

DOI: 10. 12138/j. issn. 1671-9638. 20245088

· 论 著 ·

臭氧协同过氧乙酸消毒在医院集中式纯水供应系统中的应用研究

曹雄晶, 范允舟, 高 芳, 吴艳艳, 朱 明, 双梦婕, 熊莉娟

(华中科技大学同济医学院附属协和医院医院感染管理科, 湖北 武汉 430022)

[摘要] **目的** 探讨臭氧协同过氧乙酸(PAA)消毒法降低集中式纯水供应系统使用点末端纯水中需氧菌总数的效果。**方法** 开展两阶段对照研究,对某医院集中式纯水供应系统的末端纯水进行微生物限度检查。第一阶段使用 PAA 消毒法,第二阶段为臭氧强化消毒阶段,使用 PAA 协同臭氧的消毒方式。比较不同阶段的消毒效果。**结果** 试验期间共采集 211 份水标本,PAA 消毒组 101 份,臭氧强化消毒组 110 份,用水点末端纯水菌落合格率臭氧强化消毒组(85.45%)高于 PAA 消毒组(74.26%),差异有统计学意义($P=0.04$)。臭氧强化消毒组的需氧菌菌落数的中位数(2 CFU/mL)低于 PAA 消毒组(20 CFU/mL)。随着消毒后时间延长,PAA 消毒组的水标本中需氧菌数量呈现明显的上升趋势(第 1 天 VS 第 92 天:9 CFU/mL VS 1 062 CFU/mL),臭氧强化消毒组纯水需氧菌数量则波动较小(第 1 天 VS 第 92 天:8 CFU/mL VS 58 CFU/mL)。**结论** 臭氧协同 PAA 消毒法可降低集中式纯水供应系统的末端出水的需氧菌总数,且维持效果明显。

[关键词] 臭氧; 过氧乙酸; 医院; 集中式纯水供应系统; 消毒

[中图分类号] R187

Application of ozone combined with peracetic acid disinfection in centralized pure water supply system in hospitals

CAO Xiong-jing, FAN Yun-zhou, GAO Fang, WU Yan-yan, ZHU Ming, SHUANG Meng-jie, XIONG Li-juan (Department of Healthcare-associated Infection Management, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, China)

[Abstract] **Objective** To explore the disinfection effect of ozone combined with peracetic acid (PAA) on reducing the total number of aerobic bacteria in pure water from the terminal of centralized pure water supply system. **Methods** A two-stage controlled study was conducted, and microbial limit test was performed on the pure water from the terminal of centralized pure water supply system in a hospital. At the first stage, PAA disinfection method was adopted, and ozone enhanced disinfection (PAA combined with ozone disinfection) was adopted at the second stage. Disinfection effects at different stages were compared. **Results** A total of 211 water specimens were collected for testing, including 101 specimens from PAA disinfection group and 110 from ozone enhanced disinfection group. The bacterial colony qualification rate of terminal pure water from the ozone enhanced disinfection group was higher than PAA group (85.45% vs 74.26%, $P=0.04$). The median of aerobic bacterial colony number of the ozone enhanced disinfection group (2 CFU/mL) was significantly lower than that of the PAA disinfection group (20 CFU/mL). With time increase after disinfection, the number of aerobic bacteria colony in water specimens from the PAA disinfection group showed a significant upward trend (Day 1 vs Day 92: 9 CFU/mL vs 1 062 CFU/mL), while the aerobic bacteria fluctuation range in the pure water from the ozone enhanced disinfection group was relatively small (Day 1 vs Day 92: 8 CFU/mL vs 58 CFU/mL). **Conclusion** The ozone combined with PAA disinfection method can significantly reduce the total number of aerobic bacteria in water from the terminal of centralized pure water supply sys-

[收稿日期] 2023-10-16

[基金项目] 湖北省公共卫生领军人才项目(鄂卫通[2021]73号)

[作者简介] 曹雄晶(1990-),女(汉族),甘肃省金昌市人,主管技师,主要从事医院感染监测研究。

[通信作者] 熊莉娟 E-mail: 1104820891@qq.com

tem, with obvious maintaining effect.

[Key words] ozone; peracetic acid; hospital; centralized pure water supply system; disinfection

医疗用水的污染会增加水源性感染风险及相关疾病发生概率,威胁患者及医务人员健康^[1-2]。医院供水系统是水源性致病菌定植和繁殖的重要场所^[3],对医院供水系统进行清洁、消毒,是预防和控制医院内水源性感染的重要措施。近年来,医院集中式纯水供应系统因可以满足临床对纯化水的需求,提升医院设备管理水平和效率,大大降低制水成本等优势,正在快速替代原有的单科室独立供水设备,在医院内得到广泛的应用^[4]。但是,集中式纯水供应系统易出现微生物污染的问题也逐渐显现^[5]。

目前,集中式纯水供应系统比较常用的消毒方式为过氧乙酸(peracetic acid, PAA)消毒法,但单独使用 PAA 定期消毒难以保证各使用点末端纯水的质量。臭氧消毒具有速度快、效果好、无残留等优点,在国外被广泛用于集中处理设施的水消毒^[6],本研究通过开展两阶段对照试验,探讨臭氧协同 PAA 消毒法对控制医院集中式纯水供应系统中需氧菌总数的效果。

1 材料与方 法

1.1 主要设备

湖北省某医院门诊大楼集中式纯水供应系统,该系统为组合纯水制备供应系统,主要由原水预处理系统、精密过滤器、反渗透水系统、纯水箱、紫外线杀菌器、微孔折叠过滤器等构成;空气源水处理用臭氧发生器(广州启达环保设备有限公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 消毒方法

2022 年 3—10 月开展两阶段对照试验,按照集中式纯水供应系统的运行管理要求,每间隔 3 个月使用 0.3% PAA 对纯水储罐、输水管路和各个使用点位进行全面彻底消毒。第一阶段仅使用 PAA 定期消毒;第二阶段为臭氧强化消毒阶段,在使用 PAA 进行全面消毒的基础上,采用曝气混合投加法每 3 d 投加 1 次臭氧。曝气混合投加法是把臭氧发生器所产生的臭氧气体通过管道通入到纯水箱的底部,经曝气头、曝气盘散发出微气泡,气泡在上升的过程中臭氧溶解于水,再通过纯水输送管网将纯水箱内的水循环输送到每一个用水点终端。见图 1。

1.2.2 采样方法

两个阶段均在使用 PAA 消毒剂对集中式纯水供应系统及管路进行全面消毒的第 1、8、15、36、64、92 天进行微生物限度检查,采集标本为经集中式纯水供应系统处理后到达各使用点

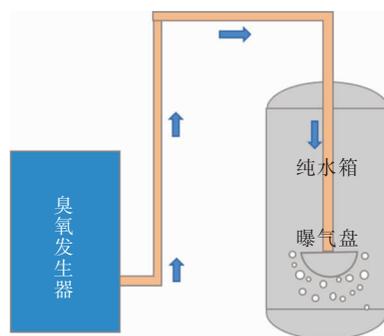


图 1 臭氧投加方法示意图

Figure 1 Schematic diagram of adding ozone disinfectant

(血液透析中心、口腔科、消毒供应室等)的末端纯水。采样时,使用 75% 乙醇擦拭消毒出水口处,放水至少 60 s 后,使用无菌采样管收集水样立即送检。

1.2.3 检测方法

微生物限度检查方法参照 2020 年版《中国药典(二部)》纯化水规定进行,取不少于 1 mL 的标本经滤膜过滤法(滤膜孔径 0.45 μm)处理,采用 R2A 营养琼脂培养基,30~35℃ 培养 7 d。同时,将同 1 份水标本的原液及 10 稀释液各取 1.0 mL,分别接种两块平板,倾注 R2A 琼脂,30~35℃ 培养 7 d,计数菌落数。若滤膜上生长的菌落数无法计数时,则以接种法的结果为准;当滤膜上菌落数可计数时,则以滤膜法结果为准。合格标准参照中国药典中对纯化水的要求:需氧菌总数≤100 CFU/mL。

1.3 统计分析

应用 SPSS 21.0 和 GraphPad Prism 软件(第 8 版, San Diego CA, USA)进行分析和作图。采用中位数和四分位数间距描述纯水标本的需氧菌菌落数分布情况。采用卡方检验比较组间合格率的差异性, Mann-Whitney U 检验比较连续性变量的组间差异性, 双侧检验, $P \leq 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 臭氧强化消毒前后使用点末端纯水需氧菌总数分布

共采集 211 份水标本, PAA 消毒组 101 份, 臭氧强化消毒组 110 份。PAA 消毒组末端纯水的需氧菌菌落数极差 5 000 CFU/mL, 臭氧强化消毒组为 210 CFU/mL。臭氧强化消毒组的合格率(85.45%)高于 PAA 消毒组(74.26%), 差异有统计学差异($\chi^2 = 4.27, P = 0.04$)。

PAA 消毒组的末端纯水标本需氧菌菌落数的中位计数为 20 CFU/mL, 四分位间距为 103 CFU/mL; 臭氧强化消毒组的末端纯水标本的需氧菌中位数为 2 CFU/mL, 四分位间距为 4 CFU/mL。两组比较差异有统计学意义($Z = -4.93, P < 0.001$)。见图 2。

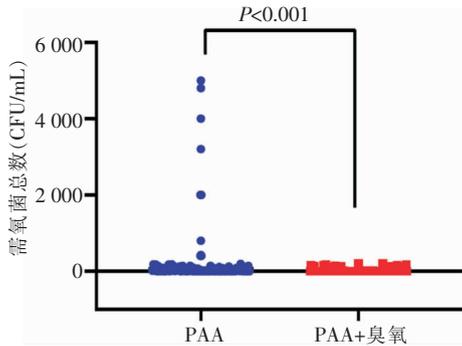


图 2 臭氧强化消毒前后纯水中需氧菌总数分布情况

Figure 2 Total number distribution of aerobic bacteria in pure water before and after ozone enhanced disinfection

2.2 消毒后不同天数下末端纯水需氧菌总数变化趋势 随着消毒后时间的延长, PAA 组的需氧菌总数呈现明显的上升趋势, 从消毒后第 1 天的 9 CFU/mL 上升至第 92 天的 1 062 CFU/mL。臭氧强化消毒组需氧菌总数总体呈上升趋势, 从第 1 天的 8 CFU/mL 上升为第 92 天的 58 CFU/mL, 期间有小幅度的波动。见图 3。

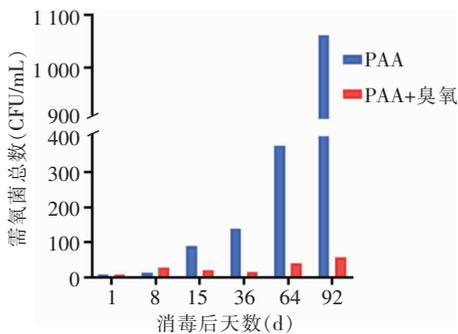


图 3 消毒后不同天数下末端纯水中需氧菌总数的变化趋势

Figure 3 Changing trend of the total number of aerobic bacteria in terminal pure water at different days after disinfection

3 讨论

水路系统中存在着各种病原微生物, 被微生物污染的水源是引起医院感染的潜在危险因素^[7]。一项

巴西的研究^[8]发现, 1 例患者在造血干细胞移植后发生了侵袭性龙葵镰刀菌感染, 经过调查研究, 其感染原因可能与供水系统中存在真菌有关。研究^[9]发现内镜终末漂洗用水的微生物污染直接导致患者出现感染, 且与纯化水供给管道未消毒密切相关。医用集中式纯水供应系统由安装在大楼机房的纯水供应系统制备纯水, 再经由不同的密闭循环管网通向各科室用水点^[10], 期间经过的管网线路长, 被污染的概率大。定期清洗和消毒供水系统, 做好终末用水的质量管理和监测, 是保证医疗用水安全的重要前提^[11]。

PAA 被认为是氯消毒的绿色替代品, 可有效杀灭水体中的多种病原微生物, 在各医疗机构集中式纯水供应系统消毒中被广泛使用^[12]。本研究开展机构的集中式纯水供应系统自正式启用起, 定期使用 PAA 全面彻底消毒水路系统, 在使用 1 年后开始出现部分使用点末端纯水超标的现象。研究开展阶段, 仅使用 PAA 消毒后使用点末端纯水整体合格率为 74.26%, 从消毒后第 15 天开始出现末端水需氧菌总数超标现象, 且部分末端水超标严重; 因此, 仅使用 PAA 定期对集中式纯水供应系统进行消毒的效果有待商榷。目前, 臭氧消毒技术已在医院水路系统消毒中得到了广泛的应用。臭氧是一种强氧化剂, 具有高度的化学活性, 在水处理过程中能够迅速与水中的有机物和微生物发生化学反应, 破坏微生物的细胞壁和细胞膜, 使其失去活性而死亡, 从而达到杀灭微生物和去除污染物的目的^[13]。同时, 臭氧性质不稳定, 随时间呈指数级衰减, 产物是氧气, 无毒性及毒性残留物, 消毒后无需反复冲洗^[14-15]。

本研究发现臭氧协同 PAA 消毒能够明显降低水中需氧菌的数量。在使用臭氧强化消毒后, 使用点末端纯水的需氧菌总数低于强化消毒前, 纯水合格率从臭氧强化消毒前的 74.26% 上升到 85.45%。此外, 臭氧强化消毒可以长期应用并取得良好的效果, 随着消毒后时间的延长, PAA 消毒组的需氧菌总数呈现明显的上升趋势, 而臭氧强化消毒组则波动范围较小, 表明 PAA 协同臭氧消毒的效果稳定。臭氧协同 PAA 消毒能更好的控制水路系统中微生物污染和生物膜的形成。PAA 消毒可以对整个集中式纯水供应系统及管网系统的微生物进行彻底的清除, 去除已形成的生物膜^[16]; 臭氧强化消毒能杀灭供水系统和循环管网中短期内出现的微生物, 降低生物膜的形成和堆积^[17]。

本研究对医院集中式纯水供应系统的消毒和微生物控制提供了一种新的思路。研究发现臭氧协同

PAA 消毒在医院集中式纯水供应系统中应用效果显著,能够有效杀灭水路系统中的微生物,提高纯水质量。但在实际应用中,还需要考虑臭氧消毒设备的安装和运行维护、臭氧的安全使用等问题。医疗机构应结合自身的实际情况,制定合理的消毒策略,定期对纯水供应系统和输水管道消毒,定期监测,以确保消毒效果和水质安全。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

[参考文献]

- Arroyo MG, Ferreira AM, Frota OP, et al. Broad diversity of fungi in hospital water[J]. *ScientificWorldJournal*, 2020, 2020: 9358542.
- Kaul CM, Chan J, Phillips MS. Mitigation of nontuberculous *Mycobacteria* in hospital water: challenges for infection prevention[J]. *Curr Opin Infect Dis*, 2022, 35(4): 330-338.
- Özgüler ZÖ, Priyakanta N, Coban SC, et al. An acute gastroenteritis outbreak associated with a contaminated water supply system, Turkey, 2018[J]. *J Water Health*, 2022, 20(7): 1064-1070.
- 周珏. 浅谈综合性医院建筑采用集中供水优势的体会[C]//中国医学装备协会第 26 届学术与技术交流年会论文集. 苏州, 2017-07-20, 2017: 437-439.
Zhou J. A brief discussion on the advantages of centralized water supply in comprehensive hospital buildings[C]//The 26th academic and technical exchange annual conference of the China medical equipment association, 2017-07-20, 2017: 437-439.
- 吴丹丹, 赵梅, 余婷婷, 等. 内镜中心改良的医用纯化水终端管路在纯化水质量管理中的应用研究[J]. *中华医院感染学杂志*, 2020, 30(11): 1757-1760.
Wu DD, Zhao M, She TT, et al. Application of improved medical purified water terminal pipeline in endoscopic center for purified water quality management[J]. *Chinese Journal of Nosocomiology*, 2020, 30(11): 1757-1760.
- Dorevitch S, Anderson K, Shrestha A, et al. Solar powered microplasma-generated ozone: assessment of a novel point-of-use drinking water treatment method[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(6): 1858.
- 田媛媛, 陈玉均, 毛海燕, 等. 医院二次供水系统微生物污染情况及危险因素分析[J]. *中国消毒学杂志*, 2017, 34(11): 1077-1079.
Tian YY, Chen YJ, Mao HY, et al. Analysis of microbial pollution and risk factors in hospital secondary water supply system[J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2017, 34(11): 1077-1079.
- Mesquita-Rocha S, Godoy-Martinez PC, Gonçalves SS, et al. The water supply system as a potential source of fungal infection in paediatric haematopoietic stem cell units[J]. *BMC Infect Dis*, 2013, 13: 289.
- Beilenhoff U, Biering H, Blum R, et al. Reprocessing of flexible endoscopes and endoscopic accessories used in gastrointestinal endoscopy: Position Statement of the European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) and European Society of Gastroenterology Nurses and Associates (ESGENA)-update 2018[J]. *Endoscopy*, 2018, 50(12): 1205-1234.
- 王晓蕾, 范晶晶, 沈益鸣, 等. 某医院集中式纯水供应系统微生物污染情况和消毒效果调查[J]. *中国消毒学杂志*, 2019, 36(12): 913-915.
Wang XL, Fan JJ, Shen YM, et al. Investigation on microbial contamination and disinfection effect of centralized pure water supply system in a hospital[J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2019, 36(12): 913-915.
- Troiano G, Lo Nostro A, Calonico C, et al. Microbiological surveillance of flexible bronchoscopes after a high-level disinfection with peracetic acid: preliminary results from an Italian teaching hospital[J]. *Ann Ig*, 2019, 31(1): 13-20.
- Zhang CQ, Brown PJB, Miles RJ, et al. Inhibition of regrowth of planktonic and biofilm bacteria after peracetic acid disinfection[J]. *Water Res*, 2019, 149: 640-649.
- Hirai K, Ando N, Komada H, et al. Investigation of the effective concentration of ozonated water for disinfection in the presence of protein contaminants[J]. *Biocontrol Sci*, 2019, 24(3): 155-160.
- 蒋丽娟, 雷毅, 张晓玲, 等. 一种臭氧水消毒机水体杀菌效果试验观察[J]. *中国消毒学杂志*, 2022, 39(2): 81-82, 86.
Jiang LJ, Lei Y, Zhang XL, et al. Observation on germicidal efficacy of an ozone water disinfectant[J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2022, 39(2): 81-82, 86.
- 宋天一, 何玉宏, 薛炼, 等. 臭氧水消毒机对口腔综合治疗台水路系统的消毒效果研究[J]. *中华医院感染学杂志*, 2014, 24(9): 2320-2322.
Song TY, He YH, Xue L, et al. Study of disinfection effect of ozonated water sterilizer on water lines of dental unit[J]. *Chinese Journal of Nosocomiology*, 2014, 24(9): 2320-2322.
- Ao XW, Eloranta J, Huang CH, et al. Peracetic acid-based advanced oxidation processes for decontamination and disinfection of water: a review[J]. *Water Res*, 2021, 188: 116479.
- Shichiri-Negoro Y, Tsutsumi-Arai C, Arai Y, et al. Ozone ultrafine bubble water inhibits the early formation of *Candida albicans* biofilms[J]. *PLoS One*, 2021, 16(12): e0261180.

(本文编辑:陈玉华)

本文引用格式:曹雄晶, 范允舟, 高芳, 等. 臭氧协同过氧乙酸消毒在医院集中式纯水供应系统中的应用研究[J]. *中国感染控制杂志*, 2024, 23(8): 1012-1015. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20245088.

Cite this article as: CAO Xiong-jing, FAN Yun-zhou, GAO Fang, et al. Application of ozone combined with peracetic acid disinfection in centralized pure water supply system in hospitals[J]. *Chin J Infect Control*, 2024, 23(8): 1012-1015. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20245088.