

【研究生园地】

消毒供应中心双频超声波清洗机改善清洗效力的研究

郑伟¹, 李金池², 曾善玉²

(1.电子科技大学附属肿瘤医院 四川省肿瘤医院 消毒供应中心, 四川 成都 610041;

2. 成都市第二人民医院 消毒供应中心, 四川 成都 610041)

Improving cleaning effectiveness of dual-frequency ultrasonic cleaning machine in disinfection supply center//ZHENG Wei¹, LI Jin-chi², ZENG Shan-yu²

【摘要】目的 探讨消毒供应中心双频超声波清洗机减少清洗盲区的效果。**方法** 以消毒供应中心双频超声波清洗机为试验对象,使用铝箔腐蚀法记录空化效应的分布和强度,对照组铝箔在40 KHz超声中暴露2 min,试验组铝箔分别在40 KHz、80 KHz超声中暴露1 min,2组各重复试验20次。**结果** 试验组的铝箔腐蚀点数量大于对照组、铝箔腐蚀分布均匀性好于对照组、冷点数量小于对照组(均 $P<0.05$)。**结论** 双频超声波清洗机发生空化效应的区域更大、分布更均匀,可以较好的减少清洗盲区,还能避免局部空化效应过于集中而导致的器械损坏。

【关键词】 双频; 超声清洗; 驻波; 空化效应; 铝箔; 消毒供应中心

【中图分类号】 R472.1 **【文献标识码】** A **【DOI】** 10.16460/j.issn1008-9969.2024.12.018

污染后的可复用医疗器械需要经过清洗、消毒和灭菌后才能再次使用,消毒供应中心通过清洗来降低器械上的生物负荷,为后续的消毒和灭菌合格提供保障^[1-3]。超声波在水中传播所产生的空化效应可以高效地完成常规器械齿牙、管腔器械和精密器械的清洗工作^[4-6],使得超声波清洗机成为消毒供应中心最主要使用的清洗设备之一^[3-4]。消毒供应中心大多数超声波清洗机为“单面单频”工作模式(超声波换能器底部布局、单一超声频率)^[7],这使得超声波在传播过程中会形成驻波,其主要表现为空化效应会随距离的增加出现间断缺失,从而造成了超声波清洗机中出现多个清洗盲区^[8-9],会导致器械清洗不彻底。此外,非清洗盲区处可能因为长时间的空化效应作用导致器械的损坏^[10]。针对“单面单频”工作模式对清洗产生的不良影响,国内外研究者通过调节液面高度^[11]、扫频模式^[12]、增加和调节换能器位置^[10]等方法来减少驻波导致的清洗盲区,但调节液面法操作难度大、效率低,目前仅停留在实验层面,扫频模式下超声波频率变化幅度非常局限,减少清洗盲区的能力不足,增加和调节换能器位置会明显增大超声波清洗机的体积,而且成本增加明显。双频超声波清洗机的每个换能器可以交替发射2种频率超声波,在不改变主流超声波清洗机主体结构的前提下可以实现“单面双频”工作模式,本研究对消

毒供应中心双频超声波清洗机改善清洗盲区的能力进行了测试,取得较好效果,报告如下。

1 材料与方法

1.1 试验材料 本研究试验材料主要包括双频超声波清洗机1台和铝箔1卷。双频超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司,型号SB-800DTS),换能器位于水槽底部,超声功率840 W,超声频率40/80 KHz(可选),水槽容积30 L,水槽内自带网孔状不锈钢清洗篮筐1个。biosharp牌科研专用铝箔纸(北京兰杰柯科技有限公司,规格30 cm×20 m,厚度15 μm)。

1.2 试验方法

1.2.1 试验分组 试验分为对照组和试验组,使用铝箔腐蚀法^[13-14]记录2组空化效应的分布情况。2组采用同一台双频超声波清洗机进行试验,对照组仅使用40 KHz单一频率启动运行;试验组先后使用40 KHz和80 KHz 2种频率启动运行,2种频率运行时间均为对照组的1/2。

1.2.2 试验准备 (1)双频超声波清洗机准备:清洗水槽内加水至水位线(清洗篮筐底部到液面距离12 cm),开机,设定温度40℃,启动加热。(2)铝箔准备:根据清洗篮筐的大小和位置,裁剪为长24 cm×宽18 cm的铝箔数10张备用。(3)固定支架准备:在水槽顶部放置支架横杆并固定,横杆平行于水槽短边,在横杆两端各安装限位器1个。(4)预试验:由于不同超声频率的空化效应强度差异,根据2组不同时间超声暴露下铝箔的腐蚀情况确定试验时间,暴露时间为2 min时2组的铝箔腐蚀情况较为明显,

【收稿日期】 2023-12-04

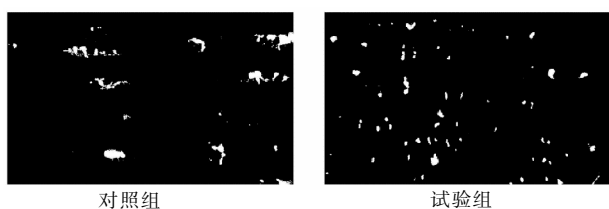
【作者简介】 郑伟(1990-),男,四川南充人,本科学历,硕士研究生在读,主管护师。

【通信作者】 曾善玉(1978-),女,四川成都人,本科学历,主管护师。E-mail:1138063242@qq.com

且铝箔完整性较好,故确定试验时间为 2 min。

1.2.3 试验过程 对照组:将准备好的铝箔垂直放入水中,铝箔长边下端靠近清洗篮筐底部,上端固定在支架横杆上,两侧安装限位器,启动 40 KHz 超声运行 2 min,结束后取出铝箔,对铝箔进行编号后放入 65 °C 热风干燥柜内干燥,以上步骤重复 20 次,最后排空水槽并彻底清除水槽内残留的铝箔碎屑。试验组:超声波清洗机水槽内重新注水、加热,除超声暴露为“40 KHz 超声 1 min+80 KHz 超声 1 min”外,其余操作同对照组,重复试验 20 次。

1.2.4 试验后铝箔处理 铝箔在超声中暴露时,因空化效应产生的破损处称之为铝箔腐蚀点,在超声暴露时间相同的情况下,其数量和面积与空化效应的强度和分布呈正相关。将 2 组共 40 张铝箔均裁剪为长 20 cm,宽 12 cm 规格(长度为限位器间的距离,宽度为铝箔入水高度),在暗环境中分别把铝箔平铺在白色光源上使用荣耀 70 Pro 手机拍摄照片,使用 Photoshop 2021 把每张照片调整为 1 000 像素×600 像素的图片(与铝箔 20 cm×12 cm 尺寸比例相同,同时便于后续软件计算分析),将图片导入 Octave 6.4.0 软件,使用 mat2gray 和 rgb2gray 函数对图片进行矩阵归一化和灰度处理,设定阈值为 0.5 进行图片二值化处理^[15],每张图片二值化后会生成 1 个大小为 1000×600 的数据表格,每个格子为 0 或 1,分别代表黑色(铝箔未腐蚀)和白色(铝箔腐蚀点),二值化处理的同时会生成黑白的图片。见图 1。



注:白色为铝箔腐蚀点

图 1 2 组铝箔图像二值化后图片

1.3 观察指标

1.3.1 铝箔腐蚀点数量 使用 Octave 6.4.0 软件的 bwnlabel 函数计算每张图片铝箔腐蚀点数量。

1.3.2 铝箔腐蚀分布的均匀性 将每张图片均匀分成 5×3 共 15 个区域,每个区域为 200 像素×200 像素,先计算每个区域里铝箔发生腐蚀面积占该区域总面积的百分比,再计算本张图片 15 个区域铝箔腐蚀面积的相对标准差,使用相对标准差来表示铝箔腐蚀分布的均匀性,相对标准差越小代表铝箔发生腐蚀的分布越均匀^[16]。

1.3.3 铝箔冷点数量 查看经超声暴露后的铝箔,

如果有 1 平方英寸面积的铝箔未破损且无空化效应冲击的痕迹,则该处被定义为冷点^[17],计算每张铝箔的冷点数量。

1.4 统计学方法 使用 Excel 2016 和 SPSS 23.0 分析数据。服从正态分布的计量资料采用均数±标准差描述,组间比较采用两独立样本 *t* 检验,偏态分布的计量资料以中位数和四分位数描述,组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 铝箔腐蚀点数量的 2 组比较 对照组铝箔腐蚀点为 (69.30±17.07) 个,试验组为 (87.30±17.43) 个,组间比较差异有统计学意义 ($t=3.299, P=0.002$)。

2.2 铝箔腐蚀分布均匀性的 2 组比较 对照组二值化后图片内 15 个区域的相对标准差为 (1.03±0.20)%,试验组为 (0.89±0.20)%,组间比较差异有统计学意义 ($t=2.295, P=0.027$)。

2.3 铝箔冷点数量的组间比较 对照组铝箔冷点数量为 4.00(3.00, 5.00) 个,试验组为 1.00(0, 2.00) 个,组间比较差异有统计学意义 ($Z=5.29, P<0.001$)。

3 讨论

3.1 双频超声波清洗机可以减少清洗盲区 “单面单频”超声波清洗机在运行时会在水中形成驻波,振幅最强的位置为波腹(空化效应最强),没有振幅的位置为波节(无空化效应),驻波的波腹和波节交替排列且位置固定^[16,18]。声波在 40 °C 水中的速度为 1 530 m/s^[19],根据“波长×频率=声速”公式可得超声频率为 40 KHz 和 80 KHz 时波长分别为 3.82 cm 和 1.91 cm。驻波的波腹波节交替排列,相邻波节之间的距离为 1/2 当前频率超声波波长,相邻波节之间有 1 个波腹^[16,20]。本研究中对对照组使用 40 KHz 频率、试验组先后使用 40 KHz 和 80 KHz 频率运行,故自液面向下的每个 3.82 cm 范围内,对照组有 2 个波腹;试验组在 40 KHz 频率运行时同对照组有 2 个波腹,在 80 KHz 频率时有 4 个波腹(3.82 cm 为 80 KHz 频率超声波波长的 2 倍)。2 种频率下处在不同位置的波腹相叠加可以扩大发生空化效应的区域,相应的减少了清洗盲区^[21]。因为水中发生空化效应的面积增加,更多的铝箔受到了空化效应的作用,使得试验组的铝箔腐蚀点数量多于对照组、铝箔腐蚀面积的相对标准差和冷点数量小于对照组(均 $P<0.05$),表明双频超声可以使发生空化效应的范围更大、分布更均匀,从而减少清洗盲区的存在,也避免了局部空化效应过于集中而导致的器械损坏。

3.2 双频超声波清洗机的其他优势 超声波在液体中传播时引起空化气泡生长和破溃的过程可以产生一系列物理和化学反应,从而达到分散、乳化和清除污物的目的^[20,22]。超声波频率和空化效应的强度成反比,低频超声的空化气泡半径大、空化效应强度大,适宜于普通器械的清洗,但不易于穿透深孔和结构复杂的器械;频率更高的超声空化气泡半径更小、空化效应更“温和”,利于结构复杂、材质精密的器械清洗^[20,23]。在消毒供应中心工作中,双频超声波清洗机可以选择双频运行,在减少清洗盲区的同时可以实现对不同复杂程度器械的有效清洗,还可以单独选择高频运行,用于眼科器械等精密器械的清洗。

4 本研究的不足

本研究中超声波清洗机的高频与低频为倍数关系,导致在一定距离内两者的波节会出现重合,下一步需要研究不同的双频组合或三频组合来更好的减少甚至消除清洗盲区;另外,本研究仅为试验研究,今后还需要开始实际的器械清洗操作,以观察其实际效果。

[参 考 文 献]

- [1] Resendiz M, Horseman TS, Hover AJ, et al. Assessment of surgical instrument bioburden after steam sterilization: a pilot study[J]. *Am J Infect Control*, 2020, 48(2):219–221. DOI:10.1016/j.ajic.2019.08.018.
- [2] Rutala WA, Weber DJ. Disinfection, sterilization, and antisepsis: an overview[J]. *Am J Infect Control*, 2019, 47S:A3–A9. DOI:10.1016/j.ajic.2019.01.018.
- [3] 魏居芹, 丁春忠, 程平, 等. 医疗器械超声清洗效果的影响因素[J]. *中国感染控制杂志*, 2020, 19(10):914–920. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20205770.
- [4] 郑伟, 秦英, 江庆华. 基于 Octave 软件与铝箔腐蚀法对超声清洗时器械摆放位置的研究[J]. *护理学报*, 2023, 30(3): 26–29. DOI:10.16460/j.issn1008-9969.2023.03.026.
- [5] 张萍, 梁东竹, 赵新波, 等. 去生物膜清洗剂配合真空超声清洗机对管腔器械清洗效果观察与分析[J]. *中国医学装备*, 2021, 18(7):44–47. DOI:10.3969/J.ISSN.1672-8270.2021.07.010.
- [6] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 医院消毒供应中心 第 1 部分管理规范: WS 310.1-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [7] 郑伟, 谢月, 秦英, 等. 清洗篮筐升降法改善超声清洗空化效应分布的研究[J]. *护理学杂志*, 2022, 37(19):52–54. DOI:10.3870/j.issn.1001-4152.2022.19.052.
- [8] Yamashita T, Ando K. Low-intensity ultrasound induced cavitation and streaming in oxygen-supersaturated water: role of cavitation bubbles as physical cleaning agents[J]. *Ultrason Sonochem*, 2019, 52:268–279. DOI:10.1016/j.ultsonch.2018.11.025.
- [9] Naoyuki Y, Natsumi K, Tomoya K, et al. Ultrasonic standing wave preparation of a liquid cell for glucose measurements in urine by midinfrared spectroscopy and potential application to smart toilets[J]. *J Biomed Opt*, 2018, 23(5):50503. DOI:10.1117/1.JBO.23.5.050503.
- [10] Tangsopha W, Keawklan T, Kesngam K, et al. Improved design of ultrasonic cleaning tank using harmonic response analysis in ANSYS[J]. *Earth Environ Sci*, 2018, 159(1): 12042. DOI:10.1088/1755-1315/159/1/012042.
- [11] 邱莹莹, 刘世清, 潘伟中. 利用变液面法改善超声清洗效果的研究[J]. *浙江师范大学学报(自然科学版)*, 2008(3): 300–303. DOI:10.3969/j.issn.1001-5051.2008.03.014.
- [12] Luo X, Cao J, Gong H, et al. Phase separation technology based on ultrasonic standing waves: a review[J]. *Ultrason Sonochem*, 2018, 48:287–298. DOI:10.1016/j.ultsonch.2018.06.006.
- [13] Choi J, Son Y. Quantification of sonochemical and sono-physical effects in a 20 kHz probe-type sonoreactor: enhancing sonophysical effects in heterogeneous systems with milli-sized particles[J]. *Ultrason Sonochem*, 2022, 82:105888. DOI:10.2139/ssrn.3965548.
- [14] Lee D, Son Y. Ultrasound-assisted soil washing processes using organic solvents for the remediation of PCBs-contaminated soils[J]. *Ultrason Sonochem*, 2021, 80:105825. DOI:10.1016/j.ultsonch.2021.105825.
- [15] 郭璇, 杨艳玲, 李星, 等. 基于 Matlab 的超声空化场测量与可视化分析[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(3):719–726. DOI:10.3969/j.issn.1000-6923.2016.03.013.
- [16] 单鸣雷, 杨云楼, 朱益鹏, 等. 声源分布和超声频率对清洗声场均匀性的优化[J]. *应用声学*, 2018, 37(4):475–480.
- [17] 黄浩, 周晓丽, 陈慧. 医院消毒供应中心管理指南[M]. 北京: 研究出版社, 2019.
- [18] 马立康, 暨勇策, 沈国清, 等. 超声空化现象影响因素的实验研究[J]. *应用声学*, 2019, 38(6):999–1003. DOI:10.11684/j.issn.1000-310X.2019.06.013.
- [19] 史亦韦. 超声检测[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [20] 王振华. 超声波清洗技术[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2019.
- [21] Nakamura N, Mori K, Komatsu T, et al. Dual-frequency ultrasonic cleaning with diluted phosphoric acid solution for Removing Oxide Scale of uncoated steel sheets in hot stamping[J]. *Int J Adv Manuf Technol*, 2022, 118(3):1227–1238. DOI:10.1007/S00170-021-08015-0.
- [22] 李璐, 李家成, 王佳豪, 等. 超声波清洗技术在工业领域的应用研究进展[J]. *应用化工*, 2021, 50(3):759–764. DOI:10.3969/j.issn.1671-3206.2021.03.041.
- [23] 吴秀玲, 王爱玲, 祝锡晶. 功率超声振动加工技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.

[本文编辑:王影]