

## 面向方舱医院应急场景的多链路远程手术机器人系统创新设计与验证

贺杰<sup>1,2,7</sup>, 何昆仑<sup>3</sup>, 汤俊君<sup>2</sup>, 游永刚<sup>4</sup>, 陈雪松<sup>4</sup>, 马骏<sup>5</sup>, 李发根<sup>5</sup>, 刘光平<sup>2</sup>, 唐佩福<sup>1,2,6</sup>, 陈华<sup>1,2,6</sup>

<sup>1</sup>解放军医学院, 北京 100853; <sup>2</sup>解放军总医院第四医学中心骨科医学部, 北京 100048; <sup>3</sup>解放军总医院医学创新研究部, 北京 100853; <sup>4</sup>联勤保障部队第926医院骨科, 云南开远 100101; <sup>5</sup>北京红云融通技术有限公司, 北京 100043; <sup>6</sup>解放军总医院国家骨科与运动康复临床医学研究中心, 北京 100048; <sup>7</sup>联勤保障部队第989医院, 河南洛阳 471031

**摘要:** **背景** 既往灾害救援或野战急救中, 复杂战创伤常因前沿救治场所常无装备、无设备、无场地开展确定性手术。将高端医疗技术前推至一线, 实现后方专家救治能力向救治单元的快速投送, 是有效提升救治能力、减少因伤致死致残的重要手段。**目的** 探讨在方舱医院手术组模块开展基于多链路聚合传输系统的远程机器人辅助交互式手术技术的突破与应用前景。**方法** 分析2024年12月20日首台在方舱医院手术组模块内采用远程机器人辅助交互式手术行股骨颈骨折闭合复位内固定术的相关技术性指标, 包括远程手术的延迟时间、手术置钉时间及出血量等。**结果** 1例51岁男性患者, 因外伤致右侧股骨颈骨折, 前线医师依托专家远程指导、远程规划及远程监视精准完成手术操作。远程中心位于解放军总医院某医学中心(网络通讯距离为2 652 km), 手术方式为股骨颈骨折闭合复位微创螺钉置入。该手术整体总延迟为85 ms, 未出现数据包丢失现象; 专家远程规划时间10 min; 机器人辅助置入3枚螺钉, 平均每枚时间为10 min; 术中出血量10 mL; 在术中透视验证取得良好的复位效果, 术后无切口感染等术后并发症。**结论** 在方舱医院场景下首次实现骨折创伤的远程机器人辅助交互式手术, 该系统基于多链路聚合传输系统所构建, 整合方舱医院内各类信息系统, 可综合诊疗伤员, 提升救治效果。

**关键词:** 方舱医院; 人工智能; 骨折; 远程交互; 手术机器人

中图分类号: R687.1; TP24

文献标志码: B

文章编号: 2095-5227(2025)08-0743-05

DOI: 10.12435/j.issn.2095-5227.25011001

引用本文: 贺杰, 何昆仑, 汤俊君, 等. 面向方舱医院应急场景的多链路远程手术机器人系统创新设计与验证 [J]. 解放军医学院学报, 2025, 46 (8): 743-747.

### Innovative design and validation of a multi-link telesurgical robotic system for emergency scenarios in square pod hospitals

HE Jie<sup>1,2,7</sup>, HE Kunlun<sup>3</sup>, TANG Junjun<sup>2</sup>, YOU Yonggang<sup>4</sup>, CHEN Xuesong<sup>4</sup>, MA Jun<sup>5</sup>, LI Fagen<sup>5</sup>, LIU Guangping<sup>2</sup>, TANG Peifu<sup>1,2,6</sup>, CHEN Hua<sup>1,2,6</sup>

<sup>1</sup>Chinese PLA Medical School, Beijing 100853, China; <sup>2</sup>Department of Orthopaedic Surgery, the Fourth Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100048, China; <sup>3</sup>Medical Innovation Research Department of PLA General Hospital, Beijing 100853, China; <sup>4</sup>Department of Orthopaedics, No. 926 Hospital of the People's Liberation Army Joint Logistics Force, Kaiyuan 100101, Yunnan Province, China; <sup>5</sup>Beijing Red Cloud Rongtong Technology Co. Beijing 100043, China; <sup>6</sup>National Clinical Research Center for Orthopaedics & Sports Rehabilitation, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100048, China; <sup>7</sup>No. 989 Hospital of the Joint Logistics Support Force of the Chinese People's Liberation Army, Luoyang 471031, Henan Province, China

Corresponding author: CHEN Hua. Email: chenhua0270@126.com

**Abstract: Background** In the context of disaster medicine or combat casualty care, forward medical treatment facilities often lack the necessary equipment, devices, or space to perform definitive surgical procedures to complex trauma. Extending advanced medical technologies to the frontline battlefield and rapidly deploying the diagnostic and treatment capabilities of rear-area specialists to forward medical units are crucial measures for effectively enhancing the capability to treat combat injuries and reducing trauma-related mortality and disability. **Objective** To explore the breakthroughs and application prospects of remote robot-assisted interactive surgical technology based on a multi-link aggregation transmission system within the operating module of a containerized hospital surgical team. **Methods** The relevant technical indicators of the first closed reduction and internal fixation surgery for femoral neck fracture, which was performed via remote robot-assisted interactive surgery within the operating module of a containerized hospital surgical team on December 20, 2024, were analyzed. These indicators included the latency of the remote

收稿日期: 2025-01-10

第一作者: 贺杰, 在读硕士, 主治医师。Email: 1041748569@qq.com

通信作者: 陈华, 主任医师, 教授, 博士生导师。Email: chenhua0270@126.com

surgery, the time taken for screw placement, and the intraoperative blood loss. **Results** A 51-year-old male patient with fracture of the right femoral neck due to a traumatic injury was operated precisely by frontline doctors relying on expert tele-guidance, tele-planning and tele-surveillance. The remote center was established at a Medical Center of Chinese PLA General Hospital (network communication distance: 2 652 km), and the surgical procedure was performed via closed reduction and minimally invasive screw fixation for femoral neck fracture. The overall total delay of the surgery was 85 ms, with no packet loss. The expert remote planning took 10 minutes; the robotic system assisted in the insertion of three screws, with an average time of 10 minutes per screw. The intraoperative blood loss was 10 mL, and intraoperative fluoroscopy confirmed satisfactory reduction. The patient did not experience postoperative complications such as incision infection. **Conclusion** A remote robot-assisted interactive surgical procedure for fracture trauma is achieved for the first time in a containerized hospital setting. This system, built upon a multi-link aggregation transmission platform, integrates various information systems within the containerized hospital, enabling comprehensive diagnosis and treatment of the wounded and thereby improving the overall effectiveness of medical care.

**Keywords:** square cabin hospital; artificial intelligence; fracture; remote interaction; surgical robot

**Cited as:** He J, He KL, Tang JJ, et al. Innovative design and validation of a multi-link telesurgical robotic system for emergency scenarios in square pod hospitals[J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2025, 46(8): 743-747.

方舱医院是以医疗方舱为载体, 综合集成医疗与医技保障功能的现代化机动医疗系统<sup>[1]</sup>, 由医疗功能单元、病房单元和技术保障单元等部分构成, 主要承担重大灾害救援、应急支援保障、巡回医疗服务等任务<sup>[2]</sup>。传统的医疗救援方式难以及时有效地将后方强大的医疗能力投射到一线<sup>[3]</sup>。因此需要通过技术创新, 打破空间限制, 实现紧急情况下的 高效医疗驰援, 为战场前线提供混合智能远程医疗能力支撑<sup>[4-6]</sup>。随着技术的进步, 现代方舱医院在机械化、信息化水平和核生化防护能力上有了显著提升。逐步研发的智能化方舱医院建立了集指挥、医疗信息及远程会诊为一体的医院信息网络, 具备电子病历系统、医疗物资管理系统、云平台支撑及各项智能化设备, 可针对不同伤情进行伤员分类后送、紧急救命手术、早期外科处置、早期专科治疗、危重急救护理、X线诊断、临床检验、卫生器材灭菌、药材供应、医疗作业指挥、远程会诊等。本研究基于信息化的发展, 利用多链路聚合信息传输系统在方舱医院手术室搭建创伤骨科远程手术机器人系统, 通过在方舱医院内实施远程机器人交互式手术的技术研究, 探讨方舱医院实施远程手术的 必要条件及技术储备。

## 1 资料与方法

### 1.1 患者资料

患者, 男, 51岁, 外伤致右侧股骨颈骨折。查体: 右髋部疼痛, 活动受限, 右下肢有外旋、外展、短缩畸形。术前评估: 髋关节周围皮肤无破损, 无相关感染性病灶, 无微创闭合复位手术相关各项禁忌证。本研究已获得解放军总医院第四医学中心医学伦理委员会批准(批号: 2023KY147-KS001)。

### 1.2 方舱医院手术室配置

方舱医院手术室配备手术层流环境、恒温系统、氧气通道、负压吸引通道、麻醉系统、智能化麻醉药物储物柜及空气消毒系统等一系列无菌层流手术室相匹配的基础设施。整个手术舱体与方舱医院舱体结构采用一体化信息传输系统, 可保证手术室与指挥舱体、重症救治单元、麻醉复苏单元及医师护士工作单元等的信息互通, 利于诊疗流程一体化。见图1。



图1 方舱医院手术舱体布局

Fig. 1 Surgical module layout in mobile cabin hospital

### 1.3 方舱医院远程手术信息整合系统(多链路信息传输系统)

该系统基于远程医疗协同云平台 and 医疗虚拟专网, 通过面向战备方舱的多链路聚合传输算法实现高灵敏的网络接入和故障避让; 自动组合最佳传输路径, 避免单点故障导致的通信中断、网络拥塞导致的突发丢包和延时抖动。见图2。

### 1.4 方舱医院远程手术机器人系统

远程手术机器人系统由以下部分构成。(1)天玑骨科手术机器人: 同时具备脊柱全节段、创伤、四肢和关节手术的通用型骨科机器人(北京天智航公司生产的天玑3代1.0手术机器人, TiRobot), 手术精度小于0.8 mm, 提升手术效率25%以上, 降



图2 多链路信息传输系统-网络聚合网关硬件正、后视图

Fig. 2 Multi-link information transmission system - front and rear views of network aggregation gateway hardware

低放射线辐射危害95%以上<sup>[7-8]</sup>；(2)105°大开口三维透视C臂机：可进行快速三维CT扫描，并与天玑机器人实现影像学资料互通；(3)全透视多功能手术床：全碳纤维台面，可实现全身上下多维度、无死角透视，并可结合UCRT骨盆解锁复位装置，利于骨盆骨折的解锁复位<sup>[9]</sup>。

### 1.5 手术方法

患者于方舱手术室进行手术。采取仰卧位，全身麻醉后行骨折端闭合复位，纵向牵引患肢，恢复股骨颈长度，纠正内翻畸形，完成轴向牵引后将患肢足部极度内旋，髌骨朝向正上方，并适当内收患肢，恢复股骨颈自然前倾角度。通过牵引以及内旋、内收患肢，恢复颈干角。透视骨折部位正侧位，验证骨折复位情况。复位满意后，术区常规消毒铺单，患侧牵引连接于牵引装置。全透视多功能手术床调整至合适操作高度并确保天玑手术机器人

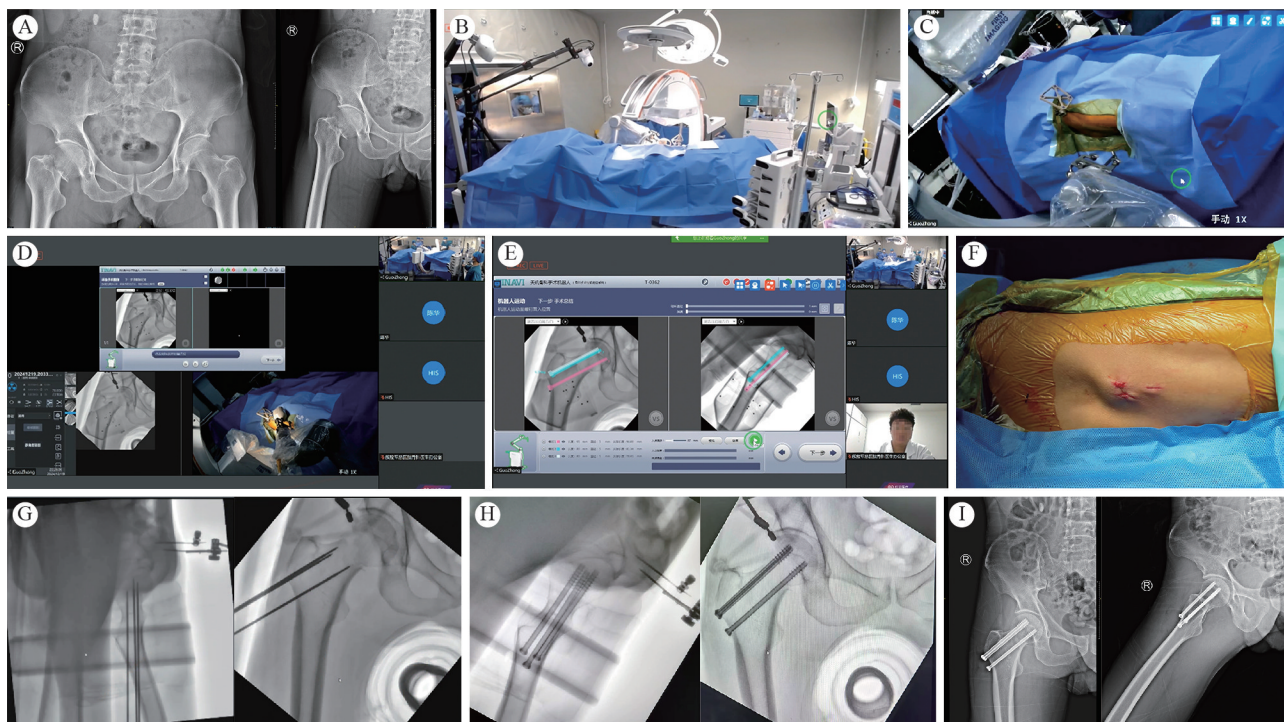
光学定位无遮挡，与术区周围选取稳定点打入标记患者部位的定位点。透视医师使用三维透视机对手术部位正位及侧位进行透视，并将机械臂标记点移动至术区，确保辅助定位器内部的刚性标记全部可见，结合辅助定位器按照特定序列分布的标记点进行图像分析匹配<sup>[10]</sup>。

远程专家位于解放军总医院第四医学中心远程手术中心，通过远程交互式手术系统，对接天玑手术机器人、三维透视C臂设备、手术麻醉/HIS系统和术区摄像头，实时追踪复位质量，可视频指导方舱内手术医师进行良好复位，实现远程交互式手术多个手术机器人的同步操控。骨折复位后，专家远程控制天玑骨科手术机器人系统，规划股骨颈3枚导针路径，方舱内手术医师按照专家规划导针路径，机械臂自动移至规划方向，到达预设路径后，依次钻入3枚导针，呈“品”字分布，进行长度测量后，依次拧入3枚7.3 mm半螺纹空心加压螺钉(2枚95 mm，1枚90 mm)。再次透视，可见螺钉置入满意，骨折固定牢固。切口皮内缝合<sup>[11]</sup>。见图3。

## 2 结果

### 2.1 手术效果

在远程指导、规划及监视下，前线医师顺利



A: 术前X线片；B: 方舱远程手术室术中场景；C: 远程控制机械臂工作画面；D: 专家远程指导机械臂界面；E: 专家远程规划螺钉界面；F: 术中切口外观照；G: 术中透视导针正侧位；H: 术中透视螺钉正侧位；I: 术后复查正侧位片。

图3 患者术前术后影像学资料及手术过程

Fig. 3 Pre- and postoperative imaging result of the patient and surgical procedure

完成手术, 远程中心位于解放军总医院第四医学中心(网络通讯距离为2 652 km), 手术方式为股骨颈骨折闭合复位微创螺钉置入。专家远程规划时间10 min; 机器人辅助置入3枚螺钉, 平均每枚时间为10 min; 术中出血量10 mL; 在术中透视验证取得良好的复位效果。该组患者术后无切口感染等术后并发症。

## 2.2 技术性能

该手术整体总延迟为85 ms, 未出现数据包丢失现象, 数据传输稳定, 天玑手术机器人远程控制下置入螺钉导针的精度始终保持在1 mm内, 实现了低延时、高清晰度远程影像传输, 可保证术中操作者与远程专家实现手眼同步。

## 3 讨论

方舱医院作为现代化机动医疗系统的代表, 其核心价值在于快速响应重大灾害与战场急救需求。传统方舱医院受限于网络稳定性、手术环境及医疗资源分布不均等问题, 难以在前线开展复杂确定性手术<sup>[12-13]</sup>。本研究通过技术集成与创新, 首次在方舱医院场景下实现了基于多链路聚合传输系统的远程机器人辅助交互式手术, 为战创伤救治提供了全新的解决方案。本研究的技术突破与核心优势在于其采用的多链路聚合传输算法(MLA-LP)通过动态整合卫星、5G、有线网络等异构链路资源, 实现了总延迟85 ms且无数据包丢失的高效传输。相较于传统单一网络依赖, 如美军陆军机动外科医院(Mobile Army Surgical Hospital, MASH)系统仅依赖卫星通信<sup>[14]</sup>, MLA-LP算法通过实时链路侦测与带宽预测, 动态分配数据流量, 显著提升了复杂电磁环境下的网络鲁棒性。这一技术突破了弱网环境下远程手术的关键瓶颈。高精度机器人系统的精准操作, 天玑骨科手术机器人(精度 $<0.8$  mm)与三维C臂机的协同应用, 实现了股骨颈骨折闭合复位的亚毫米级定位。术中远程专家通过交互式系统实时规划螺钉导针路径(平均规划时间10 min), 前线医师按规划路径操作机器人置入螺钉(平均每枚10 min), 相比传统手术效率提升25%以上。此外, 机器人辅助显著降低了术中辐射暴露(减少95%)和出血量(仅10 mL), 体现了微创化与精准化的双重优势<sup>[15-18]</sup>; 方舱手术室的信息化集成: 本研究设计的智能化手术舱体不仅符合无菌层流标准, 还整合了麻醉系统、影像设备与远程协同平台。舱体通过一体化信息传输系统与指挥单元、重症监护单元互联, 形成闭环救治流

程, 避免了传统野战手术中信息孤岛的问题。在战场环境下, 危重伤员转运风险极高, 尤其是骨盆骨折、脊柱损伤等复杂战创伤, 二次损伤率可达30%以上<sup>[13]</sup>。本研究通过远程机器人手术将后方专家的技术能力直接投射至前线, 使确定性手术前移成为可能。这一模式不仅缩短了救治时间窗(较传统后送流程缩短50%以上), 还显著降低了感染率与并发症发生率(本组患者术后无切口感染), 为未来战场“黄金1小时”救治提供了技术支撑。

现有远程手术研究多聚焦于5G环境下的择期手术, 如Li等<sup>[4]</sup>报道的泌尿外科远程手术, 依赖稳定的城市网络环境, 且手术场景多为非紧急情况。而本研究针对战创伤救治的弱网、高干扰特性, 通过多链路聚合技术实现了复杂环境下的稳定传输。如在带宽不足时, 系统优先传输关键数据(如机器人控制指令与三维影像), 次要数据(如高清视频流)则动态降级, 确保核心操作的连续性。这一策略相比传统“一刀切”传输模式更具实战适应性。与外军相比, 美军MASH系统虽具备快速部署能力, 但其手术范围局限于清创、止血等基础操作, 缺乏精准影像与机器人辅助设备<sup>[14]</sup>。而本研究通过天玑机器人系统与三维C臂机的整合, 支持复杂骨折的闭合复位与内固定, 手术精度达到亚毫米级, 相比Gilani等<sup>[18]</sup>报道的机器人骨盆固定技术(误差约1.5 mm)更为精准。此外, 智能化方舱医院的信息集成度更高, 可实时对接后方多学科专家, 形成“前线-后方”联合作战救治模式, 填补了传统野战医疗的空白。Satava<sup>[6]</sup>于1993年提出远程手术的框架设想, 但未解决网络不稳定问题; Marescaux等<sup>[19]</sup>的跨大西洋机器人手术依赖专用光纤, 难以推广至战场。相比之下, 本研究提出的多链路聚合技术更具普适性, 可适配多种通信媒介, 在2 652 km超远距离传输中仍保持低延迟, 为未来全域作战医疗提供了可复制模板。

尽管多链路聚合技术显著提升了网络稳定性, 但在高强度电子对抗或基站损毁场景下<sup>[20]</sup>, 现有系统仍依赖公共卫星链路, 易受敌方干扰。若卫星信号被屏蔽, 系统可能被迫切换至低带宽地面网络, 导致影像传输分辨率下降, 影响远程专家的术中决策; 当前方舱手术室的部署需依赖重型运输工具, 且对电力供应要求较高(需持续稳定电源)。在高原、沙漠等恶劣地形中, 设备展开效率可能受限。此外, 机器人系统的防尘、防震性能尚未经过极端环境验证, 需进一步优化机械结构

设计。本研究目前仅验证了骨科创伤手术的可行性，而战场多发伤常涉及颅脑、胸腹等多部位联合损伤。如何将远程交互系统拓展至神经外科、普外科等领域，仍需攻克跨学科设备兼容性与操作协同性难题<sup>[21-22]</sup>。

在未来的研究中，需重点开发基于量子加密的卫星专网，结合定向天线与跳频技术，提升信号抗截获与抗干扰能力<sup>[23]</sup>。同时，可探索边缘计算与本地AI辅助决策的结合，在网络中断时由前线系统自主执行部分操作。机器人系统的模块化与轻量化设备设计，研发可快速拆装的模块化手术机器人，采用碳纤维材料减轻重量，并集成自供电系统(如燃料电池或太阳能板)。可参考美军“可穿戴手术舱”概念<sup>[4]</sup>，将核心设备小型化，适应单兵携行需求。多学科远程救治平台构建未来需将骨科机器人系统与神经导航、胸腔镜等设备整合，构建全域战创伤救治平台。如通过同一聚合网关接入多学科专家，实现颅脑血肿清除与胸腔止血的同步远程指导，提升多发伤救治效率。

综上所述，本研究通过技术创新与系统集成，成功验证了方舱医院内远程机器人辅助交互式手术的可行性。其核心价值在于突破了传统战创伤救治的空间限制，通过低延迟网络、高精度机器人及信息化方舱的协同，实现了复杂骨折的确定性前线治疗。与现有研究相比，本系统的弱网适应能力、多链路冗余设计及军事化应用场景更具前瞻性。尽管在极端环境适应性与多学科拓展方面仍存在挑战，但本研究为智能化战备医疗体系的建设提供了重要技术储备。未来通过实战化演练与跨领域技术融合，有望推动远程手术从“实验室创新”向“战场标配”的跨越，最终实现“救治前移、效率倍增”的军事医学目标。

**作者贡献** 贺杰：文章撰写，文章构思；汤俊君、游永刚、陈雪松、刘光平、马俊、李发根：资料收集和整理；何昆仑：框架设计；陈华、唐佩福：对文章的知识性内容作批评性审阅。

**利益冲突** 在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突；经费支持不影响文章观点及其报道。

#### 参考文献

- 孟文文, 代云婷, 张琳, 等. 骨髓腔输液在战场创伤复苏中的应用 [J]. 军事医学, 2023, 47 (6): 477-480.
- 周潘宇, 夏德萌, 王霄人, 等. 综合模拟训练法在战创伤急救实践课程中的应用研究 [J]. 军事医学, 2018, 42 (5): 326-329.

- McKnight G, O' Reilly D, Guthrie H, et al. Lessons from the use of telemedicine in the austere military environment and the implications for deployed surgical teams [J]. *BMJ Mil Health*, 2024, 170 (2): 146-149.
- Li JM, Yang XC, Chu GD, et al. Application of improved robot-assisted laparoscopic telesurgery with 5G technology in urology [J]. *Eur Urol*, 2023, 83 (1): 41-44.
- Wang Y, Ai Q, Zhao WY, 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.
- Satava RM. Surgery 2001 [J]. *Surg Endosc*, 1993, 7 (2): 111-113.
- Liu HS, Duan SJ, Xin FZ, et al. Robot-assisted minimally-invasive internal fixation of pelvic ring injuries: a single-center experience [J]. *Orthop Surg*, 2019, 11 (1): 42-51.
- Tian W, Fan MX, Zeng C, et al. Telerobotic spinal surgery based on 5G network: the first 12 cases [J]. *Neurospine*, 2020, 17 (1): 114-120.
- Chen H, Zhang Q, Wu Y, et al. Achieve closed reduction of irreducible, unilateral vertically displaced pelvic ring disruption with an unlocking closed reduction technique [J]. *Orthop Surg*, 2021, 13 (3): 942-948.
- 曹文豪, 王中鹤, 李嘉琦, 等. HoloSight 创伤骨科手术机器人辅助二窗螺钉植入治疗髋臼骨折的临床研究 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2024, 38 (6): 696-702.
- Honkanen J, Forsbacka N, Strengell I, et al. Comparable results for the Femoral Neck System and three-screw fixation in femoral neck fracture treatment [J]. *OTA Int*, 2024, 8 (1): e351.
- 薛春燕, 苗素琴, 曹罡, 等. 中外联合演训野战手术车和网架手术帐篷在大批量手术伤员救治中的应用 [J]. 东南国防医药, 2019, 21 (6): 568-570.
- Geringer MR, Stewart L, Shaikh F, et al. Epidemiology and timing of infectious complications from battlefield-related burn injuries [J]. *Burns*, 2024, 50 (9): 107200.
- Bricknell MC. Observations from the Korean war for modern military medicine [J]. *Uisahak*, 2023, 32 (3): 787-828.
- 陈华, 蒋斌, 张群, 等. 智能监视系统辅助闭合复位治疗复杂骨盆骨折一例 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2020, 34 (7): 874-877.
- 何立, 陈华, 易成腊. 骨盆解锁复位架联合智能可视化系统辅助复位与固定治疗 Tile C1 型骨盆骨折 [J]. 中华骨科杂志, 2023, 43 (19): 1308-1315.
- Zhao CP, Cao QY, Sun X, et al. Intelligent robot-assisted minimally invasive reduction system for reduction of unstable pelvic fractures [J]. *Injury*, 2023, 54 (2): 604-614.
- Gilani S, Mohamed M, Hartley B, et al. The use of a robotic arm for fixation of pelvic fractures [J]. *J Orthop Trauma*, 2023, 37 (11S): S28-S32.
- Marescaux J, Leroy J, Gagner M, et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery [J]. *Nature*, 2001, 413 (6854): 379-380.
- 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.
- 谭雅宁. 对优化我国远程医学发展模式的几点思考 [J]. 军事医学, 2018, 42 (6): 476-477.
- 贺杰, 曹文豪, 陈志广, 等. 创伤骨科远程手术机器人系统远程治疗 Tile C1.3 型骨盆环损伤一例 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2025, 39 (1): 123-125.
- 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.