

达芬奇机器人机械臂不同干燥方法的应用研究

沈红梅,莫军军,孙洁楠,郭立

(浙江大学医学院附属第一医院 护理部 浙江 杭州 310003)

【摘要】目的 通过实验比较热风干燥柜和低温负压干燥柜对达芬奇机器人机械臂的干燥效果。**方法** 随机取使用次数>10次的机械臂12支,按拿取顺序奇偶数分为A组和B组,进行重复实验。实验流程为:机械臂称重后清洗,A组采用90℃热风干燥柜,B组采用低温负压干燥柜,每8min取出称重,直至干燥64min;比较两组机械臂的重量变化及水分去除率,以判断不同干燥设备对机械臂的干燥效果。**结果** 干燥时长<24min,A组的重量下降幅度及水分去除率均明显大于B组;干燥时长为24~40min时,B组的重量下降幅度及水分去除率均明显大于A组(均 $P<0.05$);干燥64min时,两组机械臂重量差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 热风干燥柜对器械表面水分干燥效果好,低温负压干燥柜可持续对器械表面尤其管腔结构进行干燥。研究建立的标准化干燥流程可应用于相似结构的精密器械,以提高干燥效果,加快器械周转。

【关键词】 达芬奇机器人机械臂;干燥法;消毒供应中心;护理

DOI: 10.3969/j.issn.2097-1826.2026.04.026

【中图分类号】 R472.1 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 2097-1826(2026)04-0112-04

A Comparative Study on the Application of Different Drying Methods for Da Vinci Robotic Arms

SHEN Hongmei, MO Junjun, SUN Jienan, GUO Li (Department of Nursing, The First Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310003, Zhejiang Province, China)

【Abstract】Objective To compare the drying efficacy of a hot air drying cabinet and a low-temperature negative pressure drying cabinet for Da Vinci robotic arms through experimental study. **Methods** 12 robotic arms with more than 10 usage cycles were randomly selected and divided into group A and group B based on the odd-even order of retrieval for repeated experiments. The experimental procedure was as follows: the robotic arms were weighed and cleaned. Group A was dried using a 90°C hot air drying cabinet, while group B was dried using a low-temperature negative pressure drying cabinet. The arms were removed and weighed every 8 minutes until a total drying time of 64 minutes was reached. The weight changes and moisture removal rates of the 2 groups were compared to evaluate the drying efficacy of different drying equipment. **Results** When the drying duration was less than 24 minutes, the weight reduction and moisture removal rate in group A were significantly greater than those in group B. When the drying duration was between 24 and 40 minutes, the weight reduction and moisture removal rate in group B were significantly higher than those in group A (all $P<0.05$). At 64 minutes of drying, there was no statistically significant difference in the weight of the robotic arms between the groups ($P>0.05$). **Conclusions** The hot air drying cabinet demonstrates superior efficacy in drying surface moisture on instruments, while the low-temperature negative pressure drying cabinet can continuously dry both the instrument surface and, in particular, the lumen structures. The standardized drying process established in this study can be applied to precision instruments with similar structures to improve drying efficacy and accelerate instrument turnover.

【Key words】 Da Vinci robotic arm; drying method; central sterile supply department; nursing

[Mil Nurs, 2026, 43(04): 112-115]

达芬奇机器人手术系统是近年来快速发展的一项外科微创新技术,是传统腹腔镜手术的延伸和突破。机械臂作为机器人手术系统的核心部件,构造精细,部件不可拆卸,且每件使用寿命仅为10次^[1]。

干燥是器械再处理流程中必不可少的环节,如器械干燥程度不够,可能引起生物膜、器械锈蚀、湿包等不良后果^[2]。目前,关于机器人机械臂清洗方法及效果评价的相关研究较多^[3],而对其干燥方法的研究较鲜见,且在其产品指导手册中仅有“排水、干燥、吹风”三步简单笼统的描述,对实践工作指导意义极低。残留在器械的水容易积聚在机械臂的内部管腔及死角位置,临床最常见的干燥方法是先用压力气

【收稿日期】 2025-08-10 **【修回日期】** 2026-03-22

【基金项目】 浙江省卫生健康科技计划项目(2022ZH031); 浙江大学医学院附属第一医院护理科研项目(2024ZYHL40)

【作者简介】 沈红梅,本科,电话:0571-87236545

枪对器械进行预干燥,再将其放入真空干燥柜内干燥^[4]。《医院消毒供应中心第2部分:清洗消毒及灭菌技术操作规范:WS 310.2-2016》^[5]规定了诊疗器械、器具和物品宜首选干燥设备进行干燥处理。本文采用热风干燥柜和低温负压干燥柜两种最常见的干燥设备对机器人机械臂进行干燥实验,并采用称重法来评价干燥效果,力求建立机器人机械臂标准化干燥流程(SOP),提高干燥效果,加快器械周转。

1 材料与方法

1.1 材料和工具 机械臂持针钳和无损伤钳(SI型)、20 ml注射器、压力气枪(重庆优玛)、纯化水(电导率 $<15 \text{ us/cm}$, 25°C)、电子天平秤(梅特勒,精度 0.01 g)、医用热风干燥柜(YMFG-500D)、医用低温负压干燥柜(YMZK-DS6)。机器人机械臂结构见图1、图2。

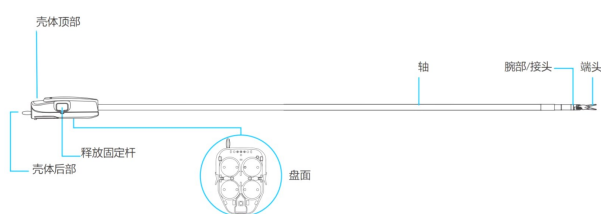


图1 机器人机械臂(SI型)构造

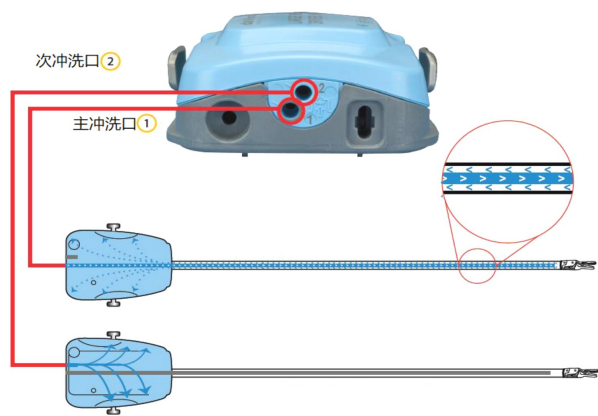


图2 机器人机械臂(SI型)冲洗口及内部水流示意图

1.2 方法 随机取使用次数 >10 次的机械臂持针钳和无损伤钳各6支,按拿取顺序奇偶数分为A组和B组,每组含机械臂持针钳和无损伤钳各3支。实验流程为:每支机械臂称重后模拟清洗过程向1号冲洗口注入20 ml纯化水后浸没于纯化水中1 min,取出后予压力气枪干燥20 s至肉眼无可见水分。A组放入 90°C 热风干燥柜,B组放入 60°C 低温负压干燥柜,进行重复实验。因实验设备热风干燥柜(YMFG-500D)一个工作循环为8 min,故每8 min取出称重,直至64 min。比较两组机械臂的重量变化及水分去

除率,以判断不同干燥方法下机器人机械臂的干燥效果。实验在环境温湿度达标的消毒供应中心清洁区桌面进行,由两名消毒供应中心工作 ≥ 5 年的护士共同实施。根据样本量估算方法,最终完成完整实验流程且功能完好的样本量为72。

1.3 统计学处理 采用SPSS 28.0统计软件进行数据分析。非正态分布的计量资料以中位数(Median, M)和四分位数(P_{25} , P_{75})表示,组间比较采用广义估计方程及Mann-Whitney U检验;计数资料采用频数和百分比描述,采用 χ^2 检验或Fisher-Freeman-Halton法检验,有序分类变量采用分参数检验。以 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组机器人机械臂不同干燥时间重量变化比较 通过称重法,两组机械臂基础重量及初步干燥后重量比较差异无统计学意义($P > 0.05$);观察两组机器人机械臂在不同干燥时间下重量变化,时间与组间存在交互作用($P < 0.05$),组间效应分析显示,两组机械臂在干燥16~40 min期间,A组机械臂重量下降幅度大于B组,差异有统计学意义($P < 0.05$);干燥48~64 min时,两组重量比较差异无统计学意义($P > 0.05$);见表1。

2.2 两组机器人机械臂水分去除效率比较 依据张新祝等^[6]研究,器械湿重-净重=处理前管腔内器械实际含有水分的重量;以湿重-干重=被去除的水分重量。水分去除效率($\%$)= $(\text{湿重}-\text{干重}) \div (\text{湿重}-\text{净重}) \times 100\%$,水分去除效率越接近100%表示干燥效果越好。结果显示,干燥时长为24~40 min时,A组水分去除效率高于B组,A组水分去除优势明显,差异有统计学意义($P < 0.05$),干燥时长为40~64 min时,A组水分去除效率下降,而B组水分去除率相对稳定,整体波动小,使得两组水分去除效率比较差异无统计学意义($P > 0.05$),见表2。

3 讨论

3.1 不同干燥设备干燥效果的差异性分析 据调查^[7]发现,目前医院消毒供应中心常见的干燥设备主要有热风干燥柜和低温负压干燥柜,分别占82.06%和54.58%。前者是通过热能鼓风将加热的空气作用在器械上,提供一定的热量使器械温度升高,加速器械表面水分蒸发,同时加强热风的流动将器械周围的水蒸气带走^[8]。低温负压干燥柜工作原理是气压在抽负压过程中会逐渐降低,水的沸点也随之降低,水分便能够在降低的温度下发生沸腾汽化,使得器材上附着的水分能够快速地与之分离;同时负压泵又迅速地抽出汽化后蒸汽,进而使器械快

速干燥^[9]。持续抽气可将负压状态下已气化的水从器械的孔隙中抽出,更好去除常规方法难干燥的细小管腔或缝隙中的水分。两种设备的干燥原理不同,因此,前者更适合器械表面水分的干燥,而后者更能在器械管腔的干燥中发挥特长。本研究结果显示,在干燥时长为 24~40 min 时,A 组的重量下降幅度与水分去除效率均明显高于 B 组($P < 0.05$),这正是因为 90℃ 温度相较于 60℃ 高,能通过高温热

风快速带走器械表面水分。而在干燥 32~40 min 期间,B 组的重量下降幅度与水分去除率均明显高于 A 组($P < 0.05$),这是由于低温负压干燥柜持续负压抽吸器械内部水分,干燥速率均匀,机械臂重量持续下降,而 A 组中表面水分干燥后内部结构中的水分不易被热风干燥。实验结果验证了两种干燥设备的不同干燥原理。

表 1 两组机器人机械臂不同干燥时间重量变化分析[M(P25,P75),g]

分组	基础重量	初步干燥	8 min	16 min	24 min
A 组	168.1(166.44,176.51)	171.42(169.7,179.04)	170.53(168.21,177.94)	170.51(167.28,177.22)	168.68(166.92,176.90)
B 组	171.29(166.52,176.56)	174.56(169.81,179.07)	173.98(169.15,178.69)	173.41(168.65,178.25)	172.98(168.17,177.87)
Z	-0.170	-0.429	-1.700	-2.588	-2.521
P	0.865	0.668	0.089	0.010	0.012

分组	32 min	40 min	48 min	56 min	64 min
A 组	168.53(166.72,176.83)	168.39(166.67,176.65)	168.31(166.61,176.62)	168.27(166.58,176.58)	168.26(166.55,176.55)
B 组	172.56(167.80,177.62)	172.07(167.46,177.36)	171.92(167.14,177.06)	171.70(166.95,176.83)	171.57(166.74,176.75)
Z	-2.521	-2.108	-1.398	-0.828	-0.303
P	0.012	0.035	0.162	0.408	0.762

$F_{\text{组间}} = 3.320, P_{\text{组间}} = 0.052; F_{\text{时间}} = 28.650, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{交互}} = 5.140, P_{\text{交互}} < 0.001$

表 2 两组机器人机械臂水分去除效率比较[n(%)]

组别	干燥 24~32 min	干燥 32~40 min	干燥 40~48 min	干燥 48~56 min	干燥 56~64 min
A 组	44.69(41.07,52.31)	41.64(26.67,50.00)	25.76(14.29,42.42)	21.34(10.53,44.44)	24.84(10.88,40.77)
B 组	23.28(19.71,27.07)	23.35(18.35,26.44)	29.42(25.01,39.24)	30.79(23.80,37.42)	28.05(23.87,37.70)
Z	-5.618	-3.600	-1.272	-1.272	-1.272
P	<0.01	<0.01	0.204	0.204	0.204

$F_{\text{组间}} = 5.790, P_{\text{组间}} = 0.019; F_{\text{时间}} = 41.870, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{交互}} = 29.430, P_{\text{交互}} < 0.001$

3.2 精密器械干燥效果评价方法的应用分析 目测法和压力气枪检测法是消毒供应中心日常工作中最常用的两种器械干燥效果评价方法。这两种方法简单易操作,但判断存在一定主观性,且不适用于例如机器人机械臂这样结构复杂且不可拆卸的精密器械。天平称重法是采用精密天平将一定数量的干燥器械称重并记录,然后将器械按照规范清洗流程完成终末清洗后再次称重并记录,与处理前的器械重量比较。单端开口的管腔器械盲端使得气枪气流无法通过,故采用称重法^[8]。从图 2 可见,机器人机械臂正是属于单端开口的管腔器械,因此本研究采用此方法来判定机器人机械臂干燥效果。但此方法较费时,同时需要借助天平称重仪,不太适合器械干燥效果的日常评价,更适用于定期监测及开展干燥实验研究。

3.3 机器人机械臂干燥的标准化流程 标准化的操作流程为工作人员提供标准指引,有助于提高器械再处理各个环节的工作质量。但调查^[7]发现,仅 53.67% 的医院消毒供应中心建立了精密器械的干

燥流程。因此,建立以机器人机械臂为代表的精密器械标准化干燥流程势在必行。目前器械干燥的设备设施包括低纤维絮擦布、95%乙醇溶液、气枪、医用热风干燥柜和低温负压干燥柜等,各种方法各具特点且适用器械结构不同。如何将它们有效结合,以期取得最佳干燥效果,正是器械标准化干燥流程中应该细化的主要内容。庄于洁等^[10]研究发现,压力气枪+热力干燥柜+低温负压干燥柜,干燥效果最彻底。刘慰等^[4]研究发现,在保证清洗消毒、灭菌质量的前提下只能通过缩短干燥时间来提高器械的周转。本实验所研究的干燥时间长,为加快机械臂周转,临床实际很难干燥 64 min 左右。依据本研究结果,建立机器人机械臂标准化干燥流程的关键环节为压力气枪初步干燥 20 s 至肉眼无可见水分,然后放入 90℃ 热风干燥柜 24 min,再放入 60℃ 低温负压干燥柜 16 min。目前机械臂 XI 型虽外部构造有异于 SI 型,但两者冲洗口及内部水流管路相同,故此 SOP 同样适用于 XI 型机械臂。

4 小结

本文通过达芬奇机器人机械臂分组实验研究,发现医用热风干燥柜和低温负压干燥柜在不同干燥时间节点展现出不同的干燥效果,建立了达芬奇机器人机械臂的标准化干燥流程。根据本次研究,将两种干燥设备有机结合的干燥方法可应用于不可拆卸、含管道等相似结构的精密器械,为消毒供应中心再处理提供参考。但实验方法较为简单,机械臂在干燥柜内均为平放,未进行不同的摆放角度的比较实验,且未考虑器械使用次数对于干燥效果的影响。今后,可以进一步研究不同摆放角度对干燥效果的影响,并增加干燥效果评价指标。

【参考文献】

[1] 于文静,肖瑶,吕锡荣,等.荧光检测技术用于机器人电外科手术器械清洗效果的研究[J].中国实用护理杂志,2020,22(36):1746-1749.
[2] 焦娇,姚卓娅,耿军辉,等.压力蒸汽灭菌湿包问题的研究进展

[J].齐齐哈尔医学院学报,2022,43(3):267-271.
[3] 张东芳,底瑞青,郭宏园,等.不同清洗方式对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.
[4] 刘慰,李琴,周春燕,等.一种干燥装置在达芬奇机器人器械干燥中的应用效果观察[J].中国消毒学杂志,2023,40(8):626-628.
[5] 国家卫生和计划生育委员会.医院消毒供应中心第2部分:清洗消毒及灭菌技术操作规范:WS 310.2-2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
[6] 张新祝,腔镜管腔器械清洗后2种干燥方法效果的对比研究[J].中国继续医学教育,2018,10(36):119-121.
[7] 沈红梅,莫军军,郭立,等.262所医院消毒供应中心精密器械干燥技术的现状调查[J].中华护理杂志,2023,58(5):531-536.
[8] 姚艳华,魏红艳,张晓秀,等.不同干燥方法对软式内镜的干燥效果[J].中国感染控制杂志,2020,19(2):169-172.
[9] 黄滨,林雅,张炼英,探讨低温负压干燥柜在精密管腔器械中的应用[J].中国卫生标准管理,2019,1(59):135-137.
[10] 庄玉洁,卢群,杨颖文.低温负压技术在硬式内镜器械干燥中的应用[J].实用临床护理学电子杂志,2020,5(45):162.

(本文编辑:王园园)

(上接第85页)

[12] LILJEHULT J, MOLSTED S, CHRISTENSEN T, et al. Mastering health following minor stroke: a qualitative explorative study[J/OL]. [2025-03-25]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35753094/>. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2022.106607.
[13] JAMISON J, GRAFFY J, MULLIS R, et al. Barriers to medication adherence for the secondary prevention of stroke: a qualitative interview study in primary care[J]. Br J Gen Pract, 2016, 66(649): e568-e576.
[14] YUKI T, KUDO M. Factors related to continuation of health behaviours among stroke survivors[J]. J Jpn Phys Ther Assoc, 2011, 14(1): 1-11.
[15] HILL V A, VICKREY B G, CHENG E M, et al. A pilot trial of a lifestyle intervention for stroke survivors: design of healthy eating and lifestyle after stroke (HEALS)[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2017, 26(12): 2806-2813.
[16] CORCHES C L, MCBRIDE A C, ROBLES M C, et al. Development, adaptation and scale-up of a community-wide, health behavior theory-based stroke preparedness intervention[J]. Am J Health Behav, 2020, 44(6): 744-755.
[17] BROUWER-GOOSSENSEN D, VAN GENUGTEN L, LINGSMA H, et al. Determinants of intention to change health-related behavior and actual change in patients with TIA or minor ischemic stroke[J]. Patient Educ Couns, 2016, 99(4): 644-650.
[18] 何福培,林蓓蕾,刘雪婷,等.缺血性脑卒中患者健康行为决策现状及其影响因素分析[J].中华护理杂志,2024,59(18):2222-2229.
[19] 张婷婷,杜晓霞,李芳,等.脑卒中康复期患者的健康行为及其影响因素分析[J].中国医学前沿杂志:电子版,2023,15(7):36-40.
[20] 魏琳,宋姗,刘杨晨,等.脑卒中患者健康行为及影响因素归类分析[J].中华行为医学与脑科学杂志,2021,30(4):322-326.

[21] 陈娟,董明霞,杨琪,等.青年脑卒中患者健康行为及其影响因素分析[J].中国卫生统计,2019,36(5):722-723,727.
[22] 万丽红,潘俊豪,张小培,等.健康信念在高血压合并脑卒中患者健康知识与健康行为间的中介效应[J].中华行为医学与脑科学杂志,2017,26(9):847-851.
[23] 刘华玲,时艳霞,朱海萍,等.中青年脑卒中患者健康行为调查及影响因素分析[J].中华护理杂志,2015,50(8):981-985.
[24] KIM M H. An explanatory model for health-promoting behaviors in patients living at home who have post stroke hemiplegia[J/OL]. [2025-03-25]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17091006/>. DOI: 10.4040/jkan.2006.36.6.1065.
[25] LILJEHULT J, MOLSTED S, MOLLER T, et al. Lifestyle counselling as secondary prevention in patients with minor stroke or transient ischemic attack: a randomized controlled pilot study[J/OL]. [2025-03-25]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38519983/>. DOI: 10.1186/s40814-024-01478-4.
[26] ZHANG M, GUO L, NAMASSEVAYAM G, et al. Factors associated with health behaviours among stroke survivors: a mixed-methods study using COM-B model[J]. J Clin Nurs, 2024, 33(6): 2138-2152.
[27] PLOW M, MOORE S M, SAJATOVIC M, et al. A mixed methods study of multiple health behaviors among individuals with stroke[J/OL]. [2025-03-25]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28560091/>. DOI: 10.7717/peerj.3210.
[28] 万丽红,张小培,洪华,等.脑卒中病人的健康行为及其影响因素研究[J].护理研究,2010,24(1):1-4.
[29] 陈超亿,冯占春,谈芳,等.慢性病患者主动健康行为量表编制和信效度评价[J].中华行为医学与脑科学杂志,2024,33(4):362-368.

(本文编辑:王园园)