

天玑骨科机器人手术间布局优化与实施效果

李嫚 田蓓 李娜 赵中华 谭杰 韩巍 王军强

摘要 **目的** 对比传统和优化后“天玑”骨科机器人手术间布局效果,为提高机器人手术效率及管理方法提供数据支持并提出解决方案。**方法** 将52例天玑骨科机器人辅助股骨颈骨折闭合复位空心钉内固定手术的患者随机分为实验组与对照组,每组各26例。两组手术间面积相等,设备、设施相同,术者为同一组高年资医生。其中对照组手术按照传统方法对手术间进行布局;实验组手术间对设备、环境、人员方面进行综合布局优化。对比两组患者的一般资料;比较两组在设备布局、环境布局、人员布局及动线方面出现手术流畅度中断(fluency interruptions, FDs)的次数,以及两组的手术用时。**结果** 两组一般资料差异均无统计学意义,具有可比性。实验组在设备布局方面、环境布局、人员布局及动线方面出现的FDs次数低于对照组,差异具有统计学意义($P < 0.001$);另外,实验组的手术时长低于对照组,差异具有统计学意义($P < 0.01$)。**结论** 对手术间进行布局优化改造,不仅可以减少设备、环境及人员布局方面导致天玑骨科手术机器人辅助手术流畅度中断的事件发生,还可以节省手术时间,提高手术效率。

关键词 天玑骨科机器人;手术间;布局;手术流畅度

DOI: 10.3969/j.issn.1002-3208.2026.03.007.

中图分类号 R318.04 **文献标志码** A **文章编号** 1002-3208(2026)03-0270-08

本文著录格式 李嫚,田蓓,李娜,等. 天玑骨科机器人手术间布局优化与实施效果[J]. 北京生物医学工程, 2026, 45(3): 270-277. LI Man, TIAN Bei, LI Na, et al. The layout optimization and implementation effect of Tianji orthopedic robot operating room[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2026, 45(3): 270-277.

The layout optimization and implementation effect of Tianji orthopedic robot operating room

LI Man, TIAN Bei, LI Na, ZHAO Zhonghua, TAN Jie, HAN Wei, WANG Junqiang

Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100035

Corresponding author: WANG Junqiang (E-mail: jstsss@163.com)

【Abstract】 Objective To compare the layout effects of traditional and optimized Tianji orthopedic robot operating rooms, and to provide data support for enhancing the efficiency and management methods of robotic surgery. **Methods** A total of 52 patients who underwent closed reduction and cannulated nail internal fixation for femoral neck fractures with the assistance of the Tianji orthopedic robot were randomly divided into an experimental group and a control group, each containing 26 cases. The operating rooms for both groups were equal in area and equipped with the same facilities, and the surgeries were performed by the same team of senior surgeons. The control group's operating rooms were arranged according to traditional practices, while

the experimental group's operating rooms were organized comprehensively, considering equipment, environment, and personnel. We compared the general conditions of the two patient

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFC2407500)资助

作者单位:首都医科大学附属北京积水潭医院(北京 100035)

通信作者:王军强,主任医师,教授。E-mail: jstsss@163.com

groups, the number of surgical fluency interruptions (FDs) related to equipment layout, environment layout, personnel layout, and flow lines, as well as the operation time between the two groups. **Results** No statistically significant differences were found in the general information between the two groups, making them comparable. The experimental group exhibited a lower number of FDs in terms of equipment layout, environment layout, personnel layout, and movement lines compared to the control group, with a statistically significant difference ($P < 0.001$). Additionally, the operation time for the experimental group was shorter than that of the control group, also demonstrating statistical significance ($P < 0.01$). **Conclusions** Optimizing the layout of the operating room can not only reduce the occurrence of incidents that disrupt the fluency of Tianji orthopedic robot-assisted surgeries but also decrease surgical time and enhance surgical efficiency.

【Keywords】 Tianji orthopedic robot; operation room; layout design; flow disruptions

0 引言

北京积水潭医院和北京航空航天大学等单位合作历时10余年研制出的国产手术机器人“天玑”(Tirobot),是我国首个拥有自主知识产权并可以同时应用于创伤骨科及脊柱外科的通用骨科手术机器人^[1-2],全国各地医院已成功实施了6万余例机器人辅助骨科手术。天玑骨科手术机器人辅助置入骨盆通道螺钉治疗骨盆、髌臼和股骨颈骨折安全、准确、可靠,同时能减少术中透视量、术中出血量,缩短住院时间^[3-6]。

天玑骨科手术机器人由主控台车(手术规划与控制工站)、光学跟踪系统及机械臂构成(图1),术中要与三维C臂影像设备协同使用,相关设备多、体积较大,占用手术室空间较多。在无法扩充手术室空间的情况下,会导致手术室空间局促及混乱,设备运行路线交叉,移动时易发生碰撞。无影灯及手术人员易遮挡光学追踪器,设备线路混杂、端口远易导致人员牵绊、线路两端脱落而断电,形成安全问题。另外,人员多、流动大、术者与参观人员无法保持安全距离等因素,都会导致手术中断和时间延迟,甚至导致机器人手术时间明显长于传统手术时间,对骨科机器人手术的临床推广带来负面影响。

如何将骨科手术机器人恰当地引入现有手术间并合理布局依然是一项挑战^[7]。如果术中骨科手术机器人需要反复调整变化位置,则会显著增加不必要的手术时间,在一定程度上影响手术进程和患者安全。合理的手术室布局应恰当地安排骨科手术机器人的位置,并且避免机器人与周围物体之间任何可能的碰撞,减少因为手术室布局而影响手术进程。目前,骨科手术机器人的相关研究多侧重于

临床手术效果评估等,关于手术室的布局研究鲜有报道^[8]。国外研究^[9]采用人工电位场方法对机器人布局和工作姿态进行了优化,但也只是在模拟环境下验证了该方法的可行性。有文献报道骨科机器人手术室的最小净面积通常建议在50~65 m²以上,更理想的面积是65~80 m²或更大^[10]。另有研究建议将手术间分隔为多个功能区,这有助于减少手术过程中对指定无菌区域的侵入^[11]。国内外未见任何天玑骨科手术机器人手术间布局方面的相关报道。



图1 天玑骨科手术机器人系统

Figure 1 The Tianji orthopedic surgical robot system

前期通过观察研究发现骨科机器人手术间布局相关手术流畅度中断出现频率较高,严重影响了正常手术进程,主要包括设备布局、环境布局、人员布局及动线3大类。基于前期研究结果,将设备、人员、环境布局进行优化并提出骨科机器人手术间布局建议。本研究拟采用前瞻性队列研究探究不同手术空间布局对骨科手术机器人辅助手术的流畅

度影响,提出骨科机器人辅助手术间空间布局优化方案,进而提高手术流畅度。

1 手术室布局优化

1.1 入组资料

研究对象为在 2024 年 4 月 11 日至 2024 年 6 月 30 日期间北京积水潭医院智能骨科住院的所有股骨颈骨折患者。本研究已通过北京积水潭医院伦理委员会伦理审核(伦理编号:积伦[K024]第[163]号-00)。

纳入标准:年龄在 14~65 岁之间;闭合性新鲜股骨颈骨折;受伤至就诊时间 ≤ 2 周;行天玑骨科机器人辅助下闭合复位空心钉内固定术;体重指数(body mass index, BMI)在 18~28 之间;ASA I~II 级;自愿参与本研究并签署知情同意书。

排除标准:术中需同时使用其他机器人完成手术者;术中手术方式发生改变者;病理骨折者;患者存在手术禁忌不能完成相关手术者;拒绝签署知情同意书者。

研究期间将符合纳排标准的患者随机分为实验组和对照组。随机数列由 SPSS26.0 软件产生随机数字,由非实验相关人员负责将受试者随机化入组情况进行登记。对照组手术按照传统的手术间布局方法进行常规手术准备,根据空间利用情况,由医护人员根据以往手术经验及个人习惯设置手术间布局。实验组手术安排在布局优化的手术间进行。

1.2 手术室布局优化策略

布局优化措施分为设备布局优化、环境布局优化、人员布局及动线优化三大类。设计阶段完成后,进行全流程模拟演练,包括机器人摆位、注册、机械臂运动、术中影像拍摄、紧急情况处理等,以验证布局的合理性,发现潜在冲突点,尤其是机械臂与 C 臂、人员、吊塔的碰撞风险。

1.2.1 设备布局优化措施

采用双核心布局,手术床和机器人操作区为无菌核心区,主控台、导航工作站、影像控制台集中布置,形成技术核心区,如图 2 所示。

(1)核心无菌区设备定位:机器人基座位于手术床侧方(取决于手术入路),需要预留充足的活动半径使机器人机械臂的活动范围应能覆盖目标解

剖区域,且不干扰其他设备或人员。光学示踪器位于机械臂同侧偏患者头侧,保证投射路径无遮挡。三维 C 臂位于手术床另一侧,其移动路径和拍摄位置与机器人基座位置、机械臂展开状态完全无冲突,预留特定的“影像设备通道”(图 2C)。

(2)技术核心区设备定位:技术规划区域位于垂直手术床尾端 45° 夹角位置,平行或交错放置三维 C 臂显示屏及机器人主控台和主控台的多块显示屏(导航影像、内镜影像、机器人状态等)。屏幕朝向术者,让操作医生能清晰看到手术野(直接视野或通过辅助显示器)。

(3)设备临时停靠点定位:在近门口处两侧靠墙设立临时停靠点(图 2D),作为骨科机器人设备在待机阶段临时停放,进行连接、调试、检查、拷贝材料等操作。

(4)线缆管理:利用卡线器将电源插头固定于设备端防止电源意外脱落(图 2A)。利用明亮颜色的无痕弹力胶带对散于地面的线路进行塑形、固定,最大限度减少地面散乱线缆,防止绊倒和设备拉扯,保障手术人员行走的安全性(图 2B)。

1.2.2 环境布局优化措施

(1)空间管理:机器人手术间移除所有非必要的设备及物品,铅衣穿戴区设置在门口开阔处,方便术者更换;手术床位置应根据手术部位及手术肢体侧做适当调整,但应注意手术床外沿不可超出净化送风天花边缘。

(2)充分利用智能手术间配套设备:利用手术间吊屏多界面投射影像资料、机器人规划界面、术野图像、C 臂透视图像,不仅可以方便术者多角度观看,也可以为参观者提供便利(图 3);将吊屏、三维 C 臂屏幕位置放低、后倾,可以有效减轻眼疲劳;发生环境眩光难以控制时,可以考虑尽量减小电脑屏幕的后倾斜角。

(3)接口管理:预留远超普通手术室数量的电源插座(供机器人主机、主控台、导航工作站、影像设备、显示器、充电设备等)和网络端口(数据传输)。尽可能将电源插座、网络端口、医用气体、数据接口等集中布置在设备墙或通过吊塔提供。

1.2.3 人员布局及动线优化措施

将手术间按人员职能不同划分为无菌手术操作区、技术规划区、麻醉观察区、射线防护区 4 部分



A. 设备端的卡线器;B. 弹力胶带固定线路;C. 牵引体位及设备摆放;D. 临时停靠点位于门口两侧处

图2 设备布局管理措施

Figure 2 Equipment layout management measures



图3 环境布局管理措施

Figure 3 Environmental layout management measures

(图4)。人员则按区域布局,严格各区域人员流动管理。

(1)无菌手术操作区域为主要覆盖手术间净化送风区域,术者及器械护士定位在无菌手术操作区域范围内实施及配合手术操作。这个区域绝对禁止非相关人员进入。

(2)技术规划区域为位于垂直手术床尾端 45° 夹角位置,与无菌区可略有重叠。主控台可通过外套无菌罩建立无菌环境,实现术者自行规划。专业工程人员也可在此区附近协助术者规划及影像采

集操作。

(3)麻醉观察区域设置于手术床头侧区域,通常由手术床上幕帘架的无菌单作为划分,如幕帘架的使用会影响到部分手术机械臂系统的操作,可采用手术床两侧点滴架悬挂无菌单的方法将无菌区域与麻醉观察区域分隔,降低污染的概率。麻醉医生定位麻醉观察区域监护患者安全。

(4)放射防护区域设置在手术床尾侧,距手术无菌区域 >60 cm的正中处,为利用铅屏风隔开的方形区域,以便于在术中进行透视及扫描时为患者屏蔽射线。以上区域以外可供参观学习人员观看手术,应注意,防止污染无菌人员及设备无菌套。

(5)人员移动线路:手术开始后应严格限制人员流动,如需移动,路线为手术床左右两侧及手术床尾侧三面距墙壁60 cm范围内,呈“U”形(图4虚线部分),所有人员行动需按动线进行。

2 手术间布局优化的实施效果

2.1 手术流畅度评估方法和观察指标

根据手术室流程研究,手术流畅度中断(flow disruptions, FDs)被定义为:“任何非计划内、不受

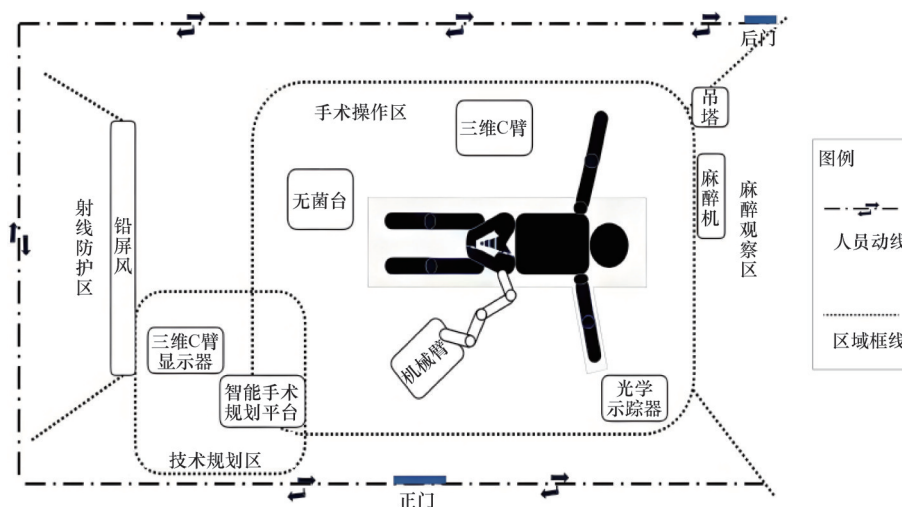


图4 人员布局及动线

Figure 4 Personnel layout and movement flow

欢迎的事件,导致既定流程暂停或偏离,或阻碍计划任务完成的行为。”此类事件通常与预设的手术标准流程无关,且可能直接引发时间延误、操作错误或团队协作失调。手术流畅度中断分为设备布局类、环境布局类和人员布局类3大类21个子类。

观察员工作年限为10~30年,由护师2名、主管护师3名共5名手术室护士组成。5名观察员同时但独立地记录一个手术过程,组内观察者的一致性(interobserver agreement)高于90%后开始观察研究。观察期间,观察员手拿观察记录表(图5)记录手术中出现的3大类21个子类手术布局FDs的数

量。如果观察员不确定骨科手术机器人团队正在从事的事务属于哪一类项目,观察员可与骨科手术机器人团队进行语言交流以确认。观察员还需记录患者一般信息,如患者年龄、性别、BMI等,并记录两组的手术用时,即由皮肤消毒开始到缝合结束的用时。

2.2 统计方法

应用SPSS 26.0软件进行统计学分析。对正态分布计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,利用独立样本 t 检验或者方差分析进行比较;对不符合正态分布的计量资料,以中位数和四分位数间距进

与手术布局相关的FDs列表		受试者组: 姓名: 日期:	
设备布局类因素: 1. 设备碰撞: 设备移动或工作时与环境物品发生碰撞 2. 追踪相机信号遮挡: 追踪相机探头位置过远或过近, 被人员或物品遮挡 3. 机械臂初始位置不佳: 初始位置过远或过近, 导致机械臂关节运行失败 4. 无菌手术车位置不合理, 需移动调整 5. 设备线路走地不合理, 导致绊路、缠绕、阻挡等情况 6. 电源意外脱落: 电源端或设备端插头松动, 脱落造成断电 7. 手术灯问题: 手术灯损坏、影响其它设备或发生撞人等情况需调整 8. C型臂及机械臂临时放置位置影响人员进出或发生无菌套被人员及环境物品污染		住院号: 年龄: 岁 性别: 男□女□ 手术名称: 空心钉内固定(是: 否) 天玑骨科机器人型号: II代(是: 否) 身高: cm 体重: kg BMI: kg/m ² 消毒开始时间: 缝合皮肤结束: 手术时长:	
环境布局类因素: 1. 回风口被遮挡: 手术室内回风口被环境物品遮挡 2. 基础设施损坏: 信号端口、电源插孔、净化控制面板等损坏或各种原因异响等 3. 环境物品过多或放置位置不固定, 需要花费时间清理搬运或寻找, 如: 椅子、地垫 4. 铅衣穿戴区过小: 不可同时更换铅衣, 且整理困难 5. 手术床位置不合理需临时移动: 手术床位置导致手术空间狭小, 需临时移动 6. 放射防护问题: 射线防护区拥挤, 造成人员污染 7. 显示屏位置: C型臂、规划区显示屏位置不利于术者观看, 墙壁显示屏损坏或未开启		消毒布局类因素: 1. 设备布局类: 1次 1. 设备碰撞、工作时发生碰撞: 次 2. 追踪相机探头位置不合理或被遮挡: 次 3. 机械臂初始位置不佳: 次 4. 无菌手术车位置不合理: 次 5. 设备线路影响人员(绊路、缠绕、阻挡): 次 6. 电源意外脱落: 次 7. 手术灯位置不合理: 次 8. C型臂、机械臂临时放置位置影响人员进出, 无菌套被污染: 次	
人员布局及动线类因素: 1. 人员活动污染无菌物品: 手术室内各类人员过多, 活动无序, 污染无菌物品 2. 人员活动污染无菌人员: 参观人员不注意界限, 参观时污染无菌人员 3. 人员站位影响术者观看显示屏 4. 人员穿越手术区域 5. 人员影响麻醉监护: 参观人员立于床旁, 影响麻醉操作 6. 人员外出躲避射线是行动路线混乱, 互相干扰		3. 人员布局及动线类: 1. 人员活动污染无菌物品: 次 2. 人员活动污染无菌人员: 次 3. 人员影响术者观看显示屏: 次 4. 人员穿越手术区域: 次 5. 人员影响麻醉监护: 次 6. 人员躲避射线时路线混乱, 互相干扰: 次	

图5 与手术布局相关的FDs列表和观察记录表

Figure 5 List of FDs related to surgical layout and observation record form

行描述,采用非参数检验进行分析;计数资料采用频数表示,组间比较采用卡方检验或Fisher确切概率法。双侧检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2.3 结果

共有55例骨科手术机器人辅助股骨颈骨折闭合复位内固定手术纳入本研究,其中3例因手术方式改变而排除,最终52例手术纳入本研究,两组患者性别、年龄及BMI无明显统计学差异(表1)。研究期间共观察记录286次FDs,包括设备布局140次、人员布局73次和环境布局73次(表2)。实验组总共观察记录13次FDs,包括设备布局9次、人员布局2次和环境布局2次,显著低于对照组($P<0.001$)(表2)。实验组手术时长为 (42.4 ± 8.4) min,显著少于对照组时长 (51.9 ± 12.2) min($P<0.01$)。

表1 两组一般资料比较

Table 1 Comparison of general characteristics between the two groups

组别	例数	性别/例		年龄($\bar{x}\pm s$)/岁	体重指数($\bar{x}\pm s$)/(kg/m ²)
		男	女		
对照组	26	14	12	51.23±16.86	23.49±2.20
实验组	26	12	14	50.58±9.93	23.19±3.29
χ^2/t		0.308		0.170	0.382
P		0.579		0.865	0.704

表2 两组FDs结果对比

Table 2 Comparison of FDs results between the two groups

组别	FDs合计	FDs/次		
		设备布局	人员布局	环境布局
对照组	273	131	71	71
实验组	13	9	2	2
χ^2/t	320.325	160.242	81.580	85.140
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

为了探讨布局的优化设置对手术流畅度的影响,具体分析在设备布局、人员布局及动线、环境布局大类下21个子类所导致发生的手术流程中断的具体分布情况。

2.3.1 设备布局FDs

对照组总共观察记录了131次FDs,分为设备碰撞类12次,探头类15次,机器臂类8次,无菌台车类20次,线路类60次,电源类5次,灯类8次,污染类6次。实验组总FDs(9次)显著少于对照组($P<$

0.001):探头类2次,机器臂类2次,无菌手术车位置类3次,线路类1次,灯类1次)。

2.3.2 人员布局及动线FDs

对照组总共观察记录了71次FDs,包括污染无菌物品类3次,污染人员类4次,影响显示屏类10次,跨区域类7次,影响麻醉类6次,影响透视类41次。实验组总FDs(2次)显著少于对照组,即影响透视类FDs2次。

2.3.3 环境布局

对照组总共观察记录了71次FDs,包括回风口类10次,端口类5次,环境物品类23次,穿戴区类7次,手术床类11次,防护区类8次,吊屏类8次。实验组总FDs(2次)显著少于对照组,即环境物品类及防护区FDs各出现1次。

3 讨论

近年来,智能骨科的发展已经成为骨科领域最具发展潜力的方向,以国产手术机器人“天玑”(Tirobot)为代表的机器人辅助骨科手术在创伤骨科及脊柱外科手术中应用日渐广泛。但在临床应用过程中也发现很多问题,如大多数医院均在现有手术室空间的基础上引进机器人技术,天玑骨科机器人辅助手术设备繁多、环境要求高、手术流程复杂。新技术的引进带来了更多的仪器设备、线路、信号传输,以及人员流动的问题,使手术间管理面临压力。手术间空间相对或绝对不足、通道拥堵,导致设备损坏或故障的发生率明显高出其他手术间,天玑骨科机器人手术过程中参考架、位置探测器摆放不科学,探针注册困难,不仅难以缩短导航手术时间,而且超过传统手术时间。因此探究手术间环境布局方面导致效率低下和风险的环节,探讨优化布局设计在天玑骨科机器人手术间的实施效果,为进一步形成“标准化布局”提供数据支持和科学解决方案成为迫切需要解决的问题。

国内外对于骨科机器人手术的研究大多集中于临床应用的效果总结,对于骨科机器人手术室的空間布局研究很少。Buckingham^[12]提出骨科机器人可以通过限制其活动范围至不会造成损害的区域来实现本质安全设计。Kuang等^[13]在介绍骨科创伤手术机器人(HybriDot)时对其在手术室中的工作空间和布局进行了分析,提出机器人设计应具有工

作空间适宜、适合人机协作、在骨科手术操作中易于部署等特点。以上研究均强调机器人的设计应适应手术室空间,而对于如何通过改变现有标准手术间空间布局适应机器人部署的问题国内外均未见报道。

骨科机器人手术室的空间布局设计至关重要,它直接关系到手术的安全性、效率、人机协作的流畅性以及无菌环境的维持。本研究采用前瞻性对比性观察的研究方法,分析优化手术室布局对于骨科手术机器人手术流畅度的影响,发现手术室布局优化后可以显著降低手术流畅度中断次数,减少手术总时长。手术室布局优化的主要措施主要包括以下几个方面。

(1)设备布局优化,根据具体手术要求设置机器人手术设备标准化点位,减少术中不必要的设备移动。

(2)环境布局优化,加强机器人手术间空间管理,充分利用智能手术间配套设备,加强接口管理。

(3)人员布局及动线优化,即按照人员职能划分不同活动区域和活动路线,减少对手术的干扰。通过布局优化有效达到设备安全(避免碰撞)、手术流程流畅,减少不必要的移动和等待。优化医生、护士、麻醉师与机器人系统交互的空间。确保手术团队(尤其是主刀和助手)有良好的手术视野,机器人操作者能清晰看到主控台屏幕和手术区域等目的。

2015年Catchpole等^[14]提出了手术流畅度中断(flow disruptions, FDs)的概念。FDs为新技术与现有医疗体系整合的整个过程提供了一个可视化观察窗口,已被用于研究其他高新外科手术的效率高下和风险环节。对FDs数据进行详尽分析可以发现,新技术需要改进的方面可以提高新技术的安全性、高效性、有效性,并最终提高患者临床预后。本研究实验组总共观察记录13次FDs,包括设备布局9次FDs、人员布局2次FDs和环境布局2次FDs,显著低于对照组($P<0.001$)。实验组手术时长为 (42.4 ± 8.4) min,显著少于对照组时长($P<0.01$)。通过对照实验数据证实本文提出的关于天玑机器人手术室的设备布局、人员布局及动线、环境布局的优化布局方案对于提高机器人手术流畅度和缩短手术时间具备显著的效果。

术前机器人手术相关设备放置不合理,术中需要花费大量时间对设备位置进行反复调整,在一定程度上降低了医护人员的工作效率^[15]。天玑骨科机器人术中示踪器摆放不科学或探针注册困难,会大大延长不必要的手术时间,甚至超过传统手术时间^[16]。本研究对照组多次发生示踪器和光学相机之间的空间被手术人员遮挡,造成无法即时确定术中手术器械的位置,增加反复调整次数和时间,造成手术时间延长。而实验组设置手术设备标准化点位,手术流畅度中断次数显著低于对照组。手术间大小不足、仪器和设备存储缺乏组织、工作空间混乱,以及手术室关键功能区之间缺乏邻近性,都会在一定程度上威胁患者的安全^[17]。本研究按照人员职能划分不同活动区域,明显减少了此类问题导致的手术流畅度中断的次数,有利于人员配合同步,可以减少人员流动,对手术无菌屏障更具保护作用。另外,设置人员动线能够合理引导人员流向,有序进出手术间,避免干扰手术进程。

4 结论

骨科机器人手术室布局是一个复杂的系统工程,没有绝对标准的模板。其核心在于深刻理解机器人系统的工作流程、空间需求以及与现有手术流程、人员角色其他关键设备(影像、导航)的深度整合。成功的布局必然是以具体机器人中心,经过多学科团队充分沟通,并经过严格模拟验证后产生的成果,最终目的是为机器人辅助骨科手术提供一个安全、高效、流畅、符合无菌规范的理想环境。本研究提出的针对现有手术间进行布局优化改造成机器人专用手术间的方案,不仅可以减少设备、环境及人员布局方面导致天玑骨科手术机器人辅助手术流畅度中断的事件发生,还可以节省手术时间,提高手术效率,具备较大的临床应用价值。

参考文献

- [1] Wu XB, Wang JQ, Sun X. Guidance for treatment of pelvic acetabular injuries with precise minimally invasive internal fixation based on the orthopaedic surgery robot positioning system[J]. Orthopedic Surgery, 2019, 11(3):341-347.
- [2] Han XG, Tang GQ, Han X. Comparison of outcomes between robot-assisted minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion and oblique lumbar interbody fusion in single-

- level lumbar spondylolisthesis[J]. Orthopedic Surgery, 2021, 13(7):2093-2101.
- [3] Liu Z, Gu Y, Jin X. Comparison of outcomes following TiRobot-assisted sacroiliac screw fixation with bone grafting and traditional screw fixation without bone grafting for unstable osteoporotic sacral fracture: A single-center retrospective study of 33 patients [J]. International Medical Journal of Experimental and Clinical Research, 2021, 24:27-29..
- [4] Long T, Li KN, Gao JH. Comparative study of percutaneous sacroiliac Screw with or without TiRobot assistance for treating pelvic posterior ring fractures[J]. Orthopedic Surgery, 2019, 11(3):386-396..
- [5] Wang JQ, Wang Y, Feng Y, . Percutaneous sacroiliac screw placement: A prospective randomized comparison of robot-assisted navigation procedures with a conventional technique [J]. Chinese Medical Journal, 2017, 130(21):2527-2534.
- [6] Wang JQ, Zhang T, Han W. Robot-assisted S2 screw fixation for posterior pelvic ring injury [J]. Injury, 2023, 54(Suppl 2): S3-S7.
- [7] Nguyen QC, Kim Y, Kwon H. Optimization of layout and path planning of surgical robotic system [J]. International Journal of Control Automation and Systems, 2017 (1):375-384.
- [8] 韩晓光, 刘亚军, 范明星, 等. 骨科手术机器人技术发展及临床应用[J]. 科技导报, 2017 (10):19-25.
- Han XG, Liu YJ, Fan MX, et al. Development and clinical application of the orthopaedic surgical robot [J]. Science & Technology Review, 2017 (10):19-25.
- [9] Shi C, Zhu G, Yan YD. Working pose and layout optimization of surgical robot [J]. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2020, 2020:4728-4731.
- [10] Barach PR. Design of cardiac surgery operating rooms and the impact of the built environment [M]// Barach PR, Jacobs JP, Lipshultz SE, et al. Pediatric and Congenital Cardiac Care. London :Springer-Verlag, 2015:411-424.
- [11] Chow SC, Shao J, Wang H. Sample size calculations in clinical research[M]. New York: Marcel Dekker, 2003:81-122.
- [12] Buckingham RO. Robots in operating theatres [J]. British Medical Journal, 1995, 311(7018):1479-1482.
- [13] Kuang SL, Leung KS, Wang TM, et al. A novel passive/active hybrid robot for orthopaedic trauma surgery [J]. International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery. 2012, 8 (4) :458-467.
- [14] Catchpole K, Perkins C, Bresee C, et al. Safety, efficiency and learning curves in robotic surgery: a human factors analysis[J]. Surgery Endoscopy, 2016, 30(9):3749-3761.
- [15] Sarpong K, Kamande S, Murray J, et al. Consecutive surgeon and anesthesia team improve turnover time in the operating room [J]. Journal of Medical Systems, 2022, 46(3):16.
- [16] 李明, 黄迪超, 李海洋, 等. 骨科机器人导航手术的研究进展 [J]. 中华创伤杂志, 2019, 35(4):377-384.
- Li M, Huang DC, Li HY, et al. Research progress of orthopaedic robot navigation surgery [J]. Chinese Journal of Traumatology, 2019, 35(4):377-384.
- [17] Zak SG, Cieremans D, Tang A, et al. Intraoperative technology increases operating room times in primary total knee arthroplasty [J]. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2023, 143(4):2113-2119.

(2025-05-08收稿, 2025-10-14修回)

