

DOI:10. 12138/j. issn. 1671-9638. 20257226

· 论 著 ·

间歇性次氯酸消毒对供水管路消毒效果及宏基因组二代测序分析

周 泓¹,高晓东^{2,4},王美霞³,张梦珠¹,杨 峻¹,庄 静¹,许 华¹,孙 伟^{2,4},史庆丰^{2,4}

[1. 复旦大学附属中山医院消毒供应中心,上海 200032; 2. 复旦大学附属中山医院感染管理科,上海 200032; 3. 复旦大学附属中山医院(厦门)院感管理部,福建 厦门 361015; 4. 复旦大学医院感染与控制研究所,上海 200032]

[摘 要] 目的 探讨间歇性次氯酸灌注消毒对供水管路的消毒效果。方法 基线采集消毒供应中心 6 个固定出水口的水样,进行微生物培养。引入微酸性次氯酸发生机后,以 10 d 为一个周期进行采样,其中,第 1~3 天使用次氯酸进行持续性消毒,第 4~10 天停用次氯酸消毒。每个周期的第 1、4、7、10 天对 6 个固定出水口进行采样,共进行 3 个周期。对内镜清洗槽出水口的所有水样同时进行微生物培养和宏基因组二代测序分析。结果 水路消毒前共采集 18 瓶水样,10 瓶水样(55.56%)的细菌数集中在 10²~10⁴ CFU/mL,主要为黏鞘氨醇单胞菌和蜡样芽孢杆菌;消毒后 72 瓶水样仅有 2 瓶水样(2.78%)细菌超标。宏基因组二代测序分析显示,消毒前水样的 3 个最主要优势菌属为鞘氨醇单胞菌属、甲基杆菌属和罗尔斯顿菌属,严格比对序列(SMRN)值为 10 000~100 000;消毒后水样最主要优势菌属为叶杆菌属、罗尔斯顿菌属、不动杆菌属、慢生根瘤菌属。PCoA 分析显示,消毒前后的水样标本 β 多样性差异具有统计学意义($P<0.05$)。结论 间歇性次氯酸灌注消毒可有效清除水管路中细菌生物膜,但暂停消毒期间细菌生物膜存在恢复生长的风险,今后应加强医疗用水的监测与管理。

[关 键 词] 间歇性消毒;生物膜;水源性细菌;宏基因组测序分析

[中图分类号] R191.323.4

Disinfection effect of periodic hypochlorous acid on water supply pipeline and metagenomic next-generation sequencing for water specimens

ZHOU Hong¹, GAO Xiaodong^{2,4}, WANG Meixia³, ZHANG Mengzhu¹, YANG Jun¹, ZHUANG Jing¹, XU Hua¹, SUN Wei^{2,4}, SHI Qingfeng^{2,4} (1. Central Sterile Supply Department, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China; 2. Department of Healthcare-associated Infection Management, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China; 3. Department of Healthcare-associated Infection Management, Zhongshan Hospital [Xiamen Branch], Fudan University, Xiamen 361015, China; 4. Healthcare-associated Infection and Control Research Institute, Fudan University, Shanghai 200032, China)

[Abstract] Objective To explore the disinfection effect of periodic hypochlorous acid infusion on water supply pipelines. Methods Water specimens from 6 water outlets of central sterile supply department were collected at baseline for microbial culture. After introducing a slightly acidic hypochlorous acid water generator, water specimens were collected every 10 days. Continuous disinfection with hypochlorous acid was carried out on the 1st-3rd day, and discontinued on the 4th-10th day. Water specimens of 6 water outlets were collected on the 1st, 4th, 7th, and 10th day of each cycle, in total 3 cycles. Microbial culture and metagenomic next-generation sequencing (mNGS) analysis were conducted simultaneously on all water specimens from the outlets of the endoscope cleaning

[收稿日期] 2024-11-28
[基金项目] 上海市卫生健康委员会卫生健康政策研究课题(2024HP41);复旦大学附属中山医院院内发展基金资助项目(2021ZSFZ14)
[作者简介] 周泓(1968-),女(汉族),湖北省宜昌市人,副主任护师,主要从事消毒灭菌及手术室护理研究。
[通信作者] 孙伟 E-mail: ms1219@126.com; 史庆丰 E-mail: fengzhihuanxing@126.com

tank. **Results** Before disinfection of the pipeline, a total of 18 bottles of water specimens were collected. Bacterial count of water specimens from 10 bottles (55.56%) was between 10^2 and 10^4 CFU/mL, mainly *Sphingomonas ad-hesins* and *Bacillus cereus*. After disinfection, only 2 out of 72 water specimens (2.78%) exceeded the bacterial limit. The mNGS results showed that three most dominant bacterial genera in the pre-disinfection water specimens were *Sphingomonas*, *Methylobacterium*, and *Ralstonia*, with stringent mapped reads number (SMRN) ranging from 10 000 to 100 000; while the most dominant bacterial genera in post-disinfection water specimens were *Lactobacillus*, *Ralstonia*, *Acinetobacter*, and *Bradyrhizobium*. PCoA analysis showed that there was a statistically significant difference in β -diversity of water specimens before and after disinfection ($P<0.05$). **Conclusion** Periodic hypochlorous acid infusion disinfection can effectively remove bacterial biofilms in water pipelines, but there is a risk of bacterial biofilm recovery during disinfection suspension. In the future, monitoring and management of medical water should be strengthened.

[Key words] periodic disinfection; biofilm; aquatic bacteria; metagenomic next-generation sequencing

近年来,医院内水源性感染事件不断增多,其防控越来越受管理者重视,医院供水系统污染是主要原因^[1]。医院供水系统具有管路细长复杂、水流缓慢、间歇性使用等特点,市政供水管路中的细菌容易在管壁定植并逐渐形成细菌生物膜,游离的细菌以及成熟生物膜脱落的细菌会随水流传播,间接污染医疗设备^[2]。各类用水监测和管理常处于常规管理盲区^[3],易导致相关感染事件的发生。目前,医疗供水系统的消毒方式按照原理可分为物理法和化学法两大类,前者包括加热法、过滤法、紫外线消毒、铜银离子消毒等,后者包括氯消毒、臭氧消毒等。然而,这些方法普遍存在能耗高、成本昂贵或有效作用时间短的问题,对管路中已形成的生物膜清除效果有限^[4-6],限制了其在医疗机构的大规模应用。

次氯酸作为各种含氯消毒剂的最终活性成分,具有弱酸性和强氧化性,适用于医疗机构的环境物体表面、空气、供水设备的消毒,是一种高效、快速、较为安全的消毒方法^[7]。先前研究^[8]已证实持续性次氯酸消毒对内镜终末漂洗水具有很好效果,但其停用期间的效果未知。本研究拟对某综合医院的供水管路进行间歇性次氯酸消毒,并评估消毒期间和暂停消毒期间的细菌污染情况及宏基因组二代测序(metagenomics next-generation sequencing, mNGS)

结果,为有效消毒提供依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象 某三级综合性医院消毒供应中心 2015 年投入使用,负责全院手术器械及腔镜等处置,设置有独立的纯化水处理室。2022 年 1 月—2023 年 2 月多次日常监测发现部分出水口细菌数超标,于 2023 年 5 月引入微酸性次氯酸发生机,向整个供应室的纯化水管路恒定输出次氯酸,并使纯化水中次氯酸终浓度维持在 8 mg/L。

1.2 研究方法

1.2.1 采样方法 从消毒供应中心的 6 个固定出水口(4 个器械清洗槽和 2 个腔镜清洗槽)采集水样,每个采样点采集 100 mL/瓶纯化水样。微酸性次氯酸发生机引入前共采集 3 次。微酸性次氯酸发生机引入后,以 10 d 为一个周期进行采样:第 1~3 天使用次氯酸进行持续性消毒,第 4~10 天停用次氯酸消毒,每个周期的第 1、4、7、10 天对 6 个固定终端出水口进行采样,共采集 3 个周期,见图 1。其中腔镜清洗槽的水样每次采集 2 瓶,1 瓶进行细菌培养和菌种鉴定,另 1 瓶同步进行 mNGS。

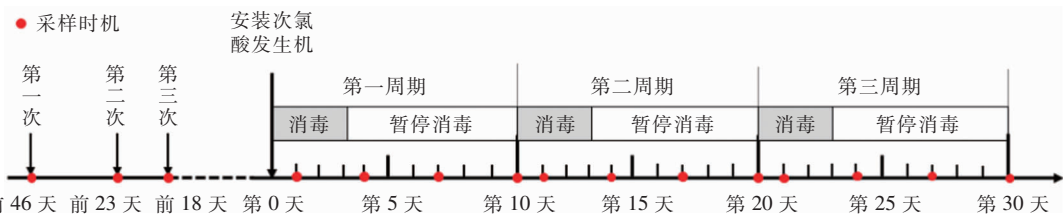


图 1 微酸性次氯酸发生机引入前后采样时序图

Figure 1 Sampling schedule before and after introducing the slightly acidic hypochlorous acid water generator

1.2.2 细菌培养与鉴定 将收集好的水样采用膜过滤法过滤,滤膜无菌转移至 R2A 琼脂营养平板,按照《中华人民共和国药典-一部(2020 年版)》^[9]标准置于 35℃ 的温箱培养 5 d 后进行菌落计数。使用无菌接种环挑取阳性标本典型纯菌落,并涂抹至基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱仪(MALDI-TOF)样品检测板上进行菌种鉴定,以 VITEK MS 置信度≥99% 的细菌作为鉴定结果。

1.2.3 mNGS 分析 采用膜过滤法将水样内细菌富集至滤膜上,转移至含有 5 mL 无菌去离子水的 50 mL 离心管中,振荡混匀后取其中 1 mL 按照实验室操作流程进行 DNA 提取、文库构建、BGISEQ-200 测序及比对分析,最终输出数据包含细菌种属类型、相对丰度、严格比对序列(stringent mapped reads number, SMRN)、每百万读数值(reads per million, PRM)等。

1.3 生物信息学分析 筛选每个标本中 SMRN≥50 的属序列,并根据属 SMRN 序列进行排序和聚类分析。采用主坐标分析(PCoA)法差异性分析不同标本的细菌属序列,其中,坐标上各点对应相应标本,点间距越小表示标本菌群构成越相似。

1.4 统计分析 计数资料使用例数或百分比表示,进行 χ^2 检验。采用 Adonis 分析对聚类的样本进行消毒前后差异性分析,相关系数 R^2 值越大表示分组因素对标本对应群落结构的影响越大, P 值越小说明不同分组之间的细菌结构存在显著性差异的概率越大。采用 PERMANOVA 进行事后检验,继续评估消毒后不同时间分组间细菌群落结构组成差异。应用 R4.4.0 对数据进行整理和统计分析,以 $P\leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 间歇消毒前后水样细菌变化 消毒前水路整体共采集 18 瓶水样,10 瓶水样(55.56%)的细菌数集中在 $10^2\sim 10^4$ CFU/100 mL,经 MALDI-TOF 鉴定主要为黏鞘氨醇单胞菌和蜡样芽孢杆菌;消毒后采集的 72 瓶水样中仅有 2 瓶(2.78%)细菌数超过 100 CFU/100 mL, MALDI-TOF 鉴定为黏鞘氨醇单胞菌,剩余 70 份水样菌落数均为 0。间歇性次氯

酸消毒前后,水样合格率差异有统计学意义($\chi^2 = 34.712, P<0.05$)。见表 1。

表 1 使用微酸性次氯酸发生器消毒前后水样结果汇总
Table 1 Summary of water specimen results before and after disinfection with the slightly acidic hypochlorous acid water generator

采样时机	细菌总数(瓶)				细菌总数<
	0~9	10~99	100~1 000	>1 000	10 CFU/100 mL
	CFU/ 100 mL	CFU/ 100 mL	CFU/ 100 mL	CFU/ 100 mL	水样比例 (%)
消毒前					
第一次	3	2	1	0	50.0
第二次	3	1	2	0	50.0
第三次	2	1	2	1	33.3
第一周期					
第 1 天	6	0	0	0	100
第 4 天	6	0	0	0	100
第 7 天	6	0	0	0	100
第 10 天	4	2	0	0	66.7
第二周期					
第 1 天	6	0	0	0	100
第 4 天	6	0	0	0	100
第 7 天	6	0	0	0	100
第 10 天	6	0	0	0	100
第三周期					
第 1 天	6	0	0	0	100
第 4 天	6	0	0	0	100
第 7 天	6	0	0	0	100
第 10 天	6	0	0	0	100

2.2 消毒前后微生物菌群构成和多样性分析 根据各标本细菌菌属 SMRN 的测序结果,选取 SMRN 绝对值前 10 的细菌菌属进行描述与分析。消毒前水样中最主要优势菌属前三位为鞘氨醇单胞菌属、甲基杆菌属和罗尔斯顿菌属,SMRN 值为 $10\ 000\sim 100\ 000$;消毒后 3 个周期标本的细菌菌属 SMRN 值均下降,最主要优势菌属为叶杆菌属、罗尔斯顿菌属、不动杆菌属、慢生根瘤菌属等。每个周期内,细菌菌属 SMRN 值随暂停消毒时间延长而升高。细菌菌属构成见图 2。

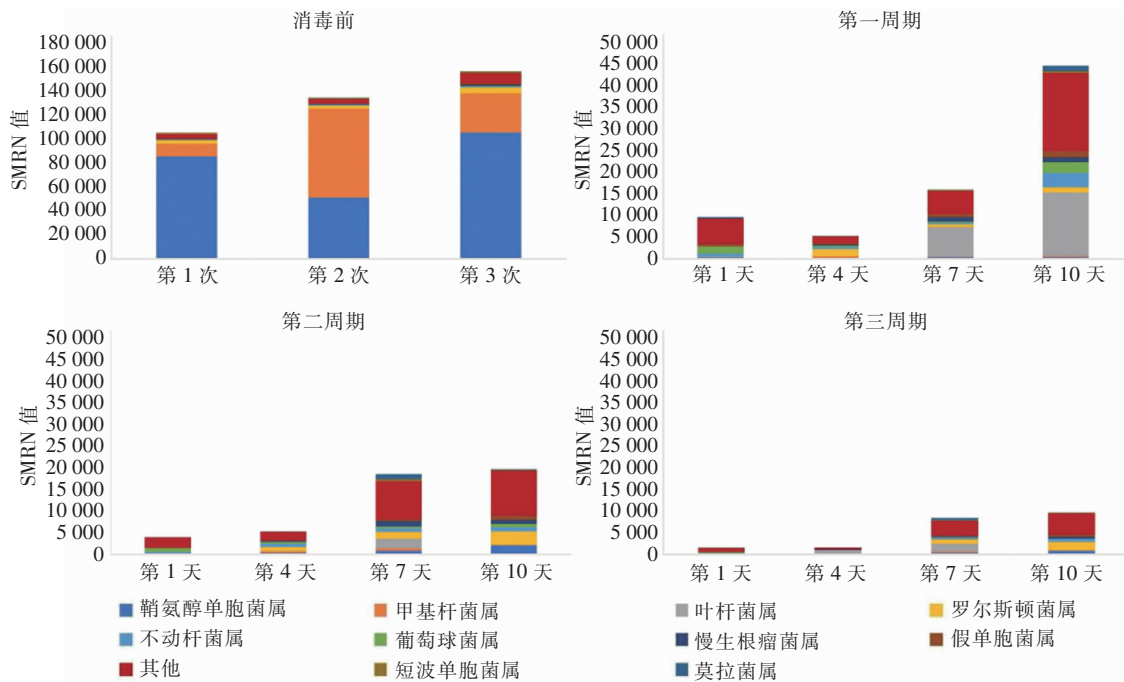


图 2 使用微酸性次氯酸发生器机消毒前后水样细菌菌属 SMRN 构成变化

Figure 2 Compositional changes in SMRN of bacterial genera from water specimens before and after disinfection with the slightly acidic hypochlorous acid water generator

2.3 消毒前后微生物菌群 PCoA 分析 将每个周期内同一天的标本进行分组,PCoA 分析显示消毒前后的水样标本 β 多样性差异具有统计学意义($P < 0.05$),见图 3。Adonis 分析也显示,消毒前后差异有统计学意义($R^2 = 0.638, P < 0.05$),但消毒后不同时间分组的标本组间差异无统计学意义($P > 0.05$)。

3 讨论

医疗用水水源主要为市政自来水直接供给,或医院内水罐/水箱进行二次加压供水。由于不同科室对水质要求差异较大,部分科室或操作需使用高质量的纯水或无菌水,因此医院供水系统具有“集中制水、分质供水”的特点。然而,医院供水管路通常狭长且复杂,各科室的间歇性使用会导致水流停滞,水中含氯量随管路的延长而不断降低^[10],导致水中微生物逐渐在供水管路或器械内管壁上逐渐形成稳定的、以非结核分枝杆菌和奥斯陆莫拉菌为主的生物膜^[11-12]。常规消毒效果有限^[13],给医院感染防控带来一定挑战。

本研究在供应室供水管路消毒前进行多次基线采样,发现部分水样中细菌菌落数远超过我国《生活饮用水卫生标准》^[14]中 ≤ 100 CFU/mL 的规定,尤其以腔镜清洗槽水样中细菌种类和数量最多,经微生物实验室鉴定为黏鞘氨醇单胞菌和蜡芽芽孢杆菌。腔镜清洗槽主要用于硬式内镜器械、光学和电子镜头、各类动力电锯及精密器械等需要采用手工清洗的贵重器械,其消毒流程及灭菌管理要求较高,因此亟需对该水路进行有效干预。既往已采用乙醇对该出水口进行灌注消毒,并使用点水过滤器进行

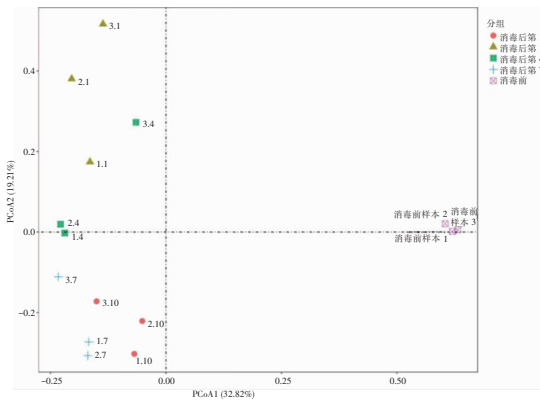


图 3 使用微酸性次氯酸发生器机消毒前后水样菌群 PCoA 分析

Figure 3 PCoA analysis of microbial flora in water specimens before and after disinfection with the slightly acidic hypochlorous acid water generator

过滤干预,但细菌培养仍多次鉴定出藤泽甲基杆菌、放线根瘤菌等自来水中常见细菌,消毒前的 mNGS 结果也显示包含大量鞘氨醇单胞菌属和甲基杆菌属基因片段,推测该段供水管路的管壁很可能已形成生物膜。朱海龙等^[15]发现,生物膜可在聚氯乙烯、高密度聚乙烯材质的管壁上长期稳定存在,其随水流播散的细菌极易堵塞过滤装置的滤膜^[16],导致供水管路形成持续性污染。

次氯酸是一种高效且不良反应小的消毒剂,多项体外试验及临床应用表明,其可以高效杀灭游离细菌^[17-19],对已形成的生物膜也有良好的清除效果^[20-21]。王萍等^[11]研究证实,持续向供水管路输出 10 mg/mL 的次氯酸消毒剂,能有效清除已存在的细菌污染,并大幅降低细菌 mNGS 的种类和丰度。本研究亦在此基础上发现,三个持续消毒周期内各水样细菌培养阴性,鞘氨醇单胞菌属和甲基杆菌属的 SMRN 值也大幅下降。刘振华等^[22]采用 16S rDNA 高通量测序评估口腔治疗台用水消毒效果,发现消毒前后水样物种的相对丰度变化巨大,但该研究仅从细菌的“门”层面进行分析,未能具体到更为精准的细菌“属”层面或“种”层面,且仅提供了相对丰度变化,未能反映各标本中细菌绝对值的变化情况。本研究选取的细菌菌属 SMRN 值来源于对细菌被杀灭后释放的基因组 DNA 进行测序的结果,其值越高,原始细菌浓度越高,从而侧面反映细菌生物膜的清除效果。暂停消毒期间,水样中细菌种类及 SMRN 值随时间增长而上升,第一周期第 10 天仍有 2 个水样细菌培养阳性,这可能与该水路管壁细菌生物膜污染较为严重有关。持续消毒至第二周期未再出现细菌阳性,提示对已形成生物膜的供水管路进行长时间、多次消毒的必要性。

对消毒前后的微生物菌群进行 PCoA 分析,结果显示,所有样本可分为消毒前和消毒后两大聚类,尽管消毒后第 1、4、7、10 天的标本可形成一定聚类,但其细菌菌属构成差异性较大,尚未形成较为显著的聚类,这可能与暂停消毒后被破坏的生物膜缓慢恢复有关^[23]。

该研究存在以下不足:样本仅来源于单一医院的消毒供应中心,采样点局限在 6 个固定出水口,结论的外推性受限。由于经费和时间等限制,研究仅进行 3 个周期共 30 天,每个周期仅在第 4、7、10 天采样进行 mNGS,难以全面捕捉供水管路中细菌缓慢恢复的过程。此外,通过 mNGS 结果间接评估供水管路中的细菌变化情况,并推断次氯酸消毒对生物

膜的清除效果,缺乏对管道内壁生物膜直接效果的观察与评估。未来将针对这些不足进行深入研究。

综上所述,本研究发现间歇性输出次氯酸对供水管路具有良好的消毒效果,但在停止消毒后,水样中的细菌存在缓慢繁殖的风险。今后应加强对医疗用水的监测与管路消毒管理,以减少医院感染的发生。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

[参 考 文 献]

[1] Zhao L, Liu YW, Li N, et al. Response of bacterial regrowth, abundant and rare bacteria and potential pathogens to secondary chlorination in secondary water supply system[J]. *Sci Total Environ*, 2020, 719: 137499.

[2] 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 & 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.

[3] 付路, 高晓东, 崔一忻, 等. 2018—2022 年上海市软式内镜医院感染管理质量督查结果分析[J]. *华西医学*, 2024, 39(3): 423 - 427.

Fu L, Gao XD, Cui YX, et al. Hospital infection prevention and control quality supervision for flexible endoscope in Shanghai from 2018 to 2022[J]. *West China Medical Journal*, 2024, 39(3): 423 - 427.

[4] 黎英杰. 医疗污水处理工艺及消毒方法分析[J]. *中国资源综合利用*, 2023, 41(4): 201 - 204.

Li YJ. Analysis of medical sewage treatment process and disinfection methods[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2023, 41(4): 201 - 204.

[5] Zheng SY, Lin T, Chen H, et al. Impact of changes in biofilm composition response following chlorine and chloramine disinfection on nitrogenous disinfection byproduct formation and toxicity risk in drinking water distribution systems[J]. *Water Res*, 2024, 253: 121331.

[6] Wang ZK, Li L, Ariss RW, et al. The role of biofilms on the formation and decay of disinfection by-products in chlor (am) inated water distribution systems [J]. *Sci Total Environ*, 2021, 753: 141606.

[7] 马晓雯, 李秀娥, 徐维四, 等. 非电解微酸性次氯酸水对口腔印模喷淋消毒效果观察[J]. *中国消毒学杂志*, 2022, 39(11): 818 - 819, 823.

Ma XW, Li XE, Xu WS, et al. Observation on the effect of non-electrolytic slightly acidic hypochlorous water on spray disinfection of dental impressions[J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2022, 39(11): 818 - 819, 823.

- [8] 王萍, 韩梦鸽, 沈国锋, 等. 持续性次氯酸消毒对内镜终末漂洗水的消毒效果[J]. 中国感染控制杂志, 2022, 21(7): 617 – 622.
Wang P, Han MG, Shen GF, et al. Disinfection effect of persistent hypochlorous acid on final rinsing water for endoscope[J]. Chinese Journal of Infection Control, 2022, 21(7): 617 – 622.
- [9] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 – 一部(2020 年版)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People’s Republic of China-part 1 (2020 Edition)[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020.
- [10] Shi XY, Clark GG, Huang CH, et al. Chlorine decay and disinfection by-products formation during chlorination of biofilms formed with simulated drinking water containing corrosion inhibitors[J]. Sci Total Environ, 2022, 815: 152763.
- [11] 王萍, 鲍容, 史庆丰, 等. 某综合医院消化内镜生物膜形成现状及影响因素分析[J]. 华西医学, 2021, 36(3): 348 – 352.
Wang P, Bao R, Shi QF, et al. Analysis of current situation and influencing factors of biofilm formation of digestive endoscopy in a general hospital[J]. West China Medical Journal, 2021, 36(3): 348 – 352.
- [12] 鲍容, 胡必杰, 郭玮, 等. 上海市 29 所医疗机构口腔综合治疗台用水非结核分枝杆菌检出情况及相关因素[J]. 中华医院感染学杂志, 2021, 31(22): 3483 – 3486.
Bao R, Hu BJ, Guo W, et al. Non-tuberculous *Mycobacterium* isolated from water of dental unit water line system in 29 medical institutions of Shanghai[J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2021, 31(22): 3483 – 3486.
- [13] 史庆丰, 胡必杰, 崔扬文, 等. 上海市 30 所三级医疗机构软式内镜终末漂洗水现状调查[J]. 中华医院感染学杂志, 2020, 30(6): 923 – 926.
Shi QF, Hu BJ, Cui YW, et al. Current status of final rinse water for flexible endoscopes in 30 tertiary medical institutions of Shanghai[J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2020, 30(6): 923 – 926.
- [14] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 生活饮用水卫生标准: GB 5749—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
State Administration for Market Regulation, National Standardization Administration. Standards for drinking water quality: GB 5749 – 2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.
- [15] 朱海龙, 刘唯源, 邓博苑, 等. 金属膜过滤工艺保障不同管材供水管网水质生物稳定性的研究[J]. 水处理技术, 2024, 50(5): 86 – 91.
Zhu HL, Liu WY, Deng BY, et al. Guarantee of biological stability in drinking water distribution system of different pipe materials by metallic membrane filtration process[J]. Technology of Water Treatment, 2024, 50(5): 86 – 91.
- [16] Wolf-Baca M, Piekarska K. Biodiversity of organisms inhabiting the water supply network of Wrocław. Detection of pathogenic organisms constituting a threat for drinking water recipients[J]. Sci Total Environ, 2020, 715: 136732.
- [17] 钱麟, 史庆丰, 许华, 等. 一种新型次氯酸消毒剂对纤维支气管镜的消毒效果[J]. 中国感染控制杂志, 2020, 19(7): 662 – 665.
Qian L, Shi QF, Xu H, et al. Disinfection effect of a new type of hypochlorous acid disinfectant on fiber-bronchoscopes[J]. Chinese Journal of Infection Control, 2020, 19(7): 662 – 665.
- [18] Nabizadeh Nodehi R, Golpayegani A, Douraghi M, et al. Novel application of *in vitro* disinfection for modeling the biofilm formation inhibition, antimicrobial susceptibility and antibiotic resistance of *Pseudomonas aeruginosa*: a study of free and combined chlorine compounds[J]. J Environ Health Sci Eng, 2022, 20(1): 167 – 180.
- [19] Haws MJ, Gingrass MK, Porter RS, et al. Surgical breast pocket irrigation with hypochlorous acid (HOCl): an *in vivo* evaluation of pocket protein content and potential HOCl antimicrobial capacity[J]. Aesthet Surg J, 2018, 38(11): 1178 – 1184.
- [20] da Cruz Nizer WS, Inkovskiy V, Overhage J. Surviving reactive chlorine stress: responses of Gram-negative bacteria to hypochlorous acid[J]. Microorganisms, 2020, 8(8): 1220.
- [21] Shajahan IF, Kandaswamy D, Srikanth P, et al. Dental unit waterlines disinfection using hypochlorous acid-based disinfectant[J]. J Conserv Dent, 2016, 19(4): 347 – 350.
- [22] 刘振华, 姜楠, 李洋, 等. 口腔综合治疗台水路污染现状及水样 16S rDNA 高通量测序分析[J]. 中华医院感染学杂志, 2023, 33(10): 1588 – 1591.
Liu ZH, Jiang N, Li Y, et al. Current status of contamination of dental unit waterlines and 16S rDNA high-throughput sequencing of water samples[J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2023, 33(10): 1588 – 1591.
- [23] Dong FL, Zhu JN, Li JZ, et al. The occurrence, formation and transformation of disinfection byproducts in the water distribution system: a review[J]. Sci Total Environ, 2023, 867: 161497.

(本文编辑:翟若南)

本文引用格式:周泓,高晓东,王美霞,等. 间歇性次氯酸消毒对供水管路消毒效果及宏基因组二代测序分析[J]. 中国感染控制杂志, 2025, 24(9): 1244 – 1249. DOI: 10. 12138/j. issn. 1671 – 9638. 20257226.

Cite this article as: ZHOU Hong, GAO Xiaodong, WANG Meixia, et al. Disinfection effect of periodic hypochlorous acid on water supply pipeline and metagenomic next-generation sequencing for water specimens[J]. Chin J Infect Control, 2025, 24(9): 1244 – 1249. DOI: 10. 12138/j. issn. 1671 – 9638. 20257226.