

“双中心”背景下 5G 远程机器人外科的发展机遇与挑战

郭成旺¹, 张铭泽¹, 郭玺¹, 马于祺¹, 周佳琦¹, 蔡辉^{1, 2}, 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 近年来,我国医疗服务体系和医疗卫生基础设施持续完善,卫生与健康事业取得了显著进展。然而,医疗资源总量不足、区域分布不均及优质资源短缺等问题依然突出。为解决这些问题,国家相关部门联合出台了一系列政策,其中“双中心”建设在改善医疗服务集中化和优化资源配置方面发挥了重要作用。与此同时,5G 通信技术和机器人手术系统等高端技术的迅猛发展,为远程机器人手术的实施提供了技术支持,并为“双中心”建设提供了新的技术手段。然而,5G 远程机器人手术仍面临技术、基础设施、伦理和法律法规等诸多挑战。本研究从 5G 远程机器人外科的技术原理、应用现状等方面出发,探讨其在“双中心”建设中的发展机遇与挑战,并提出未来发展策略,以期为我国远程医疗服务的推广和深化“双中心”建设提供参考。

关键词 5G 网络; 机器人辅助手术; 远程手术; 国家医学中心; 区域医疗中心

中图分类号 R608 R616 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 01-0006-06

Development opportunities and challenges of 5G remote robot-assisted surgery in the context of double-center construction

GUO Chengwang¹, ZHANG Mingze¹, GUO Xi¹, MA Yuqi¹, ZHOU Jiaqi¹, CAI Hui^{1,2}, 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 In recent years, with the constant improvement of medical service system and healthcare infrastructures in China, significant progress has been made in the healthcare industry. However, problems such as insufficient and uneven distribution of medical resources across regions, and shortage of high-quality resources remain prominent. To address these issues, relevant departments have jointly introduced a series of policies, with the construction of double centers playing an important role in improving medical services centralization and optimizing resource allocation. Meanwhile, the rapid development of 5G network technology and robotic surgical system have provided technical support for the implementation of remote robotic surgery and new surgical techniques for double-center construction. However, the clinical application of 5G remote robotic surgery still faces many challenges in terms of high-end technology, infrastructures, ethics, and regulations. The technical principles and current status of 5G remote robotic surgery were introduced in this paper to explore the development opportunities and challenges in double-center construction, and to put forward future development strategies, with the purpose of providing reference for the promotion of remote medical services and deepening double-center construction in China.

Key words 5G Network; Robot-assisted Surgery; Telesurgery; National Medical Center; Regional Medical Treatment Center

基金项目: 甘肃省科技计划(联合科研基金)项目(24JRRA885); 甘肃省自然科学基金(22JR85RA663)

Foundation Item: Science and Technology Plan (Joint Research Fund) Project of Gansu Province (24JRRA885); Natural Science Foundation of Gansu Province (22JR85RA663)

通讯作者: 马云涛, Email: 3575515665@qq.com

Corresponding Author: MA Yuntao, Email: 3575515665@qq.com

引用格式: 郭成旺, 张铭泽, 郭玺, 等. “双中心”背景下 5G 远程机器人外科的发展机遇与挑战[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2025, 6(1): 6-11.

Citation: GUO C W, ZHANG M Z, GUO X, et al. Development opportunities and challenges of 5G remote robot-assisted surgery in the context of double-center construction[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(1): 6-11.

2017年1月22日《“十三五”国家医学中心及国家区域医疗中心设置规划》^[1]的印发，为国家医学中心和国家区域医疗中心（“双中心”）的设置按下了启动键。2019年1月10日“双中心”的建设正式步入实施阶段^[2]，在国家一系列政策^[3]支持下现已建成国家区域医疗中心项目125个、国家医学中心14个。随着科学技术的不断革新，5G通信技术以其高速、低时延和高带宽的特点，为远程医疗特别是远程机器人手术的实施提供了可能。这种技术的应用不仅能实现医疗资源的共享，更能提升诊疗效率。然而，5G远程机器人外科的广泛推广和应用仍面对诸多挑战，包括技术瓶颈、网络基础设施、法律法规与伦理等诸多问题^[4-5]。

1 5G远程机器人手术的技术原理

5G远程机器人手术是一项融合了5G通信技术、机器人技术和外科手术技术的前沿医疗技术，在现有的真实临床应用^[6]中已显示出其可靠的一面，其技术原理主要涉及以下几个方面。

1.1 5G通信技术原理 5G远程机器人手术依托5G网络独特优势，其高速率数据传输^[7]能让手术中的高清视频、图像、操作指令及各类医疗数据（如生命体征监测与手术器械状态数据），于手术端与远程端快速、稳定交互，使医生获取高清实时信息。同时，5G网络毫秒级的低延迟特性，使医生操作指令近乎实时传至手术机器人，机器人依指令精准迅速地执行动作，使远程手术如现场手术般流畅安全，有力地推动了远程手术的发展与应用。同时，5G通信技术允许多设备同时连接，通过协同操作系统，使多个机器人设备在手术中进行无缝协作。根据不同应用场景的需求，主从控制端可实现“1+N”或“N+1”模式切换。

1.2 手术机器人技术原理 手术机器人的机械臂设计、运动控制及力反馈技术对5G远程机器人手术意义重大。机械臂通常具备高度灵活性与精准度，可以模仿人类手臂运动，能在狭小空间内进行多角度、多自由度操作，依靠运动控制

算法按医生指令精准调整位置和姿态，完成复杂手术动作。而力反馈技术通过在手术器械安装力传感器，实时感知手术力变化，将信息准确地反馈给控制端医生，使其在操作时可感受到接触力，提升手术操作的真实感与精准性。

1.3 手术系统集成原理 在5G远程机器人手术中，图像采集与处理、手术导航与定位是关键环节。手术现场利用高清摄像头与成像设备采集手术部位实时图像，经5G网络传至远程端，且系统会实时处理图像，优化清晰度与对比度，助力远程医生清晰地观察手术视野。同时，借助机器人操作的稳定性、灵活性为手术操作提供可靠的技术支持。二者协同保障了远程手术的精准性与安全性，推动远程手术的稳定施行。

2 5G远程机器人手术的应用现状

5G远程机器人手术的应用已初步实现跨区域的手术操作，为偏远地区提供了高质量医疗资源支持，但在大规模推广上仍面临一些挑战。近年来，机器人辅助手术已成为多个国家标准的手术方式^[8-9]，但远程机器人手术的应用仍处于探索阶段。

2.1 国外5G远程机器人手术应用现状 国外远程机器人手术的相关研究报道极少，大多数研究为动物模型、标本实验等^[10]。有报道显示，最早的远程手术是2001年由Marescaux J团队通过高速光纤电缆进行信号传输开展的腹腔镜胆囊切除术^[11]，因信号传输费用高昂等原因使得此类研究暂停。在后续的研究中，美国、欧洲、日本等国家和地区在实验环境下完成了数例远程机器人手术^[12-14]。

2.2 国内5G远程机器人手术应用现状 在国内，5G网络及机器人手术技术的大力发展为远程手术的临床应用提供了技术保障，同时也极大降低了信号传输成本^[15]。现阶段，多地开展了5G远程手术的相关研究，从实验阶段转向临床应用阶段，并取得了一定成果。随着动物模型超远程手术的成功实施^[16-18]，初步验证了5G远程国产机器人手术的可行性及安全性。此外，在

关于人体远程机器人手术的临床研究中,先后有“一对多”主从式远程机器人辅助胫骨髓内钉内固定手术^[19]、人体开颅手术(远程脑起搏器植入手术)^[20]及多种腹部外科手术^[21-25]等一系列高难度、高标准的手术顺利完成,再次证明了超远程^[26]、跨洲际机器人手术的安全性、可靠性。

3 “双中心”背景下5G远程机器人手术的发展机遇

在“双中心”背景下,5G远程机器人手术的发展为医疗服务模式带来了深远影响,它在提高医疗资源的利用效率和降低患者的就医成本与风险方面具有极大潜力。

3.1 提高优质医疗资源的可及性 5G远程机器人手术可以将顶级专家的诊疗能力传递到资源较匮乏的地区。区域医疗中心通过5G网络连接,能使该地区的患者获得高质量的手术服务,从而缩小医疗差距。此外,我国大型的医疗中心存在多院区诊疗模式,其多团队协作在疑难危重疾病的诊治中发挥着日益重要的作用。现阶段,国内5G普及率逐年提高,有望在不久的将来实现全面覆盖,进一步扩展远程机器人手术的应用范围,使更多患者获益。

3.2 提升区域医疗中心的手术效率与质量 国内多个地区已形成较为完善的政策和人员支持,在一定程度上展现出优势,既缓解了大医院人才拥挤问题,又改善了偏远地区人员、技术落后问题^[27-28]。当前,为实现区域间医疗服务同质化,全国各地积极探索和推进国家“双中心”建设。其中,中山大学附属肿瘤医院甘肃医院的成功建设成为区域医疗中心建设的典范^[28],为进一步加速“双中心”建设提供经验支持。

在传统手术环境中,专家亲自出诊往往面临诸多不便与高成本问题。由于地域限制,专家需要长途跋涉前往不同地区的医疗机构,这不仅耗费其大量的时间与精力,还伴随着高额的差旅费用支出。而5G远程手术技术的出现,巧妙地实现了手术场景中的“时空转换”。借助这一前沿技术,专家无需亲临现场,只需远

程操控手术机器人,就能精准地开展手术操作。如此一来,极大地减少了专家实际到场的必要性,有效地解决了因距离而产生的诸多困扰。同时,对于区域医疗中心而言,其手术效率得到了显著提升,能够更迅速地为患者安排手术,避免了因等待专家而造成的时间延误,让更多患者能及时获得高质量的手术治疗,有力地推动了医疗资源的高效配置与医疗服务水平的均衡提升。

3.3 实现多中心协作与教学 在5G通信技术的有力支撑下,多中心协作与实时数据传输不再是难题,从而为远程手术培训开辟了广阔前景。

“双中心”建设借助5G网络与其他众多中心紧密相连,一方面,专家们能够跨越地域限制开展深度协作并进行病例研讨,碰撞出更多智慧火花;另一方面,可充分发挥教学基地的职能,为年轻医生提供极为珍贵的实操指导。当下,机器人手术线下培训教学在胰腺外科及其他相关领域已经有了一定的实践应用^[29]。可以预见,随着远程技术的持续迅猛发展,远程外科手术培训必将在不久的将来取得更为显著的突破与成绩,有力地推动医疗人才培养体系的革新与进步。

3.4 促进分级诊疗制度的落实 构建“双中心”体系意义深远且作用重大。在这一体系之下,诊疗服务得以进行科学合理的分级化处理。助力“基层首诊、双向转诊、急慢分治、上下联动”分级诊疗模式的有效施行^[30]。通过明确各级医疗机构的功能定位与职责范围,让基层医疗机构承担起基础诊疗服务的重任,实现基层首诊的有序开展。对于超出基层诊疗能力的患者,能够顺畅地进行双向转诊,确保患者得到及时且适宜的救治。急慢分治则提高了医疗资源的利用效率,避免了医疗资源的浪费与错配。上下联动促进了各级医疗机构之间的协同合作,实现了医疗资源的共享与互补。如此一来,基层医疗机构的服务能力在实践与交流中不断获得提升,无论是医疗技术水平、诊断能力还是治疗手段都逐步得到完善与丰富,为广大人民群众享受更优质、便捷的医疗服务奠定坚实的基础。

4 “双中心”背景下 5G 远程机器人手术面临的挑战

4.1 网络基础设施建设 尽管 5G 技术以其显著的高速率和低延迟特性，为众多领域尤其是远程手术带来了前所未有的变革契机。然而，就当前的实际情况而言，其在全国范围内的覆盖广度与深度尚存在明显不足。在那些网络通信基础设施相对薄弱、欠发达的区域，5G 信号的传输稳定性面临着严峻挑战^[31]，难以确保其始终处于可靠状态。一旦在手术场景中遭遇此类状况，极有可能导致手术进行期间产生数据传输延迟、信号突然丢失等严重问题，这不仅会干扰手术的精准操作，更可能对患者的生命健康安全构成直接威胁。

4.2 手术机器人设备的成本与技术限制 机器人手术设备以其高精度、高稳定性和良好的可重复性在复杂手术中极具优势，是理想的手术工具。然而，在“双中心”建设进程中，它却遭遇了重重困境。首先是价格方面，其售价昂贵，使得众多医院在采购时受到预算的严重束缚。即使它能显著提升手术精度、减少人为失误并缩短手术时长，但高昂的采购成本让许多医院望而却步，尤其是那些医疗支出有限的医疗机构。而且，设备购置并非一劳永逸，后续的维护、升级以及技术支持都需要持续的资金投入，这无疑会进一步加剧医院的财务负担。其次是在技术方面，尽管 5G 技术为数据传输速度与精度提供了保障，但远程控制手术机器人时，其精度与实时反馈系统的性能仍有待改进。在复杂手术中，远程控制系统的稳定性欠佳，延迟、误差和不稳定的状况时有发生，极大地限制了远程手术的顺利开展。同时，市场上手术机器人设备品牌与型号繁多，兼容性差，不同品牌和型号的器械在设计与功能上的差异，导致手术过程中无法实现设备间的切换与协同操作，这在多学科合作的远程手术中更为突出。医院必须为每种设备配备专门的配件和工具，这不仅使操作变得更为复杂，还额外增加了医疗成本，而且使管理变得更加困难。

总之，虽然高精度手术机器人设备为医疗

行业带来了前所未有的变革，但在“双中心”建设中，成本高昂、操作受限、维护艰难、兼容性不佳等难题依旧突出。要想实现远程机器人手术的广泛应用，就必须依靠技术创新突破技术瓶颈，借助政策支持缓解资金压力，通过资源整合提升设备的协同性，如此才能推动设备的普及，达成医疗资源的优化配置与医疗服务的高效提升。

4.3 法律法规与伦理问题 远程手术涉及跨区域医疗操作，存在法律法规和伦理的多重问题。例如，手术过程中若出现问题，责任归属如何界定。此外，患者数据的传输和存储也面临隐私泄露和数据保护的挑战。各国和地区关于远程手术的法律法规仍不健全，需尽快建立标准和监管机制。

目前，部分成熟的 5G 机器人手术系统已经用于临床研究，但相关技术和操作流程尚未完全标准化^[32]，仍在摸索适合不同类型手术的技术规范和标准。为此，经过多年的经验总结，国内外相关规范、指南^[33-36]相继出台，并在实践中不断改进和完善^[37]。

4.4 医务人员的技术培训和适应性 远程手术需要医生不仅具备丰富的手术经验，还要熟悉远程手术系统的技术和设备。这对医务人员的技能提出了新要求，需要对其进行专门的培训和持续的技术更新。在手术操作过程中需要有技术成熟的专业人员（对口援助单位人员或本单位高职称手术人员）进行全程督察为手术安全保驾护航。

5 未来发展策略

5.1 加强网络基础设施建设 5G 远程机器人手术的推广应用，需要国家和地方政府加大对 5G 网络基础设施建设的投资，尤其是在偏远地区和医疗资源相对匮乏的地区。确保手术过程中的网络稳定性，是实现远程手术的关键。当前，相关研究中使用双卡信号传输、5G 政务专网等措施可在一定程度上解决这些问题^[13]。5G 政务专网虽然具有高速、低时延、大容量等优点，但同时也增加了网络安全风险^[38]。本研究团队在

数据传输中率先使用双物联网卡进行双向互联,根据术中使用时需求可随时进行双卡间自由切换,延迟率远小于 100 ms,在此基础上联合 5G 政务专网为手术安全实施保驾护航;此外,流量成本为 15~20 Gbps/h,在当前的通信资费标准下,网络通信费用明显降低^[39]。

随着网络通信技术的进一步革新,低轨道卫星通信技术与 5G 通信技术的融合不仅解决了部分地区 5G 网络通信差的问题,而且解决了卫星信号在城市高层建筑密集区域容易被遮挡的缺点^[40-41]。现阶段,二者的联合已在广播电视中得到应用,期待其在医疗信息化建设中投入使用。

5.2 推动设备技术和系统集成创新 推动设备技术和系统集成创新是实现 5G 远程机器人手术广泛应用的关键一步^[42]。在当前技术发展的基础上,机器人手术设备和 5G 通信技术的集成仍需持续改进。5G 通信技术为远程手术提供了理想的网络环境,但要将其与高精度的机器人手术设备进行有效融合,仍面临着一系列技术挑战。这些挑战不仅包括设备本身的技术改进,还涉及设备间的系统兼容性、网络连接的稳定性以及多项新兴技术的结合应用。

通过与人工智能(AI)和大数据技术的结合,机器人手术设备的性能和效能可以得到显著提升^[43]。人工智能在机器人手术中的应用,能够通过深度学习和算法分析大量医疗数据,提供精准的术前规划、实时手术辅助和术后评估。这种结合能够提升机器人手术的智能化水平,从而提升手术的精度与安全性。除技术创新外,降低设备成本和提高设备的通用性,也是推动机器人手术设备应用和普及的关键。高精度手术机器人设备的高昂价格和复杂的操作要求,往往限制了其推广应用。为了使机器人手术设备能够在更广泛的医疗环境中得到应用,降低设备的制造成本和简化操作流程成为亟待解决的问题。此外,提高设备的通用性是推动其广泛应用的另一个重要方面。当前市场上存在多种品牌和型号的机器人手术设备,设备之间的网络互联互通、手术器械及其他耗材相互

兼容等问题使得系统的集成和设备的管理变得较为复杂,而推动设备间的网络互联互通,并实现不同型号设备之间的兼容,能够大大提高设备的利用率,并减少因设备不兼容而造成的额外成本。例如,通过统一的通信协议和标准化接口,可以实现不同型号的手术机器人、手术器械和耗材之间的协同工作,不仅可以降低医院的设备采购成本,也能提高网络和设备资源的利用效率。

为此,推动设备技术和系统集成创新,特别是在 5G、人工智能、大数据等先进技术的支持下,能够显著提升机器人手术设备的精度、实时反馈能力和通用性。通过降低设备成本、提高设备兼容性和网络利用率,未来机器人手术设备有望在更多区域医疗中心得到广泛应用,为医疗服务的普及和提质增效提供强有力的支撑。

5.3 制定和完善法规与伦理规范 各国应尽快建立和完善远程手术的法律和伦理规范,明确责任划分、患者数据保护标准等^[39]。同时,制订跨区域手术的认证和审批制度,以确保远程手术的安全性和合法性。当前,国家关于中西部产业转移计划的实施有望进一步提高中西部地区的医疗发展,为“双中心”建设和远程医疗提供新动力^[44]。

5.4 开展广泛的技术培训与推广 “双中心”应建立专门的培训基地,为医务人员提供 5G 远程手术技术的学习和操作实践。通过多中心协作和国际合作,引入更多技术和专家资源,加快技术的推广和应用。此外,以“双中心”建设为契机,成立 5G 远程机器人外科专科联盟可推进远程医疗协作业务,向基层医疗卫生机构提供远程医疗相关服务,包括远程会诊、远程示教、远程培训、数字资源共享等多种功能为一体的远程医疗协助服务平台^[45-46]。

6 结论

5G 远程机器人外科在“双中心”背景下的发展充满机遇,它有望缩小区域医疗资源差距,改善优质医疗资源短缺等问题。然而,网络基

基础设施、设备成本、法律法规和伦理等挑战不容忽视。未来，需要在技术、政策、设备和培训等多方面进行协同发展，以实现5G远程机器人外科在区域医疗中心的广泛应用和不断优化。为解决医疗服务集中化及优化资源配置提供助力，为人类生命健康保驾护航。

利益冲突声明：本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明：张铭泽、郭玺、马于祺、周佳琦负责文献查阅；郭成旺负责文章的撰写；蔡辉、马云涛负责指导论文撰写及审查。

参考文献

- [1] 国家卫生计生委关于印发《“十三五”国家医学中心及国家区域医疗中心设置规划》[J]. 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会公报, 2017, (1): 6-11.
- [2] 国家卫健委办公厅印发《国家医学中心和国家区域医疗中心设置实施方案》[J]. 中国医院建筑与装备, 2019, (3): 16.
- [3] 《国家医学中心管理办法(试行)》和《国家区域医疗中心管理办法(试行)》政策解读[J]. 中国职业医学, 2023, 50(1): 52.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 田文, 姚京, 王冰, 等. 5G远程手术机器人辅助甲状腺癌根治术初步研究[J]. 中国实用外科杂志, 2024, 44(9): 1075-1077, 1080.
- [7] 朱仕银, 杨坚, 孔磊. 5G确定性网络关键技术研究 and 应用[J]. 电信科学, 2024, 40(8): 172-182.
- [8] Zender J, Thell C. Developing a successful robotic surgery program in a rural hospital[J]. Aorn J, 2010, 92(1): 72-83, quiz 84-86.
- [9] FAN G X, ZHOU Z, ZHANG H L, et al. Global scientific production of robotic surgery in medicine: a 20-year survey of research activities[J]. Int J Surg, 2016. DOI: 10.1016/j.ijsu.2016.04.048.
- [10] Acemoglu A, Peretti G, Trimarchi M, et al. Operating from a distance: robotic vocal cord 5G telesurgery on a cadaver[J]. Annals of Internal Medicine, 2020, 173(11): 940-941.
- [11] Marescaux J, Leroy J, Rubino F, et al. Transcontinental robot-assisted remote telesurgery: feasibility and potential applications[J]. Ann Surg, 2002, 235(4): 487-492.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Ebihara Y, Hirano S, Kurashima Y, et al. Tele-robotic distal gastrectomy with lymph node dissection on a cadaver[J]. Asian J Endosc Surg, 2024, 17(1): e13246.
- [15] 谭伦. 我国5G基站数突破270亿应用进入规模化发展新阶段[N]. 中国经营报, 2023-05-29(C01).
- [16] ZHENG J L, WANG Y H, ZHANG J, et al. 5G ultra-remote robot-assisted laparoscopic surgery in China[J]. Surgical Endoscopy, 2020, 34(11): 5172-5180.
- [17] 刘志学. 我国完成首例机器人辅助远程微创胆囊肿切除术动物实验[J]. 中国医药导报, 2015, 12(27): 170.
- [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] 王军强, 赵春鹏, 胡磊, 等. 远程外科机器人辅助经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.
- [20] 陈小叶. 顺利完成世界首例5G远程操控颅脑手术[J]. 中华医学信息导报, 2019, 34(6): 12.
- [21] 佚名. 我国5G超远程机器人人体肝胆手术在“浙”实现零的突破[J]. 今日科技, 2023, (3): 59.
- [22] 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(5).
- [23] 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.
- [24] 苑航, 杨学成, 骆磊, 等. 基于5G通讯技术的国产机器人辅助远程肾切除术初步结果分析[J]. 中华泌尿外科杂志, 2022, 43(3): 203-206.
- [25] 戴飞翔, 杜晓辉. 远程手术在胃肠外科领域应用的初步探索[J]. 中华胃肠外科杂志, 2024, 27(8): 779-783.
- [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] 彭理斌, 唐玲, 胡洋, 等. 基于远程托管模式医联体探索[J]. 解放军医院管理杂志, 2017, 24(2): 121-123.
- [28] 郑美琪, 黄金娟, 杨森, 等. 国家癌症区域医疗中心创建融合期实践探索[J/OL]. 中国肿瘤, 2024, 1-7[2024-12-18].http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2859.R.20241010.1628.002.html.
- [29] 李轲宇, 李昂. 模拟训练在机器人胰腺手术教学中的重要性及发展现状[J]. 中华肝胆外科杂志, 2024, 30(8): 635-640.
- [30] 浙江绍兴市柯桥区妇幼保健所妇女保健科. 国务院办公厅关于推进分级诊疗制度建设的指导意见[J]. 中国乡村医药, 2015, (20): 86-88.
- [31] 陈平彬. 5G通信技术在电子信息工程中的应用挑战与对策[C]. 第13届钢铁行业职业教育培训优秀多媒体课件活动系列研讨会, 2024: 3.
- [32] Avgousti S, Christoforou E G, Panayides A S, et al. Medical telerobotic systems: current status and future trends[J]. BioMedical Engineering OnLine, 2016, 15(1): 96.
- [33] 曹雨, 张修平, 刘荣. 机器人胰腺手术国际共识指南(2023版)进展与思考[J]. 中国普通外科杂志, 2024, 33(9): 1406-1413.
- [34] 中华医学会骨科学分会关节外科学组. 机器人辅助关节置换术操作规范(草案)[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2024, 17(9): 769-780.
- [35] 马云涛, 卢婷婷, 马世勋, 等. 《中国机器人胃癌手术指南》解读[J]. 中华腔镜外科杂志(电子版), 2021, 14(4): 193-200.
- [36] Mori M, Hirano S, Hakamada K, et al. Clinical practice guidelines for telesurgery 2022: committee for the promotion of remote surgery implementation, Japan Surgical Society[J]. Surg Today, 2024, 54(8): 817-828.
- [37] 张亚庆, 刘小蓝, 吴秀南. 建立5G超声远程诊断系统质量控制标准研究[J]. 智慧健康, 2024, 10(4): 19-22, 26.
- [38] 马晓凯. 5G政务专网网络安全体系建设的研究与实践[J]. 通讯世界, 2024, 31(10): 37-39.
- [39] 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.
- [40] 温越. 低轨道卫星5G技术在广播电视领域的融合分析研究[J]. 广播电视网络, 2024, 31(9): 67-70.
- [41] 郑欣悦, 宫文浩, 钟雨恒, 等. 基于北斗和5G的高层建筑密集道路联合定位方法[J]. 西部交通科技, 2024, (9): 182-184.
- [42] 邱金祥. 5G时代医疗信息化建设发展策略分析[J]. 网络安全技术与应用, 2024, (6): 114-116.
- [43] 毛翌皓, 冯青阳, 许剑民. 人工智能时代机器人结直肠癌手术的现状与进展[J]. 中华消化外科杂志, 2024, 23(4): 573-578.
- [44] 刘志强. 科学有序推进产业转移[N]. 人民日报, 2024-03-20(18).
- [45] 张小亮, 朱佳, 景慎旗, 等. 基于5G的专科联盟分级诊疗平台的构建与应用[J]. 中国数字医学, 2024, 19(9): 33-36, 56.
- [46] 杨升富, 欧伟光, 林薇薇. 5G+智慧医疗的应用实践[J]. 医疗装备, 2021, 34(21): 12-13.

收稿日期: 2024-12-04

编辑: 刘静凯