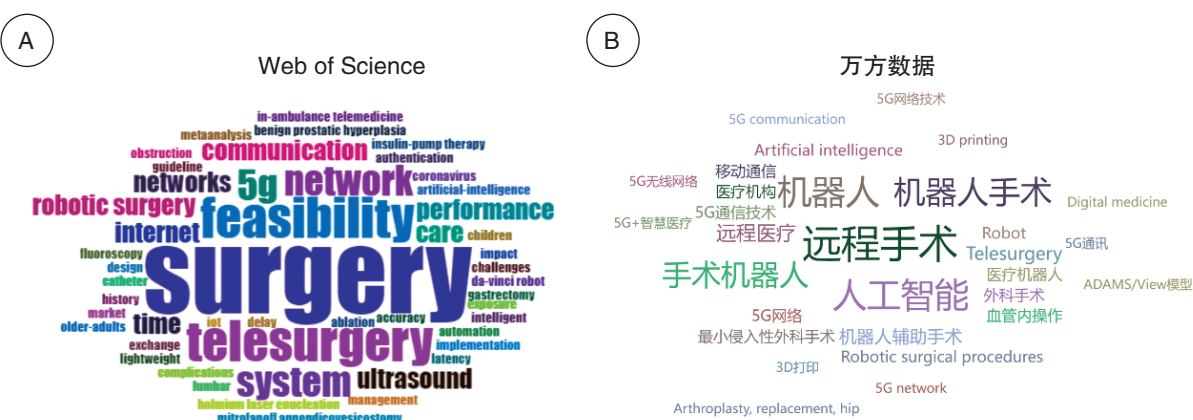


Figure 3 Frequency analysis of terms in Chinese and English literatures

注: A. 英文文献的词频分析; B. 中文文献的词频分析

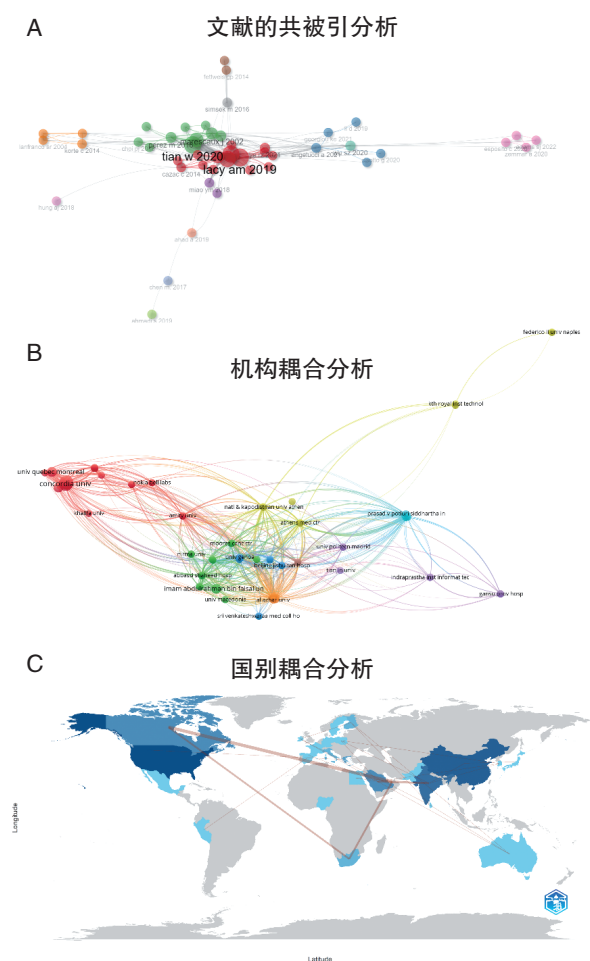


Figure 4 Analysis of Co-citation and bibliographic coupling in English literatures

注: A. 英文文献共被引分析; B. 机构耦合分析; C. 国别耦合分析

人的应用仅有 30 年的历史<sup>[17]</sup>。1985 年,第 1 台手术机器人 Puma 560 在美国洛杉矶医院面世以来<sup>[18]</sup>,外科机器人迎来了发展的黄金期。自达芬奇机器人在国际上获得批准,美国、欧洲和亚洲的外科医生证明了其在机器人辅助手术中的可行性和安全性。近年来,机器人手术技术不断创新和改进,在手术入路方面,单孔腹腔镜技术和自然腔道入路的成熟,极大程度减少了患者体表的创伤,实现更深层次的微创<sup>[19-20]</sup>;在数据传送方面,由于光纤和 5G 技术的应用,在保证手术成功率和稳定性的基础上,突破了手术的距离限制<sup>[12, 21]</sup>;在操作方面,AI 技术的逐渐成熟为其自动运行提供了可能<sup>[22]</sup>。

在无线通信中, 5G 是迄今最新一代的移动网络技术<sup>[23]</sup>。2016 年,《电信网技术》杂志首先提出 5G 技术应用于超远程机器人手术的构想<sup>[6]</sup>, 之后我国的外科医生便开始了 5G 机器人手术的探索。2019 年, 世界首例 5G 远程外科手术在我国完成, 手术医师在 5G 技术的帮助下, 对一只小猪进行了肝小叶切除术, 这标志着 5G 机器人手术从理论走向了实践<sup>[24]</sup>。

2020年3月,我国工信部印发了《关于推动5G加快发展的通知》,提出开展5G智慧医疗建设,加快5G技术在医疗领域的应用推广<sup>[25]</sup>。新冠疫情期间,5G技术首先在人工智能、区块链和物联网中得到应用,通过其技术的验证和患者接受度分析,为5G技术在医疗行业的应用提供了宝贵的经验<sup>[2]</sup>。2022年开始,5G机器人手



术先后应用于泌尿外科、妇产科、肝胆外科和骨科等各个外科亚专业<sup>[26-29]</sup>。截止目前,5G技术主要应用于机器人辅助下的精索静脉曲张手术、前列腺癌根治术、子宫切除术、胆囊切除术和椎体后凸成形术等,尚无手术失败的报道,手术效果都较为理想。这体现了5G信号传输的稳定性和安全性,然而由于目前案例相对较少,无法进行系统的安全性评估,因此后续进行多中心大样本的回顾性分析对其安全性的评估具有重要意义。

我国和美国是相关领域发文量最大的两个国家,目前更倾向于在各自国家内部进行小范围交流,与国际的交流不及加拿大和印度,这也是我国今后需要改进的地方。

本研究在WoS和万方数据库中检索到97篇文献,绝大多数文献仅报道5G机器人手术的可行性分析或为个案报道,目前尚缺少前瞻性随机对照研究及长期随访研究来评估5G技术在机器人手术中应用的安全性和有效性。本研究仅对两个数据库进行汇总分析,可能存在一定偏倚。同时由于5G技术是一项新技术,其研究数据均为近期发表的文献,其发表时间短,被引频次不高,对总体文献质量水平的评估存在一定的偏差。

**利益冲突声明:** 本文不存在任何利益冲突。

**作者贡献说明:** 冯源康负责数据整理,统计学分析,论文撰写及论文修改;史惠惠、李宁阳、黄步登负责数据整理,论文修改,统计学分析;卢福博、谢国庆、郭阿宝负责数据整理,统计分析;王丛巍、吴启哲、王军、黄珍珠负责统计学分析,论文修改;杨锦建负责论文修改;贾占奎负责课题设计,论文修改,数据整理,统计学分析,研究指导。

## 参考文献

- [1] Chih-Lin I, Han S F, Xu Z K, et al. 5G: rethink mobile communications for 2020+[J]. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*, 2016. DOI: 10.1098/rsta.2014.0432.
- [2] Moglia A, Georgiou K, Marinov B, et al. 5G in healthcare: from COVID-19 to future challenges[J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2022, 26(8): 4187-4196.
- [3] Sanchez-Martin F M, Jimenez Schlegel P, Millan Rodriguez F, et al. History of robotics: from archytas of tarentum until Da Vinci robot. (Part II)[J]. *Actas Urol Esp*, 2007, 31(3): 185-196.
- [4] Waltman L, van Eck N J. A smart local moving algorithm for large-scale modularity-based community detection[J]. *European Physical Journal B*, 2013, 86(11): 14.
- [5] 孙海生. 文献耦合网络与同被引网络比较实证研究一以Scientometrics载文为例[J]. *现代情报*, 2019, 39(04): 134-142.
- [6] 佚名. 名爱立信推出5G插件,装备当今5G网络[J]. *电信网技术*, 2016, 42(6): 25.
- [7] Soldani D, Fadini F, Rasanen H, et al. 5G mobile systems for healthcare[C]. *IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2017. DOI: 10.1109/VTCSpring.2017.8108602.
- [8] SHEN Y, GUO D J, LONG F, et al. Robots under COVID-19 pandemic: a comprehensive survey[J]. *IEEE Access*, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3045792.
- [9] 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.
- [10] Lacy A M, Bravo R, Otero-Piñeiro A M, et al. 5G-assisted telementored surgery[J]. *Br J Surg*, 2019, 106(12): 1576-1579.
- [11] Marescaux J, Leroy J, Gagner M, et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery[J]. *Nature*, 2001, 413(6854): 379-380.
- [12] ZHENG J L, WANG Y H, ZHANG J, et al. 5G ultra-remote robot-assisted laparoscopic surgery in China[J]. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 2020, 34(11): 5172-5180.
- [13] 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.
- [14] Haidegger T, Sándor J, Benyó Z. Surgery in space: the future of robotic telesurgery[J]. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 2011, 25(3): 681-690.
- [15] Leal Ghezzi T, Campos Corleta O. 30 years of robotic surgery[J]. *World J Surg*, 2016, 40(10): 2550-2557.
- [16] Maza G, Sharma A. Past, present, and future of robotic surgery[J]. *Otolaryngol Clin North Am*, 2020, 53(6): 935-941.
- [17] Peters B S, Armijo P R, Krause C, et al. Review of emerging surgical robotic technology[J]. *Surg Endosc*, 2018, 32(4): 1636-1655.
- [18] LI J, SHI Y, XUAN H J. Unified model solving nine types of time-varying problems in the frame of zeroing neural network[J]. *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst*, 2021, 32(5): 1896-1905.
- [19] Franssen S A, van Den Bos J, Stassen L P, et al. Is single-port laparoscopy more precise and faster with the robot?[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2016, 26(11): 898-904.
- [20] Hendrick R J, Mitchell C R, Herrell S D, et al. Hand-held transendoscopic robotic manipulators: a transurethral laser prostate surgery case study[J]. *Int J Rob Res*, 2015, 34(13): 1559-1572.
- [21] Song H, Kim K, Lee J. Development of optical fiber Bragg grating force-reflection sensor system of medical application for safe minimally invasive robotic surgery[J]. *Rev Sci Instrum*, 2011, 82(7): 074301.
- [22] Bhandari M, Zeffiro T, Reddiboina M. Artificial intelligence and robotic surgery: current perspective and future directions[J]. *Curr Opin Urol*, 2020, 30(1): 48-54.
- [23] Dangi R, Lalwani P, Choudhary G, et al. Study and investigation on 5G technology: a systematic review[J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 22(1): 26.
- [24] 佚名. 世界首例5G远程外科手术完成[J]. *智能城市*, 2019, 5(02): 53.
- [25] 张辉. 加快5G网络建设及应用支撑经济高质量发展—工业和信息化部发布《关于推动5G加快发展的通知》[J]. *网信军民融合*, 2020, 4(4): 37-39.
- [26] 佚名. 我国5G超远程机器人肝胆手术在“浙”实现零的突破[J]. *今日科技*, 2023, 54(03): 59.
- [27] 范明星,张琦,房彦名,等. 远程机器人辅助经皮椎体后凸成形术临床效果研究[J]. *北京生物医学工程*, 2022, 41(02): 174-178.
- [28] 彭慧柳,凌芝,况燕. 单孔腹腔镜在妇科疾病中的应用及发展前景[J]. *微创医学*, 2023, 18(01): 100-103.
- [29] 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(08): 696-701.

编辑:刘静凯