

基于SHEL模型的智慧骨科机器人术中突发不良事件核查清单的研究

刘佳佳^{1,4}, 周武红², 邱晨^{3,4}, 胡星星³, 张乐^{1,4}

¹解放军总医院第一医学中心麻醉科, 北京 100853; ²联勤保障部队第984医院门诊部, 北京 100094;

³解放军总医院第四医学中心骨科医学部, 北京 100048; ⁴解放军医学院, 北京 100853

摘要: **背景** 智慧型骨科机器人手术虽能提升精确性和安全性, 但其术中可能因算法错误、机械故障或人为操作问题引发突发不良事件, 而现有指南缺乏系统化的应急策略。**目的** 构建智慧骨科机器人术中突发不良事件核查清单。**方法** 基于SHEL模型, 通过研究相关文献和理论分析搭建智慧骨科机器人术中突发不良事件核查体系的初步清单; 采用专家函询法, 对17名相关领域专家开展两轮函询, 最终确定核查清单。**结果** 根据SHEL模型, 将术中突发不良事件的风险点划分为软件相关事故、硬件相关事故、环境相关事故、人员相关事故、交互相关事故5个维度, 最终形成包括5个一级条目、15个二级条目、35个三级条目的智慧骨科机器人突发不良事件核查清单。**结论** 基于SHEL模型构建了智慧骨科机器人术中突发不良事件核查清单, 以期凭借其全面性、科学性、实用性与可行性, 提高智慧骨科机器人手术的管理水平, 降低突发不良事件发生率, 确保手术质量和患者生命安全。

关键词: 机器人外科手术; SHEL模型; 智慧机器人; 骨科手术; 不良事件; 核查清单

中图分类号: R687.1; R248.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-5227(2025)08-0748-06

DOI: 10.12435/j.issn.2095-5227.24121201

引用本文: 刘佳佳, 周武红, 邱晨, 等. 基于SHEL模型的智慧骨科机器人术中突发不良事件核查清单的研究 [J]. 解放军医学院学报, 2025, 46 (8): 748-753.

Constructing a intraoperative emergency checklist for intelligent orthopedic robot surgery based on SHEL Model

LIU Jiajia^{1,4}, ZHOU Wuhong², QIU Chen^{3,4}, HU Xingxing³, ZHANG Le^{1,4}

¹Department of Anesthesiology, the First Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100853, China; ²Outpatient Department of the 984th Hospital of the Logistics Support Force, Beijing 100094, China; ³Senior Department of Orthopedics, the Fourth Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100048, China; ⁴Chinese PLA Medical School, Beijing 100853, China

Corresponding author: ZHANG Le. Email: 278954982@qq.com

Abstract: Background Although intelligent orthopedic robotic surgery can enhance precision and safety, intraoperative emergencies may arise due to algorithm errors, mechanical failures, or human operational mistakes. However, existing guidelines lack systematic emergency response strategies. **Objective** To develop an intraoperative emergency checklist for intelligent orthopedic robots. **Methods** Based on the SHEL model, a preliminary framework for the emergency checklist system during surgeries with intelligent orthopedic robots was established through literature review and theoretical analysis. The expert consultation method was employed, involving two rounds of Delphi surveys conducted with 17 experts in relevant fields to finalize the checklist. **Results** Following the SHEL model, the risk points for intraoperative emergencies were categorized into five dimensions: software-related incidents, hardware-related incidents, environment-related incidents, personnel-related incidents, and interaction-related incidents. Ultimately, a checklist for intelligent orthopedic robot emergencies was constructed, consisting of 5 primary items, 15 secondary items, and 35 tertiary items. **Conclusion** The intraoperative emergency checklist for intelligent orthopedic robots has been constructed based on the SHEL model. With its comprehensiveness, scientific rigor, practicality, and feasibility, the checklist aims to enhance the management of intelligent orthopedic robot surgeries, reduce emergency incidence rates, and ensure surgical quality and patient safety.

Keywords: robotic surgical procedures; SHEL model; intelligent robots; orthopedic surgery; emergencies; checklist

Cited as: Liu JJ, Zhou WH, Qiu CH, et al. Constructing a intraoperative emergency checklist for intelligent orthopedic robot surgery based on SHEL Model[J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2025, 46(8): 748-753.

智慧型骨科机器人展现出卓越的精确度、稳定性以及智能化特征, 能够执行精确的手术规划、

实时导航及智能辅助操作, 从而显著提升骨科手术的精确性和安全性。然而, 作为一种复杂的医疗系统, 智慧骨科机器人也会遭遇各类术中突发不良事件, 如算法错误、数据处理偏差、机械臂定位不准、传感器失灵等问题, 导致手术规划或

收稿日期: 2024-12-12

基金项目: 护理创新与培育专项计划(培育)项目(2021HL075)

第一作者: 刘佳佳, 主管护师。Email: liujiajia0517@sina.com

通信作者: 张乐。Email: 278954982@qq.com

实时导航出现偏差,影响手术精度和安全性等^[1]。突发不良事件发生时医护人员的应急反应水平将直接影响手术质量与患者生命安全。现行的机器人手术共识指南及操作手册主要涵盖了手术的安全性、可行性、适应证、技术方法、成本效益分析等方面,对于术中可能出现的紧急情况 and 应对策略的描述则相对不足。SHEL模型是一种用于系统化分析人因事故的工具,涵盖了软件(Software)、硬件(Hardware)、环境(Environment)、人员(Liveware)4个关键要素。在医疗领域,SHEL模型的应用日益广泛,尤其是在进行复杂医疗系统和先进医疗设备的分析时,该模型为人机交互、设备性能、环境因素、操作流程等方面的综合分析提供了一个全面的理论框架^[2],可以系统地识别智慧骨科机器人术中可能出现的突发不良事件风险点,对减少不良事件的发生、保证患者安全具有重要意义。本研究基于SHEL模型提取突发不良事件风险因素,科学构建智慧骨科机器人术中突发不良事件核查清单,以期能够提高智慧骨科机器人手术的管理水平,降低突发不良事件发生率,确保手术质量和患者生命安全。

1 对象与方法

1.1 建立研究小组

研究小组由骨外科学副主任医师1名、设备科技术骨干1名、麻醉科护士长1名及麻醉科护理研究生1名构成,均为中级以上职称。主要职责包括:(1)拟定智慧骨科机器人术中突发不良事件核查清单初稿;(2)遴选参与专家,并详尽记录会议内容;(3)拟定访谈提纲、挑选函询专家、制定函询问卷。

1.2 拟定核查清单

1.2.1 确定研究问题 基于PICO方法确定研究问题。P(对象/问题):接受机器人辅助手术的患者/团队;I(干预):实施术中突发不良事件核查清单;C(对照):未实施核查清单(常规管理或传统管理流程);O(结局):突发不良事件的管理效率、患者安全指标、术中并发症发生率、团队沟通与配合、术后恢复等。

1.2.2 检索策略 选定原始研究的数据库,如中国生物医学文献数据库、万方数据库、CNKI、PubMed、EMbase、UpToDate、JBI循证卫生保健国际合作中心图书馆、Cochrane Library等数据库。确定证据资源来源后选择恰当的检索词,采用主题词与自由词结合的方式进行检索。中文检索词:智慧骨科机器人/

智能骨科机器人/骨科手术机器人/机器人辅助骨科手术/骨科手术导航系统;术中突发不良事件/术中并发症/手术意外/手术风险/术中事故/术中紧急事件/手术应急处置/围术期危机事件/手术应急管理;检核表/核查清单/安全核查表/应急响应框架/风险管理体系/评价指标。英文检索词:Smart Orthopedic Robot/Intelligent Robotic Surgery/AI-assisted Orthopedic Robot/Computer-assisted Orthopedic Surgery/Robotic Surgical Procedures; Intraoperative Emergencies/Surgical Complications/Critical Incidents/Unexpected Events/Intraoperative Complications; Checklist System/Safety Protocol/Emergency Response Framework/Risk Management System/Checklist/Patient Safety; Artificial Intelligence/Machine Learning/Orthopedic Procedures/Orthopedics。检索时间为建库至2024年3月。同时,追溯纳入文献的参考文献以保证检索的全面性。

1.2.3 初步拟定核查清单 研究小组对纳入文献进行整理分析,依据术中常见突发不良事件及其成因,结合以往应对经验,参照相关指南与共识材料,遵循科学严谨、系统全面的原则,基于SHEL理论框架初步构建智慧骨科机器人突发不良事件核查清单。

1.3 编制专家函询问卷

依据SHEL模型,本研究初步构建了智慧骨科机器人突发不良事件核查清单,并据此设计了第1轮专家咨询问卷,该问卷内容涵盖以下3个主要部分。(1)问卷导言部分,旨在阐述研究目的、背景以及问卷填写指南。(2)问卷主体部分,详细列出了各级指标的名称及其具体内涵,并运用Likert五级评分法对指标条目的重要性进行量化评估,从“极不重要”至“极为重要”,分别对应1~5分。此外,问卷还提供了“修改意见”“建议添加”栏目,以供专家对现有指标进行修订和完善。(3)专家信息调查表,旨在收集专家的基本资料、判断依据以及对问卷内容的熟悉程度。

1.4 专家函询

2024年8月,本研究采用目的性抽样法,邀请相关领域专家进行德尔菲函询。专家的遴选标准:(1)在智慧骨科机器人相关领域拥有超过5年的从业经验,包括机器人手术医疗专家(如外科医师、麻醉师)、护理专家(如手术室护士、护理管理人员)、机器人工程师(负责机器人设计与维护);(2)担任副高级职称及以上的专业技术职务;(3)在机器人外科

领域拥有显著的研究成果,如发表的学术论文数量 ≥ 5 篇,参与的临床试验或研究项目具有一定规模,能够提供全面的指导与建议;(4)具备处理机器人手术过程中突发不良事件的能力与素养,在实际手术中经历过突发不良事件处理,且有成功案例;(5)自愿参与本次研究。

每轮的完成时间限制为2周。在第1轮问卷调查结束后,研究团队对回收的问卷进行数据的汇总、整理和分析,针对专家们提出的宝贵意见和建议进行了深入讨论。基于这些反馈信息,研究小组修订并制订了新一轮的德尔菲问卷,直至问卷调查中没有出现新的修改意见。指标入选条件:(1)重要性评分均值 ≥ 4 分;(2)变异系数 ≤ 0.20 ;(3)满分率 $\geq 10\%$ 。在未完全符合既定条件的情况下,应征询专家意见,并通过研究团队的集体讨论,最终决定是否将相关条目纳入核查清单。

1.5 统计学方法

量性数据由双人录入Excel 2019,采用SPSS 20.0进行统计学分析,计数资料以例数(百分比)表示,计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 描述,偏态数据以 $M(IQR)$ 表示。专家积极性用问卷有效回收率表示;专家判断系数(Ca)是由专家在骨科机器人手术相关领域的知识、经验、技能因素综合得出的数值;专家熟悉程度系数(Cs)是依据专家对骨科机器人手术相关领域的熟悉程度进行的5个级别评分;专家权威性以权威系数(Cr)表示, $Cr=(Ca+Cs)/2$;专家间的协调程度则通过变异系数和肯德尔和谐系数来衡量。

权重的确定基于德尔菲过程中专家对各指标重要性的评分。函询专家在问卷中对一级、二级及三级指标的重要性进行评分,所得重要性均值及满分率作为权重确定的基础指标。随后,研究小组结合专家评分结果,采用优序图法对指标权重进行科学计算和层级划分,以确保权重分配的合理性和客观性。

2 结果

2.1 函询专家一般资料

本研究邀请了17名在相关领域具有深厚专业知识的专家参与,进行了两轮德尔菲问卷函询。专家年龄为28~55(39.40 \pm 9.10)岁,工作年限中位数为17(IQR: 9.00~25.50)年。性别构成为男性6名(35.29%),女性11名(64.71%);学历层次包括研究生13名(76.48%),本科4名(23.53%)。专家工作领域:护理学专家9名(52.95%),骨科临床医师3

名(17.65%),麻醉科医师2名(11.76%),机器人临床应用专家3名(17.65%),机器人技术专员2名(11.76%)。所邀请专家来自解放军总医院各医学中心,从而保证了专家来源的多样性和代表性。

2.2 专家积极程度和权威系数

以问卷有效回收率反映专家积极程度。本研究共进行了两轮专家函询,每轮函询均发放问卷17份,全部有效收回,有效回收率为100%。本研究中两轮函询专家判断系数(Ca)为0.923,专家熟悉程度(Cs)为0.840,专家权威系数(Cr)为0.882。

2.3 专家意见协调程度

本研究第1轮、第2轮专家函询肯德尔和谐系数分别为0.243~0.254、0.216~0.263,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表1。

表1 两轮函询专家意见的协调程度

Tab. 1 Coordination level of expert opinions across two consultation rounds

指标	第1轮咨询			第2轮咨询		
	肯德尔和谐系数	χ^2 值	P值	肯德尔和谐系数	χ^2 值	P值
一级指标	0.243	18.336	<0.001	0.216	14.667	0.005
二级指标	0.254	59.825	<0.001	0.263	66.954	<0.001
三级指标	0.249	152.713	<0.001	0.234	135.529	<0.001

2.4 专家咨询意见及指标修订

在第1轮专家函询中,共收到9条修改意见。研究小组对每条意见进行了统计,明确提出该意见的专家人数,结合专家观点及相关文献进行了深入讨论。对于多数专家认可的意见,研究小组予以采纳并进行了相应的调整;对于存在分歧的意见,组织专题讨论,综合各方观点及实际应用需求,最终达成共识,决定是否进行修改。经此过程,完成二级指标的修改2项,三级指标的修改5项,并新增三级指标2项。具体调整包括:(1)二级指标中,“手术室环境异常”修订为“手术室物理环境异常”,“手术人员操作错误”修订为“手术团队人为错误”;三级指标中,“数据延迟”修改为“数据处理延迟”等;(2)新增三级指标“电源不稳定”“空气质量差”。基于上述专家反馈,形成了第2轮专家函问卷。

第2轮专家反馈后,研究小组对反馈意见进行了再次汇总,对少数提出的修改建议进行了评估和讨论。鉴于第2轮专家意见趋于一致,且未出现新的重大修改建议,清单未进行进一步实质性调整。

第2轮专家评分结果显示,一级指标的重要性赋值均值范围为4.18~4.82,满分率17.60%~82.40%;二级指标的重要性赋值均值范围为4.12~4.82,满分率为11.80%~88.20%;三级指标的重要性赋值均值范围为4.06~4.88,满分率17.60%~88.20%。最终形成包含5个一级条目、15个二级条目和35个三级条目的智慧骨科机器人突发不良事件核查清单。见表2。

表2 核查清单及权重表

Tab. 2 Item and weight in checklist

项目	重要性赋值/(分, $\bar{x}\pm s$)	变异系数	满分率/%	权重	组合权重
1 软件相关事故	4.82±0.39	0.081	82.40	0.360	
1.1 系统软件突发不良事件	4.82±0.39	0.081	82.40	0.750	0.270
1.1.1 系统崩溃	4.82±0.39	0.081	82.40	0.375	0.101
1.1.2 数据丢失	4.59±0.51	0.111	58.80	0.063	0.017
1.1.3 功能异常	4.82±0.39	0.081	82.40	0.375	0.101
1.1.4 数据处理延迟	4.77±0.44	0.092	76.50	0.188	0.051
1.2 手术规划软件错误	4.59±0.51	0.111	58.80	0.250	0.090
1.2.1 算法错误	4.59±0.51	0.111	58.80	1.000	0.090
2 硬件相关事故	4.65±0.49	0.106	64.70	0.280	
2.1 机械臂突发不良事件	4.82±0.39	0.081	82.40	0.438	0.123
2.1.1 机械臂运动异常	4.88±0.33	0.068	88.20	0.556	0.068
2.1.2 精度偏差	4.77±0.44	0.092	76.50	0.111	0.014
2.1.3 关节卡死	4.82±0.39	0.081	82.40	0.333	0.041
2.2 视觉系统突发不良事件	4.35±0.49	0.113	35.30	0.188	0.053
2.2.1 图像模糊	4.24±0.44	0.103	23.50	0.111	0.006
2.2.2 图像中断	4.59±0.51	0.111	58.80	0.556	0.029
2.2.3 图像延迟	4.35±0.49	0.113	35.30	0.333	0.018
2.3 能源系统突发不良事件	4.53±0.51	0.114	52.90	0.313	0.088
2.3.1 电源中断	4.77±0.44	0.092	76.50	0.444	0.039
2.3.2 电源不稳定	4.77±0.44	0.092	76.50	0.444	0.039
2.3.3 电路异常	4.41±0.51	0.115	41.20	0.111	0.010
2.4 传感器突发不良事件	4.12±0.33	0.081	11.80	0.063	0.018
2.4.1 力反馈传感器失效	4.41±0.51	0.115	41.20	0.250	0.004
2.4.2 位置传感器失效	4.59±0.51	0.111	58.80	0.750	0.013
3 环境相关事故	4.35±0.49	0.113	35.30	0.120	
3.1 手术室物理环境异常	4.18±0.39	0.094	17.60	0.111	0.013
3.1.1 温湿度不在推荐范围内	4.24±0.44	0.103	23.50	0.438	0.006
3.1.2 有害气体浓度超限	4.12±0.33	0.081	11.80	0.188	0.002
3.1.3 空气交换次数不足	4.06±0.24	0.060	17.60	0.063	0.001
3.1.4 颗粒物浓度超标	4.18±0.39	0.094	17.60	0.313	0.004
3.2 电磁干扰	4.41±0.51	0.115	41.20	0.333	0.040
3.3 网络中断	4.88±0.33	0.068	88.20	0.556	0.067
4 人员相关事故	4.17±0.39	0.094	17.60	0.040	
4.1 手术团队人为错误	4.47±0.51	0.115	47.10	0.250	0.010
4.1.1 操作失误	4.65±0.49	0.106	64.70	0.360	0.004
4.1.2 沟通失误	4.18±0.39	0.094	17.60	0.040	<0.001
4.1.3 判断失误	4.35±0.49	0.113	35.30	0.160	0.002
4.1.4 团队协作不当	4.35±0.49	0.113	35.30	0.160	0.002
4.1.5 应急处置不当	4.59±0.51	0.111	58.80	0.280	0.003
4.2 医患沟通不畅	4.59±0.51	0.111	58.80	0.750	0.030
4.2.1 患者信息的遗漏或误读	4.35±0.49	0.113	35.30	0.500	0.015
4.2.2 患者术前准备偏差	4.35±0.49	0.113	35.30	0.500	0.015

续表

项目	重要性赋值/(分, $\bar{x} \pm s$)	变异系数	满分率/%	权重	组合权重
5 交互相关事故	4.41±0.51	0.115	41.20	0.200	
5.1 软件-硬件交互相关事故	4.18±0.39	0.094	17.60	0.063	0.013
5.1.1 软件规划与硬件存在时间差	4.59±0.51	0.111	58.80	0.250	0.003
5.1.2 硬件传感与软件识别存在空间信息差	4.71±0.47	0.100	70.60	0.750	0.009
5.2 硬件-环境交互相关事故	4.59±0.51	0.111	58.80	0.188	0.038
5.2.1 硬件与环境不匹配	4.41±0.51	0.115	41.20	1.000	0.038
5.3 人员-环境交互相关事故	4.65±0.49	0.106	64.70	0.313	0.063
5.3.1 空间布局不合理	4.47±0.51	0.115	47.10	0.222	0.014
5.3.2 照明系统不恰当	4.47±0.51	0.115	47.10	0.222	0.014
5.3.3 设备放置不合理	4.53±0.51	0.114	52.90	0.556	0.035
5.4 人员-软件-硬件交互相关事故	4.82±0.39	0.081	82.40	0.437	0.087
5.4.1 人机界面设计不合理	4.29±0.47	0.109	29.40	0.750	0.066
5.4.2 硬件系统的反馈信息不准确	4.18±0.39	0.094	17.60	0.250	0.022

3 讨论

智慧骨科机器人作为医疗技术与智能化发展的重要成果, 凭借微创化、精准化和高效化的优势, 已在临床中得到广泛应用。然而, 手术机器人系统结构复杂, 牵涉多方主体的交互, 术中突发不良事件成为影响手术安全性与质量的重要风险因素。我国机器人辅助手术技术近年来快速发展, 年手术量突破3万例, 2008—2018年达芬奇机器人系统造成的死亡及受伤不良事件数量较多^[3], 凸显手术安全管理的紧迫性。基于此, 本研究基于SHEL模型构建了智慧骨科机器人术中突发不良事件核查清单, 提供了系统化、科学化的风险识别视角, 全面覆盖相关风险点, 为术中精准风险管理提供了参考依据。

SHEL模型作为多维框架, 着眼于软件相关事故、硬件相关事故、环境相关事故、人员相关事故及交互相关事故5个维度, 深入探索各维度间的相互影响。如软件维度涵盖程序漏洞与路径规划错误; 硬件故障, 如传感器失效会直接影响导航与监测精度^[4]; 不合理的环境布局限制操作空间^[5]; 人员之间的沟通障碍可能延误应急响应; 人机交互设计缺陷也可能导致操作误判^[6-7]。该模型确保了核查清单在风险点识别上的全面性和系统性。科学性方面, 结合国内外手术机器人不良事件文献分析, 核查清单不仅呈现了关键风险分布和严重程度, 还内置事故反馈和持续优化机制, 推动软件、硬件及环境条件的迭代改进, 实现闭环风险管理, 切实提升手术安全保障^[8]。

智慧骨科机器人技术革新了传统手术流程,

对术中风险处置提出了更高要求。本研究设计的核查清单结构清晰、条目简明、流程系统, 为突发不良事件的快速识别和应对提供标准化指导, 保证了其实用价值。当前相关研究多侧重操作技术和经验总结, 缺乏系统化风险处置流程。本清单通过将复杂风险细分为具体核查点, 助力医疗团队高效应对, 提高事故处理准确性, 降低人为差错, 强化临床安全管理。

未来研究可围绕推动多学科合作, 构建“六联动-三结合”跨部门联动机制, 实现手术室、麻醉、骨科、护理、设备、信息科等多方协作, 打造跨专业应急响应团队^[9]。同时, 建议开发基于人工智能的辅助决策系统, 结合实时数据分析, 智能识别事故类型并提供科学处理建议, 增强决策支持能力。还需建立完善的评估体系, 包括定量(事件发生率、处理时效)和定性(团队协作效果、患者安全感)指标, 客观评价干预成效。未来重点发展方向应涵盖术前规划与风险预测、人机交互界面优化、实时监测与预警系统完善、术中应急能力提升及标准化质量控制, 持续提升手术精准度和安全水平^[10-14]。

本研究也存在一定局限性, 如专家样本量有限、专家来源较为集中、清单尚未临床验证及部分条目共识度较低等。未来应扩大专家样本, 结合人工智能和多学科方法, 开展临床应用验证, 持续优化清单, 促进智慧骨科机器人技术的安全推广和实施。

综上, 本研究基于SHEL模型构建智慧骨科机器人术中突发不良事件核查清单, 涵盖软件、硬件、环境、人员及交互5个维度, 具有较强的全面

性和实用性,有助于提升术中安全管理和风险应对能力。

作者贡献 刘佳佳: 论文撰写, 分析数据; 张乐: 审读和修订; 邱晨: 收集数据; 胡星星: 制定函询问卷。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突。

数据共享声明 本论文相关数据可依据合理理由从作者处获取, Email: liujiajia0517@sina.com。

参考文献

- 1 Patki S, Nathan A, Lyness C, et al. Development of a high fidelity, multidisciplinary, crisis simulation model for robotic surgical teams [J]. *J Rob Surg*, 2023, 17 (5): 2019-2025.
- 2 陈国立, 陈哲颖, 王淑容, 等. 天玑骨科机器人辅助脊柱手术护理标准操作程序的建立与应用 [J]. *护理学杂志*, 2022, 37 (14): 56-59.
- 3 饶兰, 张培茗, 柴岗, 等. 基于真实世界数据的达芬奇机器人手术系统安全性研究 [J]. *中国医学物理学杂志*, 2020, 37 (3): 326-331.
- 4 Biswas P, Sikander S, Kulkarni P. Recent advances in robot-assisted surgical systems [J]. *Biomed Eng Adv*, 2023, 6: 100109.
- 5 Cunningham BW, Brooks DM, McAfee PC. Accuracy of robotic-assisted spinal surgery-comparison to TJR robotics, da vinci robotics, and optoelectronic laboratory robotics [J]. *Int J Spine Surg*, 2021, 15 (s2): S38-S55.
- 6 Abdelaal AE, Mathur P, Salcudean SE. Robotics In Vivo: A

Perspective on Human - Robot Interaction in Surgical Robotics [J]. *Annu Rev Control, Robotics Auton Syst*, 2020, 3: 221-242.

- 7 Li P, Hou XB, Duan XG, et al. Appearance-based gaze estimator for natural interaction control of surgical robots [J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 25095-25110.
- 8 Suarez-Ahedo C, Lopez-Reyes A, Martinez-Armenta C, et al. Revolutionizing orthopedics: a comprehensive review of robot-assisted surgery, clinical outcomes, and the future of patient care [J]. *J Robot Surg*, 2023, 17 (6): 2575-2581.
- 9 Deng B, Zhu WW, Sun XC, et al. Development and validation of an automatic system for intracerebral hemorrhage medical text recognition and treatment plan output [J]. *Front Aging Neurosci*, 2022, 14: 798132.
- 10 Moglia A, Georgiou K, Georgiou E, et al. A systematic review on artificial intelligence in robot-assisted surgery [J]. *Int J Surg*, 2021, 95: 106151.
- 11 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): 653-655.
- 12 Delgado Bellamy D, Chance G, Caleb-Solly P, et al. Safety assessment review of a dressing assistance robot [J]. *Front Robot AI*, 2021, 8: 667316.
- 13 Gogalniceanu P, Karydis N, Costan VV, et al. Crisis preparedness: a systems-based framework for avoiding harm in surgery [J]. *J Am Coll Surg*, 2022, 235 (4): 612-623.
- 14 Yan K, Zhang Q, Tian W. Comparison of accuracy and safety between second-generation TiRobot-assisted and free-hand thoracolumbar pedicle screw placement [J]. *BMC Surg*, 2022, 22 (1): 275.

(责任编辑: 施晓亚, 潘越)

(上接第736页)

- 43 Stark PW, Borger van der Burg BLS, van Waes OJF, et al. Telemedicine-guided two-incision lower leg fasciotomy performed by combat medics during tactical combat casualty care: a feasibility study [J]. *Mil Med*, 2024, 189 (3/4): e645-e651.
- 44 McLeroy RD, Kile MT, Yourk D, et al. Advanced virtual support for operational forces: a 3-year summary [J]. *Mil Med*, 2022, 187 (5/6): 742-746.
- 45 Subramanian S, Pamplin JC. Telemedicine for emergency patient rescue [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2024, 30 (3): 217-223.
- 46 Müller A, Kraus S, Arimond R, et al. Telemedicine in civil protection: A controlled simulation study for the analysis of patient care [J]. *Digit Health*, 2024, 10: 20552076241272662.
- 47 Moschovas MC, Palmer K, Barani G, et al. Expanding access to high-quality surgical care in Africa: a landmark achievement in telesurgery [J]. *J Robot Surg*, 2025, 19 (1): 124.
- 48 Rogers T, Moschovas MC, Saikali S, et al. Triple-console robotic telesurgery: first impressions and future impact [J]. *J Robot Surg*, 2024, 18 (1): 381.
- 49 Morohashi H, Hakamada K, Kanno T, et al. Social implementation of a remote surgery system in Japan: a field experiment using a newly developed surgical robot via a commercial network [J]. *Surg Today*, 2022, 52 (4): 705-714.

- 50 Moschovas MC, Saikali S, Rogers T, et al. Exploring the teleproctoring potential of telesurgery: the first remote procedures performed simultaneously between Orlando and Shanghai [J]. *Int Braz J Urol*, 2025, 51 (4): e20250083.
- 51 Rahmah L, Sukadiono S, Mundakir M, et al. A review of telesurgery in extreme settings: a narrative review [J]. *Telemed J E Health*, 2025, 31 (6): 701-715.
- 52 Fan SB, Xu WF, Diao YZ, et al. Feasibility and safety of dual-console telesurgery with the KangDuo surgical robot-01 system using fifth-generation and wired networks: an animal experiment and clinical study [J]. *Eur Urol Open Sci*, 2023, 49: 6-9.
- 53 Xia SB, Lu QS. Development status of telesurgery robotic system [J]. *Chin J Traumatol*, 2021, 24 (3): 144-147.
- 54 Dohler M, Saikali S, Gamal A, et al. The crucial role of 5G, 6G, and fiber in robotic telesurgery [J]. *J Robot Surg*, 2024, 19 (1): 4.
- 55 Wakasa Y, Hakamada K, Morohashi H, et al. Ensuring communication redundancy and establishing a telementoring system for robotic telesurgery using multiple communication lines [J]. *J Robot Surg*, 2024, 18 (1): 9.
- 56 Patel V, Saikali S, Moschovas MC, et al. Technical and ethical considerations in telesurgery [J]. *J Robot Surg*, 2024, 18 (1): 40.

(责任编辑: 孙菲)