

蒸汽清洗消毒与手工操作流程对机器人机械臂系统 清洗消毒与灭菌的效果对比

周晶晶, 陈晓玲, 季春艳, 周菊梅, 于海燕

(江苏省中医院消毒供应中心 江苏 南京 210029)

摘要 目的: 对比分析蒸汽清洗消毒与常规手工操作流程对达芬奇床旁机械臂系统清洗消毒效果与灭菌率的影响。**方法:** 回顾性分析 2021 年 5 月—2024 年 5 月江苏省中医院手术使用完毕的 120 件 IS4000 达芬奇机械臂组件, 根据清洗消毒流程分为观察组与对照组, 每组各 60 件。对照组予以常规手工清洗消毒操作流程, 观察组予以蒸汽清洗消毒操作流程。比较两种不同操作流程在达芬奇机械臂清洗消毒效率及灭菌率之间的差异。**结果:** 观察组的目测评估合格率、腺苷三磷酸 (ATP) 检测表面合格率及水质合格率均高于对照组, 操作时间短于对照组 ($P<0.05$)。**结论:** 蒸汽清洗消毒操作流程相比于常规手工清洗消毒操作流程, 能够有效提高达芬奇床旁机械臂系统的清洗消毒效率及灭菌率, 值得推广应用。

关键词 机器人手术系统; 机械臂清洗; 蒸汽清洗; 消毒效率; 灭菌率

中图分类号 R187 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 03-0431-04

Comparative analysis of steam cleaning and disinfection versus manual operation procedures on the cleaning, disinfection and sterilization effect of robotic arms

ZHOU Jingjing, CHEN Xiaoling, JI Chunyan, ZHOU Jumei, YU Haiyan

(Sterilization and Supply Center, Jiangsu Province Hospital of Chinese Medicine, Nanjing 210029, China)

Abstract Objective: To compare the effects of steam cleaning and disinfection versus conventional manual operation procedures on the cleaning efficacy and sterilization rate of Da Vinci robotic arms. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on 120 IS4000 Da Vinci robotic arm components used in surgeries at Jiangsu Province Hospital of Chinese Medicine from May 2021 to May 2024. The components were divided into the observation group and the control group, with 60 components in each group. The control group underwent conventional manual cleaning and disinfection protocols, while the observation group received steam cleaning and disinfection. Differences in cleaning efficiency and sterilization rates between the two methods were evaluated and compared. **Results:** The observation group demonstrated higher pass rates in visual inspection, ATP-based bioluminescence testing, and water quality testing, along with shorter operational time compared to the control group ($P<0.05$). **Conclusion:** The steam cleaning and disinfection protocol can significantly improve the cleaning efficiency and sterilization rate of Da Vinci robotic arms compared to conventional manual procedures, which is worthy of clinical promotion.

Key words Robotic Surgical System; Robotic Arm Cleaning; Steam Cleaning; Disinfection Efficiency; Sterilization Rate

机器人手术技术在现代医学领域具有举足轻重的地位, 其凭借手术系统高精度、微创和快速恢复等显著优势, 在胸腔、腹腔、盆腔等众多领域手术中, 大大提高了手术的成功率, 减少了术后并发症的发生风险, 已经成为各类复杂手术中不可或缺的一部分^[1-2]。通过对传统手术方式的革新, 达芬奇机器

人手术系统为患者带来了更为安全、有效的治疗选择, 同时也为医生提供了更加精准、便捷的操作工具, 在世界范围内得到了广泛的认可和应用^[3-5]。达芬奇床旁机械臂系统 (以下简称机械臂) 是该手术系统的核心部件之一, 承载着精细的手术操作任务, 手术过程中会不可避免地接触到患者的血液、体液等

基金项目: 江苏省中医药管理局中医药科技发展计划项目 (QN2023012)

Foundation Item: Traditional Chinese Medicine Science and Technology Development Plan Project of Jiangsu Provincial Administration of Traditional Chinese Medicine (QN2023012)

引用格式: 周晶晶, 陈晓玲, 季春艳, 等. 蒸汽清洗消毒与手工操作流程对机器人机械臂系统清洗消毒与灭菌的效果对比 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6 (3): 431-434.

Citation: ZHOU J J, CHEN X L, JI C Y, et al. Comparative analysis of steam cleaning and disinfection versus manual operation procedures on the cleaning, disinfection and sterilization effect of robotic arms [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(3): 431-434.

通讯作者 (Corresponding Author): 于海燕 (YU Haiyan), Email: yhyan8306@163.com

生物污染物质,这些污染物不仅可能导致交叉感染,还可能对机械臂造成损害,影响其性能和寿命^[6-7]。因此,确保达芬奇机械臂的清洗消毒效率和灭菌率,是保障手术安全、提高手术效果的重要环节,直接关系到患者的生命健康安全和医疗质量的提升^[8-9]。鉴于此,本研究探讨应用不同操作流程对达芬奇机械臂的清洗消毒效率,旨在为临床实践提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2021年5月—2024年5月江苏省中医院手术使用完毕的120件IS4000达芬奇机械臂(美国Intuitive Surgical公司生产,国械注进20183010498),根据清洗消毒流程的不同分为观察组与对照组,每组各60件。两组一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性(见表1)。

1.2 研究方法 对照组予以常规手工清洗消毒操作

流程。①拆卸机械臂组件,采用流动水进行冲洗,去除可见血迹、体液等污染物;②向机械臂组件灌注15 mL腔镜酶清洁剂,灌注时间为30 s,然后浸泡30 min,去除残留的有机物和无机物;③采用超声波清洗机对浸泡后的机械臂组件进行15 min的超声波清洗,以去除微小颗粒和难以触及的污渍;④采用纯水灌注冲洗口30 s,去除机械臂组件内部残留清洁剂;⑤采用毛刷刷洗机械臂操作端及关节处10 min,确保无死角清洗后,纯水漂洗30 s;⑥最后采用全自动清洗机进行清洗消毒,使用无菌空气进行干燥处理,确保机械臂组件内部干燥无菌。

观察组予以蒸汽清洗消毒操作流程(如图1)。

①拆卸机械臂组件,采用流动水进行冲洗,去除可见血迹、体液等污染物;②向机械臂组件灌注15 mL腔镜酶清洁剂,灌注时间为30 s,然后浸泡30 min,去除残留的有机物和无机物;③采用超声

表1 两组机械臂一般资料比较 [n (%), $\bar{x} \pm s$]

Table 1 Comparison of general data between the two groups of robotic arms [n (%), $\bar{x} \pm s$]

组别	手术类型				手术时间 (h)	术后至清洗时间 (min)
	胃肠手术	肝胆手术	泌尿外科手术	其他		
观察组 ($n=60$)	26 (43.33)	18 (30.00)	14 (23.33)	2 (3.33)	3.24 ± 0.65	32.15 ± 8.48
对照组 ($n=60$)	25 (41.67)	17 (28.33)	15 (25.00)	3 (5.00)	3.18 ± 0.67	31.79 ± 8.36
χ^2/t 值		0.283			0.498	0.234
P 值		0.963			0.620	0.815

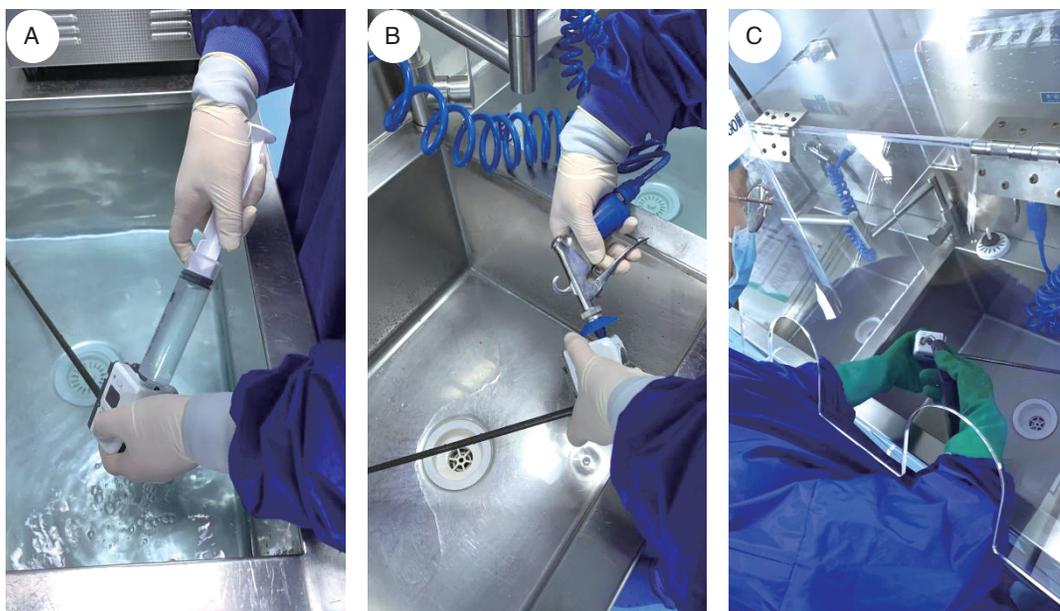


图1 蒸汽清洗消毒现场操作

Figure 1 Steam cleaning and disinfection site operation

注: A. 灌注腔镜酶清洁剂; B. 纯水灌注冲洗口; C. 蒸汽清洗机清洗机械臂操作端及关节

波清洗机对浸泡后的机械臂组件进行 15 min 的超声波清洗，以去除微小颗粒和难以触及的污渍；④采用纯水灌注冲洗口 30 s，去除机械臂组件内部残留清洁剂；⑤采用蒸汽清洗机清洗机械臂操作端及关节处 3 min，通过高温高压蒸汽进行深层清洁和消毒，杀死残留的微生物和病毒；⑥在蒸汽清洗后，再次使用纯水漂洗 30 s，确保所有清洗剂和蒸汽残留被完全冲洗掉；⑦最后采用无菌空气对清洗后的机械臂组件进行干燥处理，确保机械臂组件内部干燥无菌。

1.3 评价指标 ①目测评估：由质量控制与监测人员采用带光源的 10 倍放大镜对达芬奇机械臂组件进行检查，各个部位表面无血渍、污渍等残留物，表面光洁、功能完好，视为合格；否则为不合格。②腺苷三磷酸（Adenosine Triphosphate, ATP）生物荧光检测：采用美国 3M Clean-Trace ATP LX25 快速检测仪进行检测，对达芬奇机械臂操作端冲洗口及关节处表面灌注无菌水进行采样，等待 10 s 后直接读取检测结果。表面反应亮度 ≤ 150 相对光单位（Relative Light Unit, RLU）、水质反应亮度 ≤ 200 RLU，视为合格；否则为不合格。③操作时间：记录两种不同操作流程从开始清洗消毒至结束所耗时间。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 22.0 软件进行数据处理，以例数（百分比） $[n(\%)]$ 表示计数资料，行 χ^2 检验；以均数 \pm 标准差 $(\bar{x} \pm s)$ 表示计量资料，行 t 检验； $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

观察组的目测评估合格率、ATP 检测表面合格率及水质合格率均高于对照组，操作时间短于对照组，差异有统计学意义（ $P < 0.05$ ），见表 2。

3 讨论

达芬奇机器人手术系统是现代医学的重要工具，通过操作控制台上的控制器来操纵机器人机械

臂，具有高度的灵活性和精确性，可以在狭小的手术空间完成高难度的手术，极大地推动了医疗技术的发展，并在很大程度上提高了手术的精确度和效率^[10-11]。达芬奇机械臂在手术过程中会与患者的血液、体液以及其他生物材料产生接触，防感染工作因此显得尤为关键^[12-13]。在医疗环境中，任何残留的污染物或微生物都可能引发感染等严重后果，甚至危及患者的生命安全。因此，对达芬奇机械臂进行彻底的清洗和消毒至关重要，确保其在下一次手术中能够安全、可靠地使用，也是保障手术安全、防止交叉感染的重要措施。临床上往往是由供应室承担达芬奇机械臂清洗消毒工作，通过优化操作流程、提高清洗消毒效率来降低感染风险。

本研究结果显示，观察组的目测评估合格率、ATP 检测表面合格率及水质合格率均高于对照组。笔者认为，达芬奇机器人手术系统作为微创外科领域的革命性技术，其机械臂结构复杂，由众多精细的齿槽结构、微小的孔隙和灵活的关节共同构成了精密的机械构造，这些部件紧密相连，形成了一个不可拆分的整体^[14-16]。由于机械臂结构的复杂性和紧密性，使得仅靠人工清洗很难实现彻底清洗，因为人工清洗难以触及机械臂的每一个细微之处，而这些细微之处往往是最容易藏污纳垢的地方。传统的浸泡-刷洗-超声-消毒等手工清洗流程，虽能通过酶解作用分解有机物，但也存在明显的局限性，如机械力不足，器械轴节、齿槽等隐蔽区域易残留污染物，人工刷洗难以覆盖所有细节；清洗耗时耗力，对操作人员技能依赖度高；中性酶清洁剂若漂洗不彻底，可能腐蚀器械或引发生物膜形成，存在化学残留风险等^[17-18]。因此，达芬奇机械臂的精密性与清洗消毒要求之间的矛盾始终是院感防控的核心问题，需要采用更为先进的技术和设备，以确保其清洁度和卫生性。蒸汽清洗消毒通过高温高压的蒸汽，

表 2 两组评价指标比较 $[n(\%), \bar{x} \pm s]$

Table 2 Comparison of evaluation indicators between the two groups of robotic arms $[n(\%), \bar{x} \pm s]$

组别	目测评估合格	ATP 检测		操作时间 (min)
		表面合格	水质合格	
观察组 (n=60)	60 (100.00)	59 (98.33)	58 (96.67)	62.18 \pm 1.59
对照组 (n=60)	54 (90.00)	52 (86.67)	50 (83.33)	70.24 \pm 2.16
t 值	4.386	4.324	4.537	23.277
P 值	0.036	0.038	0.033	<0.001

具有极强的物理穿透性，能够深入达芬奇机械臂的器械关节与微孔等各个细微之处，通过热分解效应破坏微生物结构，有效地杀灭微生物，既能去除残留的污染物，又能减少化学试剂依赖。此外，蒸汽清洗消毒还具有速度快、效率高的特点，能够在短时间内完成整个清洗消毒过程，更加符合医疗设备快速周转需求^[19-20]。因而，蒸汽清洗消毒操作流程相比于常规手工清洗消毒操作流程，能够有效提高达芬奇机械臂目测评估及 ATP 检测的合格率，具有更为理想的清洗消毒效果。观察组的操作时间明显短于对照组，也进一步验证了蒸汽清洗消毒的高效性。在繁忙的医疗环境中，高效的清洗消毒流程不仅可以节省时间，还可以减少人工操作，降低人力成本，同时也有助于减少因人为因素导致的操作失误和感染风险。此外，随着近年来科技的不断进步，医用无菌防护套在医疗器械清洗消毒过程中的应用逐渐受到关注，可以为医疗器械提供一层物理隔离，减少微生物的污染和交叉感染的风险。对于达芬奇机械臂这种结构复杂、成本昂贵、操作技术要求高、清洗难度大的医疗器械，医用无菌防护套的应用可能会进一步提高机械臂清洗消毒效果。在未来的研究中，可以考虑将医用无菌防护套引入达芬奇机械臂的清洗消毒流程中，观察其对清洗消毒效果的影响。

综上所述，蒸汽清洗消毒操作流程相比于常规手工清洗消毒操作流程，能够有效提高达芬奇机械臂的清洗消毒效率及灭菌率，值得推广应用。然而，高温蒸汽可能加速内窥镜光学元件等精密部件老化。在实际操作过程中，需要注意特别以下几点：预处理环节应及时去除机械臂表面的明显污染物；清洗过程应当严格控制温度与压力参数，采用硅胶保护套隔离敏感部件，以最大限度地保护器械的完好性；消毒后应进行充分的漂洗，防止消毒剂残留；建立完善的追溯系统，确保每个器械的可追溯性。同时，本研究存在样本量相对较小、样本来源较为单一等局限性，在未来的研究中可以进一步扩大样本量，对蒸汽清洗消毒的具体参数进行优化，以验证蒸汽清洗消毒操作流程的普遍适用性和效果。

利益冲突声明：本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明：周晶晶负责设计论文框架，起草论文；周菊梅负责实验操作，研究过程的实施；陈晓玲负责数据收集，统计学分析、绘制图表；季春艳负责论文修改；于海燕负责拟定写作思路，指导撰写文章并最后定稿。

参考文献

- [1] FENG Z, SUN Z W, ZHANG Q S, et al. Analysis of clinical efficacy and safety of hand-sewn anastomosis for the digestive tract with Da Vinci robot in rectal cancer surgery[J]. *World J Surg Oncol*, 2023, 21(1): 317.
- [2] 韩锦川, 王子洪, 周晟汀, 等. 达芬奇手术机器人系统的临床应用与设备管理体系的建立与实践[J]. *中国医疗设备*, 2023, 38(9): 111-116.
- [3] 杨宪章, 杨蕾, 刘延梅, 等. 达芬奇 Si 手术机器人系统的质量控制、常见故障及处理[J]. *生物医学工程与临床*, 2021, 25(6): 762-768.
- [4] 姚一苇, 何国龙, 赵体玉, 等. 全国 115 家医院机器人外科手术系统使用及管理现状调查[J]. *护理学报*, 2022, 29(15): 71-76.
- [5] Probst P. A review of the role of robotics in surgery: to Da Vinci and beyond! [J]. *Mo Med*, 2023, 120(5): 389-396.
- [6] 赵体玉, 王维, 龚仁蓉, 等. 达芬奇机器人手术系统安全使用与维护专家共识[J]. *护理学杂志*, 2023, 38(15): 51-55.
- [7] CHEN A Q, YUAN Z, CHEN H Y, et al. Investigation into the current status of cleaning, disinfection, and sterilization of da Vinci surgical instruments—a cross-sectional survey[J]. *Gland Surg*, 2023, 12(4): 487-491.
- [8] 田红, 杨梓含, 李颖, 等. 达芬奇机器人手术器械清洗消毒灭菌研究现状及展望[J]. *中国感染控制杂志*, 2023, 22(4): 484-488.
- [9] 莫超茸. 腹腔镜器械清洗消毒方法的研究进展[J]. *机器人外科学杂志(中英文)*, 2023, 4(6): 602-605.
- [10] Gleason A, Servais E, Quadri S, et al. Developing basic robotic skills using virtual reality simulation and automated assessment tools: a multidisciplinary robotic virtual reality-based curriculum using the Da Vinci Skills Simulator and tracking progress with the Intuitive Learning platform[J]. *J Robot Surg*, 2022, 16(6): 1313-1319.
- [11] 姚艳华, 汪红英, 胡国风, 等. 达芬奇机器人手术器械的清洗消毒方法进展[J]. *中国消毒学杂志*, 2024, 41(4): 290-294.
- [12] 张东芳, 底瑞青, 郭宏园, 等. 不同清洗方式对达芬奇机器人手术器械清洗质量的影响研究[J]. *护士进修杂志*, 2022, 37(7): 650-653.
- [13] Francavilla S, Vecchia A, Dobbs R W, et al. Radical prostatectomy technique in the robotic evolution: from da Vinci standard to single port-a single surgeon pathway[J]. *J Robot Surg*, 2021, 16(1): 21-27.
- [14] 刘霞, 刘慰, 周芳芳, 等. 联合蒸汽清洗用于达芬奇机器人手术机械臂的效果对照及损坏研究[J]. *护理学报*, 2023, 30(24): 57-60.
- [15] 孙雪莹, 史安云, 甘志连, 等. 传统清洗与机械清洗对达芬奇机器人手臂清洗效果比较[J]. *中华医院感染学杂志*, 2021, 31(22): 3500-3503.
- [16] 李乐, 谢多双, 吕宜灵, 等. 达芬奇机器人手术系统相关医院感染研究进展[J]. *中华医院感染学杂志*, 2023, 33(21): 3357-3360.
- [17] 李占结, 刘波, 李松琴, 等. 达芬奇机器人手术对手术患者医院感染及相关因素的影响——7 种手术病例对照研究[J]. *中国感染控制杂志*, 2020, 19(1): 30-36.
- [18] 万微, 饶冬霞, 周琼, 等. 器械结构培训对工作人员在达芬奇 Xi 手术器械清洗流程中知行行的影响[J]. *中国消毒学杂志*, 2023, 40(5): 395-398.
- [19] Ham W S, Park S Y, Yu H S, et al. Malfunction of da Vinci robotic system—disassembled surgeon's console hand piece: case report and review of the literature[J]. *Urology*, 2009, 73(1): 209.e7-e8.
- [20] 王继川, 刘新, 周树平, 等. 放大镜目测法联合三磷酸腺苷生物荧光法在腹腔镜手术器械清洗效果检测中的应用分析[J]. *机器人外科学杂志(中英文)*, 2023, 4(3): 246-251.

收稿日期：2024-07-10

编辑：张笑嫣