

• 基础护理 •
• 论 著 •

清洗篮筐升降法改善超声清洗空化效应分布的研究

郑伟¹, 谢月², 秦英¹, 江庆华³

摘要:目的 改善消毒供应中心超声清洗物品空化效应分布。方法 制作液压升降装置与铝箔固定支架作为辅助装置置于超声波清洗机上,铝箔固定在清洗篮筐中作为被清洗物品(记录超声清洗空化效应分布情况)。实验组采用自制液压升降装置使清洗篮筐抬高(1 cm)和还原,即铝箔在清洗过程中变化高度,对照组不改变清洗篮筐(铝箔)高度,两组各重复实验30次。结果 实验组铝箔腐蚀面积显著大于对照组、铝箔腐蚀分布均匀性显著优于对照组(均 $P < 0.05$)。结论 清洗篮筐升降法可增加超声清洗空化效应区域、使空化效应分布更加均匀,消除物品清洗盲区,从而提高清洗效果。

关键词:超声清洗; 空化效应; 驻波; 清洗篮筐; 升降法; 消毒供应中心

中图分类号:R472.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.3870/j.issn.1001-4152.2022.19.052

Up and down of the cleansing basket to improve the spatial distribution of cavitation activity during ultrasonic cleaning Zheng Wei, Xie Yue, Qin Ying, Jiang Qinghua. Central Sterile Supply Department, Cancer Hospital Affiliated to School of Medicine, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610041, China

Abstract: **Objective** To improve the spatial distribution of cavitation activity during ultrasonic cleaning in the central sterile supply department. **Methods** A hydraulic lifting device and a bracket for fixing aluminum foil were made as auxiliary devices and placed on the ultrasonic cleaning machine, then aluminum foil was mounted on the cleansing basket as the cleansing object in order to record the cavitation distribution. The experimental group utilized the hydraulic lifting device to raise and lower the cleansing basket with 1 cm of height in ultrasonic cleaning, while the control group did not change the height of the cleansing basket. The experiment was repeated 30 times in each of the two groups. **Results** The erosion area of the aluminum foil was significantly larger, and the erosion was more evenly distributed in the experimental group compared with the control group (both $P < 0.05$). **Conclusion** Up and down of the cleansing basket can increase cavitation distribution and make the cavitation be more evenly distributed, so as to eliminate blind areas in ultrasonic cleaning and improve the cleaning effect.

Key words: ultrasonic cleaning; cavitation effect; standing wave; cleaning basket; up and down method; central sterile supply department

消毒供应中心(Central Sterile Supply Department, CSSD)是医院内承担各科室重复使用医疗器械清洗、消毒和灭菌及无菌物品供应的部门^[1],有效的清洗能减少器械上的生物载荷,是消毒和灭菌合格的重要保证^[2]。超声清洗机是CSSD最常使用的清洗设备^[3],它是利用超声波在水中传递引起的空化效应达到使污物剥离脱落的目的^[4],对普通器械的关节和齿牙、精密器械^[5]、管腔器械^[6]的清洗效果较好。CSSD中大多数超声清洗机的超声波在水中的传播方向是自下而上,在遇到液面时超声波发生反射,入射波和反射波叠加会形成驻波,驻波的波腹(空化效应强烈)和波节(没有空化效应)交替排列且位置固定,处在波节位置的器械得不到有效清洗而形成清洗盲区^[7-8]。目前,国内外研究者采用双频^[7]、变液面法^[9]、改变水槽形状^[10]、改变换能器布阵形式^[11]等方法来减少因驻波产生的清洗盲区。本研究使用清洗

篮筐升降法(改变水中器械摆放位置的高度)来改善消毒供应中心超声清洗空化效应的分布情况,取得较好效果,报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究实验材料主要包括超声波清洗机1台、铝箔1卷和多酶清洗剂220 mL。超声波清洗机(德国艾尔玛牌,型号S300H),换能器位于水槽底部,超声功率300 W,频率37 kHz;水槽50 cm×30 cm×20 cm。市售铝箔,厚度15 μm。美国3M牌手工专用强效多酶清洗液,规格为2 L/桶。实验在CSSD去污区进行,温度20℃,湿度50%。

1.2 方法

1.2.1 实验分组 实验分为实验组和对照组,对照组按超声波清洗标准流程进行操作。实验组在超声清洗过程中变换待清洗物品摆放位置的高度,距离为 $\lambda/4$ (λ 为超声波波长),其余操作与对照组相同。

1.2.2 实验准备

1.2.2.1 物品准备 超声波清洗机水槽内加水22 L,液面高度约16 cm,加热至40℃,加入多酶清洗剂110 mL(比例为1:200),运行脱气程序10 min,开启扫频模式。将铝箔裁剪成15 cm×15 cm数十张,尽可能保持铝箔的平整性。

作者单位:电子科技大学医学院附属肿瘤医院/四川省肿瘤医院 1. 消毒供应中心 3. 护理部(四川 成都,610041);2. 遵义医科大学附属医院消毒供应中心

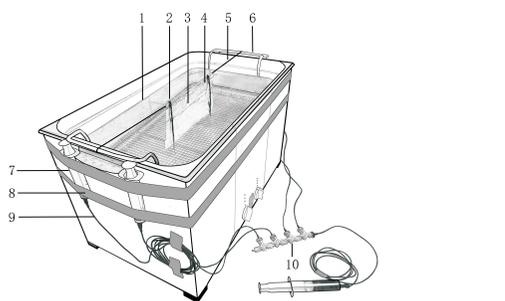
郑伟:男,硕士在读,主管护师

通信作者:江庆华,569458942@qq.com

收稿:2022-05-18;修回:2022-07-04

1.2.2.2 液压升降装置与铝箔固定支架的制作 ①

制作液压升降装置。升降装置的主体由 5 个 20 mL 注射器组成,注射器通过一次性使用输液连接管(规格 LB-1)和输液用三通(规格 394601)连接。4 个注射器分别固定在超声清洗机外壁上作为举升器,注射器的乳头朝下,活塞柄位于清洗篮筐(超声波清洗机自带部件)把手下方;另 1 个注射器作为动力源,人工抽吸经水质硬度检测试剂染色后(便于观察升降装置的工作情况)的自来水,排尽升降装置内气体。②制作铝箔固定支架。由 1 根横杆和固定在横杆上的 2 个限位器构成。横杆通过水槽顶部的中心点且与水槽长边平行,两端固定在清洗篮筐的把手上,2 个限位器距离 13 cm(因铝箔宽度为 15 cm),制作该支架是为了减少实验中铝箔的位移。见图 1。



- 1. 清洗篮筐
- 2. 固定支架限位器
- 3. 液面
- 4. 实验铝箔
- 5. 固定支架横杆
- 6. 清洗篮筐把手
- 7. 注射器
- 8. 固定胶带
- 9. 一次性使用输液连接管
- 10. 输液用三通

图 1 液压升降装置和铝箔固定支架示意图

1.2.2.3 预实验 进行预实验检验升降装置的可靠性并确定实验中铝箔在超声中的最佳暴露时间,暴露时间 90 s 的铝箔腐蚀效果较为满意(时间太短会导致铝箔腐蚀面积过少不利于结果观察,时间太长造成铝箔破损严重不利于后续操作的进行),故实验时间确定为 90 s。

1.2.3 实验过程 对照组:将裁剪好的铝箔垂直放入超声清洗机中,铝箔上端固定在支架横杆上,两侧置入限位器内,启动超声运行 90 s,取出铝箔,编号后放入 65℃ 的热风干燥柜中干燥,最后取出保存。以上步骤重复 30 次,实验完成后清洁水槽,彻底清除脱落的铝箔碎屑。实验组:超声清洗机重新注水、加热、加酶和脱气,固定好铝箔,实验人员推动动力源注射器,驱动 4 个举升用注射器活塞升高,使清洗篮筐抬高 1 cm(即 $\lambda/4$,水中声速取 1 500 m/s^[12],已知超声频率 37 kHz,根据波长 = 声速/频率公式可得 $\lambda = 4.05$ cm, $\lambda/4 = 1.01$ cm,本实验中取 1 cm),启动超声,40 s 后动力源注射器回抽,使清洗篮筐 10 s 匀速下降至初始位置,继续超声 40 s,累计超声暴露时间 90 s,取出铝箔,后续操作与对照组相同,重复实验 30 次。

1.3 评价方法

1.3.1 铝箔腐蚀面积 超声清洗机中空化效应强烈的地方铝箔会腐蚀,铝箔腐蚀面积代表发生空化效应的区域。将实验获得的铝箔裁剪成 8 cm×8.5 cm 规格(铝箔底边中点向两侧各取 4 cm 为宽度,底边向上取 8.5 cm 为高度,因 8 cm 约为单个换能器空化区域的宽度,8.5 cm 约为铝箔入水的高度),在暗环境中,把铝箔平铺在白色光源上采集照片,将照片调整为 945 像素×1 004 像素(与铝箔尺寸的比例相同,同时便于后续的 Octave 软件运算),使用 Octave 的 mat2gray 函数矩阵归一化图片、rgb2gray 函数灰度化图片,设定阈值为 0.5^[13] 二值化图片,二值化后的图片中白色代表铝箔腐蚀的面积,计算每张图片白色像素占总像素的百分比。

1.3.2 铝箔腐蚀分布的均匀性 每张二值化后的图片是一个包含 0 和 1 的大小为 945×1 004 的矩阵,其中 1 代表铝箔发生了腐蚀,计算每行铝箔腐蚀面积的百分比,最后计算 1 004 行铝箔腐蚀面积百分比的相对标准差。相对标准差越小,代表铝箔腐蚀分布的均匀性越好^[14]。

1.4 统计学方法 使用 Excel2016 和 R4.1.3 软件进行统计分析。服从正态分布的计量资料以均数±标准差表示,行 *t* 检验。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 两组铝箔腐蚀面积比较 对照组铝箔腐蚀面积为(4.24±0.48)%,实验组为(5.16±0.77)%,两组比较, $t = -5.551, P < 0.001$ 。实验组铝箔腐蚀面积显著大于对照组。

2.2 两组铝箔腐蚀分布的均匀性比较 铝箔每行腐蚀面积百分比的相对标准差:对照组为(150.94±7.47)%,实验组为(82.96±8.20)%,两组比较, $t = 33.579, P < 0.001$ 。实验组铝箔腐蚀分布的均匀性显著好于对照组。

3 讨论

3.1 驻波造成的清洗盲区是超声清洗机必须面对的问题 超声波换能器可以将电流转换成机械振动(即超声波),是超声清洗机的主要组成部分,常见的超声清洗机的换能器安装在水槽的底部^[8],此时溶液中超声波的传播方向是自下而上,因为水和空气的声阻抗相差很大,超声波在传播过程中遇到液面时会发生全反射^[15],入射波和反射波的方向相反、速度和振幅相同,两列波叠加会形成驻波(视觉上波形未向前传递谓之驻)^[14,16]。驻波的波腹处振幅最大,空化效应最强烈,驻波的波节处振幅为 0,不发生空化效应,波腹和波节交替排列^[7],相邻波腹和波节的距离为 $\lambda/4$ 。超声频率和液面高度不变时,驻波的形态不会发生改变,每个波节处因为没有空化效应而成为清洗盲区,使处在这些位置的器械得不到有效清洗,这是使用超声清洗机时不得不考虑的问题^[14,17]。

3.2 清洗篮筐升降法可以改善超声清洗空化效应的分布情况 本研究中,实验组铝箔腐蚀面积的百分比大于对照组,而且铝箔腐蚀分布较对照组更加均匀,表明清洗篮筐升降法可以增加超声清洗时发生空化效应的区域,同时可以使发生空化效应的区域分布更加均匀。驻波中相邻波腹和波节的距离是 $\lambda/4$,清洗篮筐升降法使被清洗器械的摆放高度变化 $\lambda/4$,可以让器械摆放高度所对应的波腹和波节位置互换,使开始处在波节处没有得到清洗的物品移动到邻近波腹位置,从而得到有效清洗。本研究中,实验组在实验开始时升降装置处在最高位置,实验中再降低到低位,这是考虑了CSSD实际工作中的情况,如果清洗开始时升降装置(待清洗物品)处在最低位置,清洗过程中升降装置的升高可能导致待清洗物品露出水面而得不到清洗,本研究采用先升高再降低的方法则会避免该问题的发生。

3.3 清洗篮筐升降法较其他清洗法的优势 扫频、主动变液面法、双频、多频、改变水槽形状和改变换能器布阵形式等多种方法可以减少驻波造成的清洗盲区,但这些方法也存在一些缺陷。扫频超声的频率变化一般是 $\pm 0.1 \sim 0.5 \text{ kHz}$ ^[8],波长的变化不明显,引起的波腹和波节位置改变很小,对减少清洗盲区的作用有限。主动变液面法需要排水^[9],如果水直接排放,下个清洗循环需要加水和清洗剂,这样会造成能源浪费,如果排出的水暂存后下个清洗循环再次注入清洗水槽,则需要增加输水管和储水设施,这样会增加其自身的清洁难度,而且清洗水槽容积越大,主动变液面法的排水量就越大、排水时间就越长,大大降低了该方法的普及性。双频、多频、改变水槽形状和改变换能器布阵形式方法需要生产厂商进行设计、生产和调试,CSSD难以独立采用此类方法。清洗篮筐升降法是通过升降清洗篮筐来带动被清洗器械的位置改变,不需要排水;升降装置与清洗溶液和医疗器械完全隔开,不会污染清洗溶液和器械;升降装置的升降高度只与超声清洗机的频率有关,与清洗水槽的容积无关,故该方法可以适用于任何水槽容积的超声清洗机;针对超声清洗机不同的频率,只需要调节升降高度(即动力源注射器活塞的运动距离),超声频率越高波长越短,CSSD最低的超声清洗机频率是28 kHz,其 $\lambda/4 = 1.34 \text{ cm}$,所以升降装置最大高度为1.34 cm,使得每次升降的做功较少,时间较短。基于这些优点,可以认为清洗篮筐升降法是CSSD容易实现的、效果明显的用于改善超声清洗空化效应分布的方法。

4 小结

超声清洗是CSSD器械再处理过程中重要的步骤,超声驻波造成的清洗盲区是CSSD不得不重视的问题,清洗篮筐升降法可以增加发生空化效应的区域,使空化效应分布更加均匀,消除清洗盲区,同时避

免因空化效应集中导致的器械损坏,从而达到提高清洗质量、维护器械功能、确保医疗安全、维护患者健康的目的。本研究仅为实验研究,今后需要对医疗器械进行清洗,以验证实际效果;使用注射器为主体的液压升降装置的耐用性较差,后续计划与相关设备生产厂商共同优化液压升降装置的材质、外形和驱动控制系统,提高该装置的耐用性、实用性和便捷性,以便其在超声清洗领域的推广应用。

参考文献:

- [1] 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[S]. 2016.
- [2] 端木玉明,刘霞,杨燕,等. 用3%过氧化氢预处理金属吸引头提高清洗质量[J]. 护理学杂志,2020,35(11):44,53.
- [3] 孔宛如,孙强,王楠,等. 山东省公立三级医院消毒供应中心设施建设现状调查分析[J]. 护理学杂志,2019,34(18):65-67.
- [4] Lv Z, Hou R, Zhang Z, et al. Effect of ultrasonic vibration on cavitation erosion of aluminum oxide in fluid jet machining[J]. Int J Adv Des Manuf Technol, 2020, 111(9):2911-2918.
- [5] 黄浩,张青. 医院消毒供应中心对精密手术器械管理的调查研究[J]. 中华护理杂志,2017,52(10):1238-1240.
- [6] 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.
- [7] 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 Des Manuf Technol, 2021, 118(3-4):1227-1238.
- [8] 王振华. 超声波清洗技术[M]. 武汉:武汉理工大学出版社,2019:41-53.
- [9] 邱营营. 变液面法改善超声清洗效果的研究[D]. 金华:浙江师范大学,2009.
- [10] 王阳恩,尚志远,董彦武. 两种超声清洗槽的声场分布比较[J]. 声学技术,1996,15(2):88-90.
- [11] 任金莲,张明铎,牛勇,等. 改善大功率超声清洗声场均匀性的一种方法[J]. 压电与声光,2003,25(4):347-350.
- [12] 武喜文. 超声振动作用下的金属管道内声场特性研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 黄志超,涂林鹏,刘举平,等. 超声波清洗技术及设备研究进展[J]. 华东交通大学学报,2020,37(3):1-9.
- [17] Mat-Shayuti M S, Tuan Y T, Abdullah M Z, et al. Progress in ultrasonic oil-contaminated sand cleaning: a fundamental review [J]. Environ Sci Pollut Res, 2019, 26(26):26419-26438.