

DOI: 10. 12138/j. issn. 1671-9638. 20245359

· 综述 ·

## 医疗机构水源性感染研究进展

郑 鹏<sup>1,2</sup>, 汪邦芳<sup>3</sup>, 林佳冰<sup>4</sup>, 史庆丰<sup>4</sup>

(1. 江苏大学附属武进医院感染管理科, 江苏 常州 213000; 2. 徐州医科大学武进临床学院, 江苏 常州 213000; 3. 上海市老年医学中心医务科, 上海 201104; 4. 复旦大学附属中山医院感染管理科, 上海 200032)

**[摘要]** 医疗供水系统可能成为水源性感染病原体的贮存场所, 受污染的医疗用水常导致医院感染及暴发事件, 给医院感染的预防与控制带来挑战。一些水源性病原体, 如铜绿假单胞菌、军团菌、非结核分枝杆菌、不动杆菌、嗜麦芽窄食单胞菌等常通过供水系统繁殖与传播, 供水系统的水温、余氯浓度及生物膜是关键影响因素。现对近年来医疗机构水源性感染的现状、供水系统特点及影响因素, 以及国内外相关水源性感染事件进行综述, 以期对医疗机构水源性感染防控带来新的启示。

**[关键词]** 医疗供水; 水源性感染病原体; 医院感染; 生物膜

**[中图分类号]** R191.323.4

## Research progress on waterborne infection in medical institutions

ZHENG Peng<sup>1,2</sup>, WANG Bang-fang<sup>3</sup>, LIN Jia-bing<sup>4</sup>, SHI Qing-feng<sup>4</sup> (1. Department of Infection Management, Wujin Hospital Affiliated to Jiangsu University, Changzhou 213000, China; 2. Wujin Clinical College, Xuzhou Medical University, Changzhou 213000, China; 3. Department of Medical Affair, Shanghai Geriatric Medical Center, Shanghai 201104, China; 4. Department of Infection Management, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China)

**[Abstract]** Hospital water supply system may serve as a reservoir of waterborne pathogens, and contaminated water can lead to the occurrence and outbreak of healthcare-associated infection (HAI), which bring great challenge to the prevention and control of HAI. Waterborne pathogens, such as *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella*, non-tuberculous *Mycobacterium*, *Acinetobacter*, and *Stenotrophomonas maltophilia*, often propagate and spread through the water supply system. Water temperature, residual chlorine concentration, and biofilm in water supply system are key influencing factors. This article reviews the current situation of waterborne infection, characteristics and influencing factors of water supply system in medical institutions in recent years, as well as related waterborne infection events at home and abroad, so as to bring new insights for the prevention and control of waterborne infection in medical institutions.

**[Key words]** hospital water supply; waterborne pathogen; healthcare-associated infection; biofilm

临床诊疗和操作、器械的清洗及药物的配置均离不开医疗用水, 其水源主要来自市政自来水或医院内二次供水, 停滞的水流和复杂而狭长的供水管道为水源性微生物的繁殖提供有利条件, 因此医

疗用水在使用、储存、输送过程中极易受到微生物的污染。流行病学调查显示, 美国 25% 医院相关感染由水源性病原体所引起<sup>[1]</sup>。近年来, 由医院供水或用水引起的暴发事件也屡见不鲜, 相关管理和要求

**[收稿日期]** 2023-12-18

**[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、2021ZSFZ09); 复旦大学附属中山医院青年基金(2020ZSQN33)

**[作者简介]** 郑鹏(1986-), 男(汉族), 江苏省常州市人, 副研究员, 主要从事医院感染预防与控制相关研究。

**[通信作者]** 史庆丰 E-mail: fengzhihuanxing@126.com

存在一定的滞后性,因此有必要对医院水源性感染现状进行总结。

## 1 水源性感染的定义

水源性感染是指通过直接或间接接触、摄入或吸入各种病原体(包括细菌、真菌、病毒、寄生虫)污染的水或气溶胶所引起的感染<sup>[2]</sup>,这些能在水环境中长期生存和繁殖的病原体称为水源性感染病原体<sup>[3]</sup>。根据感染场景的不同,一般可分为社区水源性感染和医院水源性感染两类,两者病原体类型和感染方式存在较大的差异:社区水源性感染多为甲型病毒性肝炎、戊型病毒性肝炎、霍乱等粪口传播的疾病,以及脓肿分枝杆菌、龟分枝杆菌、偶发分枝杆菌、海分枝杆菌、溃疡分枝杆菌等非结核分枝杆菌(non-tuberculosis *Mycobacterium*, NTM)通过皮肤、软组织、黏膜或伤口等引起的感染;而医院水源性感染多由非肠道性革兰阴性杆菌所引起,感染

途径多与临床诊疗操作中直接或间接接触受污染的水有关。

近年来随着研究深入,发现引起医院感染的水源性病原体多源自受到污染的医院供水管路,且不同国家、不同地区的医院供水管路均存在不同程度的微生物污染,是导致住院患者感染的重要原因之一<sup>[4]</sup>。常见水源性病原体有铜绿假单胞菌、军团菌、NTM、不动杆菌、嗜麦芽窄食单胞菌、伊丽莎白金菌、奥斯陆莫拉菌等细菌,还有曲霉属、镰刀菌、隐孢子虫、诺如病毒等。这些病原体具有耐氯、耐热等特点,可在供水管路中长时间生存<sup>[5]</sup>,继而可引起医院感染暴发事件。此外,部分病原体由于培养条件较为苛刻,常规培养基无法筛选和分离,处于活的但不可培养状态(viable but not cultivable, VBNC),以适应当前的生存环境,待条件适宜后可恢复繁殖和侵袭。目前已报道 20 多个属 60 多种细菌存在 VBNC,绝大多数为水源性病原体<sup>[6]</sup>。医院常见的水源性病原体特性汇总见表 1。

表 1 医院水源性感染病原体特性汇总

	病原体	报道频次	耐氯性	供水管路生存时间 <sup>a</sup>	常见分离科室/地点
细菌	假单胞菌属	经常检出	中等	1 周至数月	重症监护病房(ICU)、血液/骨髓移植科、烧伤科、内镜中心
	非结核分枝杆菌属	经常检出	高	1 周至数月	儿童骨髓移植中心、心外科、口腔科
	军团菌属	经常检出	中	1 周至数月	ICU、新生儿
	嗜麦芽窄食单胞菌	经常检出	中等	1 周至数月	ICU
	克雷伯菌属	可检出	低	1 周至数月	新生儿
	不动杆菌属	经常检出	低	1 周至数月	ICU、新生儿
	伯克霍德菌属	偶尔检出	低	1 周至数月	血液透析
	金黄色葡萄球菌	罕见检出	中等	- <sup>b</sup>	血液透析
真菌	念珠菌属	罕见检出	高	数月以上	血液透析、浴池
	镰刀菌属	罕见检出	高	数月以上	血液肿瘤、骨髓移植科
	曲霉属	偶尔检出	高	数月以上	新生儿 ICU
原生动物	隐孢子虫/变形虫	罕见检出	高	1 周至数月	自来水
	棘阿米巴属	罕见检出	高	1 周至数月	自来水
病毒	诺如病毒	罕见检出	高	数月	二次供水蓄水池

注:a 表示部分细菌和真菌易形成生物膜,导致持续时间长达数月;b 表示无详细数据。

## 2 医疗供水特点及影响因素

医疗用水的水源主要来自市政给水管网直接供水或医院内的水罐/水箱的二次加压供水,原水的指标均应符合《生活饮用水卫生标准》<sup>[7]</sup>,即水中细菌应 ≤ 100 菌落形成单位(colony-forming unit,

CFU)/mL,且不得检出总大肠菌群、耐热大肠菌群和大肠埃希菌。由于不同科室对水质要求存在较大差异,部分科室或操作需使用高质量的纯水或无菌水,从而决定医院供水系统具有“集中制水、分质供水”特点:使用一套中央水处理系统对自来水进行深度处理,结合不同科室医疗用水标准制备自来水、软化水、纯化水、无菌水等,再通过独立的供水管路将

不同水质的水分别输送至各终端科室,具有随用随取,方便卫生等优点。

然而医院供水管路通常狭长而复杂,各科室的间歇性使用常使水流停滞,水的含氯量随管路的延长而不断降低,导致水中微生物逐渐形成稳定的生物膜固定在管路内部,继而引起整个供水管路的污染。医院供水系统中水源性细菌的繁殖水平主要受以下因素影响。

**2.1 水温** 细菌的繁殖水平常受温度影响。铜绿假单胞菌等水源性细菌最适宜繁殖的水温通常为 25~42℃,在水温低于 10℃ 的冬季二次供水管路的检出率仅为 1.9%,而夏季时检出率增高至 10.2%<sup>[8]</sup>。Cuttelod 等<sup>[9]</sup>对瑞士某医院 ICU 水源进行为期 10 年的监测发现,若将出水温度从 50℃ 提升至 65℃,铜绿假单胞菌将降至检测阈值以下。NTM 是另一种可在供水系统中长期稳定存在的细菌,由于其细胞壁具有较强的疏水性,因而能天然耐受多种消毒剂、抗菌药物及重金属,且夏季供水管路中的检出率显著高于冬季。研究<sup>[10-11]</sup>发现部分 NTM 可在 50℃ 的水箱中长期存活,且检出率为水温 >55℃ 水箱的 2 倍,因此通过热水系统传播也是 NTM 感染重要途径之一。

军团菌是一种比较特殊的水源性细菌,20~50℃ 的水温即可生长,但最适繁殖水温为 35~46℃,因此夏季的空调冷却塔和淋浴水中检出率最高<sup>[12]</sup>。若水温 <20℃ 或 >55℃,军团菌将进入 VBNC,此状态下的军团菌不具备繁殖和感染能力<sup>[13]</sup>。

**2.2 余氯浓度** 向自来水管路中投放含氯消毒剂是自来水厂最常用的消毒手段,我国《生活饮用水卫生标准》<sup>[7]</sup>对末梢水余氯浓度的限定为 >0.05 mg/L。然而医院供水系统管网多采用非环状布置,造成水流停留时间长、流速缓慢、沉积物聚集,且余氯浓度在医院供水管道中衰减迅速。基于供水系统全过程的监测发现,出厂水、医院供水管网水、水龙头中的微生物菌落数平均值分别为 22、47、3 072 CFU/mL,由此可见在净水厂出水、供水管网水水质达标的情况下,建筑供水系统的水龙头端依然可以存在细菌超标现象,且细菌繁殖水平与余氯浓度衰减存在明显的正相关<sup>[14]</sup>。此外,医院二次供水也极少投放含氯消毒剂,其末梢水余氯浓度严重不足。有研究<sup>[15]</sup>显示,市政管网进水余氯为 0.1 mg/L,但在水箱中停滞 8~40 h 后余氯降至 0.05 mg/L 以下,水中总菌落数超过 100 CFU/mL,表明医院二次供水系统存在微生物再繁殖生长的风险。

嗜肺军团菌和铜绿假单胞菌对含氯消毒剂具有较强的抵抗作用,其杀灭 99.9% 的细菌所用 CT 值 (concentration-time value, 即消毒剂的浓度和作用时间的乘积)分别是大肠埃希菌的 580、21 倍,且营养成分越差的水环境中分离的嗜肺军团菌耐氯性越强<sup>[16]</sup>。Marchesi 等<sup>[17]</sup>对未经氯消毒处理和经过氯消毒处理的水箱水、龙头水进行检测,发现军团菌在氯消毒前后的检出率分别为 87%、53%,表明管路残留的余氯并不能完全杀灭军团菌。Mao 等<sup>[18]</sup>研究显示,在 LB 培养基稀释 10 000 倍的低营养、低氯浓度 (0.3 mg/L) 条件下,铜绿假单胞菌虽在最初的 16 h 被大量灭活,但残余的铜绿假单胞菌在 16~76 h 保持稳定,直至 76 h 后逐渐被灭活;余氯浓度 <0.3 mg/L,铜绿假单胞菌可在 76 h 后缓慢恢复繁殖。若铜绿假单胞菌在市政管网和建筑供水系统中已形成生物膜,其对消毒剂及抗菌药物的抵抗力远高于游离状态。

**2.3 生物膜** 医院楼宇间的供水管道由于老化和存在一定的死角,为细菌和其他微生物的黏附提供了适宜条件,水流中游离的细菌、阿米巴、藻类和其他微生物逐渐附着在内管壁上形成生物膜。生物膜表面通常由多聚物、蛋白质、核糖类物质所组成的聚合物包围,在保证微生物结构和功能完整性的同时也促进内层细菌繁殖。当生物膜增厚至一定程度,在水流的剪切力作用下可脱落并释放大量细菌,随水流播散至管路下一段,最终导致整个供水管路受到污染。

生物膜通常由一种或多种微生物缓慢形成,水源性微生物大多可以形成生物膜,以不动杆菌属、芽孢杆菌属、分枝杆菌属和军团菌属最为常见。军团菌多以 VBNC 存活于生物膜中,仅 5% 的游离状态细菌可被培养出,一旦检测出游离的军团菌,提示管路已受到污染。van der Lugt 等<sup>[19]</sup>对荷兰 3 所医疗机构 10 个采样点的监测显示,军团菌在生物膜中检出率为 70%,在流动水中检出率为 50%。Waak 等<sup>[20]</sup>发现嗜肺军团菌生物膜形成能力与水温密切相关,以水温 32~42℃ 时形成速度最快,即附着于建筑热水管道则具有更快的生物膜形成能力。意大利的一项研究<sup>[21]</sup>显示,某医院在新型冠状病毒感染 (COVID-19) 疫情期间关闭 3 个月后,三个病房水样中的军团菌均高于疫情前,表明水体滞留也是细菌生物膜形成的必要条件之一。

### 3 医院感染事件汇总

医疗供水系统的水源性病原体污染与医院感染

的发生密切相关,全球多个国家医疗机构的口腔科、内镜中心、血液透析室、手术室等部门都有被不同水源性病病原体污染的报道。尽管各个国家和相关协会先后颁布多项标准或指南以规范医疗用水,但这些指南或标准缺乏对水质监测方法和频次的强制性要求,医院各科室也缺乏主动监测的意识,使得相关感染极难溯源,国内外由医院水源性病病原体所引起的医院感染及暴发事件屡见不鲜。卫生经济学评估显示,由铜绿假单胞菌所致肺部感染的住院费用约为 29 300 美元(95%CI:5 910~114 000 美元),铜绿假单胞菌所致菌血症的住院费用约为 38 200 美元(95%CI:6 340~172 000 美元),NTM 感染的住院费用约为 29 600 美元(95%CI:6 350~120 000 美元),军团菌感染的住院费用约为 37 100 美元(95%CI:7 950~149 000 美元)<sup>[22]</sup>。因此做好水源性感染防控措施,提高防控意识,对降低住院患者的

经济负担具有十分积极的意义。

以“医院”“水源性感染”“hospital/nosocomial infection”“waterborne pathogen”等为中英文关键词,检索 1999 年 1 月—2023 年 12 月相关文献显示,80%以上的研究集中在美国和欧洲地区,大多数研究都有明确的实验室证据证明感染患者与医疗供水/用水有关,对相关用水环节或设备采取干预措施后,暴发终止或无新病例产生。由医疗供水引起的医院感染事件存在以下几个特点:①患者多数为免疫抑制的患者,如 ICU 住院患者、肿瘤患者、移植患者、高龄老人等;②感染病原体包含细菌、真菌、病毒等,但以铜绿假单胞菌和 NTM 引起的感染最为多见;③医院感染类型多为肺部感染及血流感染,感染的途径多数与呼吸道吸入、皮肤/黏膜/伤口接触受污染的医疗用水有关。部分文献汇总详见表 2。

表 2 全球医院水源性感染事件汇总

感染源头	时间	国家/地区	性质	感染人群	感染类型	病原体	感染的关键因素
自来水	1999	法国	暴发	劳教病房患者	肠胃炎	病毒	饮用污染的水 <sup>[23]</sup>
自来水	1999	荷兰	连续病例	HIV 感染患者	肺部感染	日内瓦分枝杆菌	吸入受污染的水 <sup>[24]</sup>
自来水	2000	法国	连续病例	血液肿瘤患者	菌血症	人苍白杆菌	未知 <sup>[25]</sup>
自来水	2002	挪威	暴发	ICU 使用机械通气患者	下呼吸道和血流感染	铜绿假单胞菌	受污染的自来水和水盘 <sup>[26]</sup>
自来水	2004	黎巴嫩	暴发	心血管和癌症患者	菌血症	洋葱伯克霍尔德菌	受污染的水配比皮肤消毒剂 <sup>[27]</sup>
自来水	2014	中国	单个病例	ICU 患者	肺炎	黄曲霉	被污染的水 <sup>[28]</sup>
自来水	2015	法国	暴发	儿童肿瘤血液患者	CVC	无色杆菌属	雾化管使用污染的水 <sup>[29]</sup>
自来水	2016	美国	连续病例	NICU 患者	医院感染	铜绿假单胞菌	加湿器和沐浴水被污染 <sup>[30]</sup>
医院水系统	1999	美国	连续病例	免疫抑制患者	肺炎	嗜肺军团菌	受污染的供水 <sup>[31]</sup>
医院水系统	2001	美国	连续病例	血液病和骨髓移植患者	肺部感染	镰刀菌	水池和淋浴产生的气溶胶 <sup>[32]</sup>
医院水系统	2003	荷兰	连续病例	骨髓移植患者	肺部感染	烟曲霉	未知 <sup>[33]</sup>
医院水系统	2004	美国	连续病例	住院患者	肺部感染	鸟分枝杆菌	受污染的医院热水系统 <sup>[34]</sup>
医院水系统	2011	英国	暴发	骨髓肿瘤患者	菌血症	NTM	插管部位被淋浴水污染 <sup>[35]</sup>
医院水系统	2014	美国	暴发	骨髓移植患者	血流感染	NTM	受污染的制冰机 <sup>[36]</sup>
医院水系统	2014	英国	连续病例	烧伤患者	医院感染	铜绿假单胞菌	淋浴水疗 <sup>[37]</sup>
医院水系统	2015	法国	单个病例	乳腺癌术后患者	肺部感染	偶发分枝杆菌	受污染的淋浴水 <sup>[38]</sup>
医院水系统	2020	土耳其	单个病例	造血干细胞移植患者	肺部感染	嗜肺军团菌	受污染的供水 <sup>[39]</sup>
医院水系统	2021	英国	散发病例	血液肿瘤患者	血流感染	NTM 亚种	受污染的供水 <sup>[40]</sup>
电子水龙头	2008	以色列	暴发	肿瘤患者	CLABSI	NTM	沐浴时 CVC 被污染 <sup>[41]</sup>
电子水龙头	2012	土耳其	暴发	NICU 新生儿	血流感染、VAP	铜绿假单胞菌	受污染的出水口、阀门 <sup>[42]</sup>
水龙头	1999	荷兰	暴发	外科 ICU 患者	肺炎、菌血症、UTI	嗜麦芽窄食单胞菌	受污染的水 <sup>[43]</sup>
水龙头	2004	瑞士	连续病例	ICU 患者	医院感染	铜绿假单胞菌	受污染的水龙头 <sup>[44]</sup>
水龙头	2009	中国台湾	连续病例	ICU 患者	医院感染	非发酵革兰阴性杆菌	未知 <sup>[45]</sup>
水龙头	2010	澳大利亚	连续病例	加护病房患者	医院感染	铜绿假单胞菌	受洗手池生物膜的污染 <sup>[46]</sup>

续表 2

感染源头	时间	国家/地区	性质	感染人群	感染类型	病原体	感染的关键因素
水龙头	2014	北爱尔兰	连续病例	NICU 新生儿	菌血症	铜绿假单胞菌	可能是水龙头 <sup>[47]</sup>
水龙头	2017	德国	单个病例	白血病患者	肺部感染	嗜肺军团菌	淋浴水龙头形成气溶胶 <sup>[48]</sup>
水龙头	2018	英国	暴发	血液科病房患者	血流感染	铜绿假单胞菌	输液治疗托盘被污染 <sup>[49]</sup>
水龙头	2018	美国	连续病例	器官移植患者	血流感染	鞘氨醇单胞菌	受污染的水 <sup>[50]</sup>
水龙头	2021	英国	暴发	骨髓移植患者	CVC	NTM 属	受污染的水 <sup>[51]</sup>
水浴	2007	法国	暴发	NICU 新生儿	菌血症	嗜盐单胞菌	受污染水浴加热冰冻血浆 <sup>[52]</sup>
淋浴	1999	芬兰	单个病例	白血病患者	播散感染	偶发分枝杆菌	洗头 <sup>[53]</sup>
淋浴	2001	芬兰	暴发	骨髓移植患者	菌血症	铜绿假单胞菌	可能通过手部淋浴 <sup>[54]</sup>
淋浴	2001	意大利	单个病例	新生儿	肺炎	嗜肺军团菌	吸入受污染的池水 <sup>[55]</sup>
沐浴	2004	美国	暴发	新生儿	肺炎和血流感染	铜绿假单胞菌	吸入受污染的水 <sup>[56]</sup>
沐浴	2005	日本	单个病例	老年痴呆患者	肺炎	嗜肺军团菌	受污染的淋浴水 <sup>[57]</sup>
沐浴	2008	日本	单个病例	烧伤患者	脑膜炎	木糖氧化产碱菌	水疗 <sup>[58]</sup>
淋浴	2008	法国	连续病例	老年人	肺部感染	嗜肺军团菌	吸入淋浴气溶胶 <sup>[59]</sup>
淋浴	2008	美国	暴发	肿瘤患者	CLABSI	NTM	淋浴时暴露污染的水 <sup>[60]</sup>
淋浴	2011	日本	连续病例	孕妇	血流感染	乌尔辛不动杆菌	未知 <sup>[61]</sup>
淋浴/水槽	2022	荷兰	暴发	血液肿瘤患者	血流和尿路感染	阴沟肠杆菌/恶臭假单胞菌	可能为水槽的细菌生物膜 <sup>[62]</sup>
冰浴池	2012	西班牙	暴发	心脏手术后患者	菌血症	荧光假单胞菌	受污染的冰浴池 <sup>[63]</sup>
水池	2017	法国	连续病例	血液科患者	血流和 UTI	铜绿假单胞菌	水池和淋浴槽受污染 <sup>[64]</sup>
制冰机	2014	美国	连续病例	造血干细胞移植患者	肺部和血流感染	NTM	设备被污染的供水 <sup>[65]</sup>
心脏冷热交换器	2015	瑞士	暴发	开胸手术患者	心内膜炎、血流感染	奇美拉分枝杆菌	水箱中细菌形成气溶胶传播 <sup>[65]</sup>
透析用水	2004	巴西	暴发	血液透析患者	菌血症	洋葱伯克霍尔德菌	反渗管连接处被污染 <sup>[66]</sup>
二次供水	2016	中国	暴发	医务人员和住院患者	急性胃肠炎	诺如病毒	蓄水池受到周边环境 <sup>[67]</sup>
厕所/淋浴	2011	英国	连续病例	胃肠炎患者	胃肠炎	诺如病毒	手接触传播 <sup>[68]</sup>
装饰性喷泉	2009	美国	暴发	干细胞移植患者	肺炎	嗜肺军团菌	暴露于受污染的喷泉水 <sup>[69]</sup>

注: NICU 为新生儿重症监护病房, VAP 为呼吸机相关肺炎, CLABSI 为导管相关血流感染, CVC 为中心静脉置管, UTI 为尿路感染。

## 4 展望

医疗供水的终端多与各科室的医疗设备相连, 如心肺冷热交换水箱、血液透析滤过装置、内镜终末漂洗水路、口腔综合治疗台水路、雾化器、呼吸机集水杯、淋浴、水浴箱等。这些设备的水路大多数为半封闭状态导致很难被打开或拆卸, 日常监测和监管又常处于盲区, 清洁和消毒若跟进不及时将最终引起水源性病原体污染。一些医院感染及暴发事件的溯源也显示, 受污染的各类储水设备是感染的关键环节, 但绝大多数研究未进行流行病学调查及实验室同源分析, 因而由水源性病原体所导致的真实感染情况可能被严重低估。

此外, 国内外对医疗用水的规范和指南较为分

散, 水质的卫生学参考标准也存在较大的差异, 如我国口腔科、手术室洗手用水、医疗器械冲洗多数参照《生活饮用水卫生标准》规定, 即  $\leq 100$  CFU/mL, 而美国牙科协会提出口腔治疗水中异养菌总量应  $\leq 200$  CFU/mL; 欧洲对自来水微生物总数的要求与我国一致, 但同时要求军团菌总数不超过 1 000 CFU/L。我国对不同水质的检测方法也不尽相同, 如《生活饮用水标准检验方法 (GB/T 5750—2006)》<sup>[70]</sup> 要求“取 1 mL 自来水样接种至营养琼脂培养基上, 在有氧条件下  $(36 \pm 1)^\circ\text{C}$  培养 48 h”; 《中华人民共和国药典 (2020 年版)》<sup>[71]</sup> 则规定纯化水应“经薄膜过滤法处理, 采用 R2A 琼脂培养基,  $30 \sim 35^\circ\text{C}$  培养不少于 5 d”。医疗用水的接种方式、培养基的选择、培养条件对监测结果影响较大, 监测频次不足及医务人员对供水系统消毒的认知缺乏是当前

水源性医院感染管理的薄弱点,今后应强化相关人员的知识培训,做好规范化采样宣教,确保医疗用水的安全,以避免水源性医院感染的发生。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

## [参 考 文 献]

- [1] Anaissie EJ, Penzak SR, Dignani MC. The hospital water supply as a source of nosocomial infections: a plea for action[J]. Arch Intern Med, 2002, 162(13): 1483 - 1492.
- [2] Suleyman G, Alangaden G, Bardossy AC. The role of environmental contamination in the transmission of nosocomial pathogens and healthcare-associated infections[J]. Curr Infect Dis Rep, 2018, 20(6): 12.
- [3] Bridle H, Miller B, Desmulliez MPY. Application of microfluidics in waterborne pathogen monitoring: a review[J]. Water Res, 2014, 55: 256 - 271.
- [4] Kanamori H, Weber DJ, Rutala WA. Healthcare outbreaks associated with a water reservoir and infection prevention strategies[J]. Clin Infect Dis, 2016, 62(11): 1423 - 1435.
- [5] Ramírez-Castillo FY, Loera-Muro A, Jacques M, et al. Waterborne pathogens: detection methods and challenges[J]. Pathogens, 2015, 4(2): 307 - 334.
- [6] 陈亨利, 陈龙, 康元环, 等. 水环境中致病微生物的非可培养状态研究进展[J]. 中国兽药杂志, 2015, 49(2): 52 - 57.  
Chen HL, Chen L, Kang YH, et al. Progress in research on viable but non-culturable state of pathogenic microorganism in water environment[J]. Chinese Journal of Veterinary Drug, 2015, 49(2): 52 - 57.
- [7] 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, Standardization Administration of China. Standards for drinking water quality: GB 5749 - 2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.
- [8] 李涛, 李佳. 成都市生活饮用水中铜绿假单胞菌的污染调查[J]. 环境与健康杂志, 2014, 31(4): 349 - 350.  
Li T, Li J. Investigation on pollution of *Pseudomonas aeruginosa* in drinking water in Chengdu city[J]. Journal of Environment and Health, 2014, 31(4): 349 - 350.
- [9] Cattelod M, Senn L, Terletskiy V, et al. Molecular epidemiology of *Pseudomonas aeruginosa* in intensive care units over a 10-year period (1998 - 2007)[J]. Clin Microbiol Infect, 2011, 17(1): 57 - 62.
- [10] Barna Z, Kádár M, Kálmán E, et al. Prevalence of *Legionella* in premise plumbing in Hungary[J]. Water Res, 2016, 90: 71 - 78.
- [11] Bargellini A, Marchesi I, Righi E, et al. Parameters predictive of *Legionella* contamination in hot water systems: association with trace elements and heterotrophic plate counts[J]. Water Res, 2011, 45(6): 2315 - 2321.
- [12] Radziminski C, White P. Cooling tower *Legionella pneumophila* surveillance results: Vancouver, Canada, 2021[J]. J Water Health, 2023, 21(3): 313 - 328.
- [13] Marinelli L, Cottarelli A, Solimini AG, et al. Evaluation of timing of re-appearance of VBNC *Legionella* for risk assessment in hospital water distribution systems[J]. Ann Ig, 2017, 29(5): 431 - 439.
- [14] 谈勇. 饮用净水管网余氯与细菌总数的相关性研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(13): 105 - 107.  
Tan Y. Research on correlation of residual chlorine and total bacterial count in water distribution network[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(13): 105 - 107.
- [15] 盛东方, 李伟英, 李悦, 等. 建筑供水系统典型条件致病菌存在水平及影响因素[J]. 净水技术, 2019, 38(12): 46 - 54.  
Sheng DF, Li WY, Li Y, et al. Existing level and influencing factors of typical opportunistic pathogens in building water supply system[J]. Water Purification Technology, 2019, 38(12): 46 - 54.
- [16] Falkinham JO 3rd. Common features of opportunistic premise plumbing pathogens[J]. Int J Environ Res Public Health, 2015, 12(5): 4533 - 4545.
- [17] Marchesi I, Marchegiano P, Bargellini A, et al. Effectiveness of different methods to control *Legionella* in the water supply: ten-year experience in an Italian university hospital[J]. J Hosp Infect, 2011, 77(1): 47 - 51.
- [18] Mao GN, Song YH, Bartlam M, et al. Long-term effects of residual chlorine on *Pseudomonas aeruginosa* in simulated drinking water fed with low AOC medium[J]. Front Microbiol, 2018, 9: 879.
- [19] van der Lugt W, Euser SM, Bruin JP, et al. Growth of *Legionella anisa* in a model drinking water system to evaluate different shower outlets and the impact of cast iron rust[J]. Int J Hyg Environ Health, 2017, 220(8): 1295 - 1308.
- [20] Waak MB, LaPara TM, Hallé C, et al. Occurrence of *Legionella* spp. in water-main biofilms from two drinking water distribution systems[J]. Environ Sci Technol, 2018, 52(14): 7630 - 7639.
- [21] Palazzolo C, Maffongelli G, D'Abramo A, et al. *Legionella* pneumonia: increased risk after COVID-19 lockdown? Italy, May to June 2020[J]. Euro Surveill, 2020, 25(30): 2001372.
- [22] Collier SA, Deng L, Adam EA, et al. Estimate of burden and direct healthcare cost of infectious waterborne disease in the United States[J]. Emerg Infect Dis, 2021, 27(1): 140 - 149.
- [23] Schvoerer E, Bonnet F, Dubois V, et al. A hospital outbreak of gastroenteritis possibly related to the contamination of tap water by a small round structured virus[J]. J Hosp Infect, 1999, 43(2): 149 - 154.
- [24] Hillebrand-Haverkort ME, Kolk AH, Kox LF, et al. Generalized *Mycobacterium genavense* infection in HIV-infected patients: detection of the *Mycobacterium* in hospital tap water[J]. Scand J Infect Dis, 1999, 31(1): 63 - 68.

- [25] Delière E, Vu-Thien H, Lévy V, et al. Epidemiological investigation of *Ochrobactrum anthropi* strains isolated from a haematology unit[J]. J Hosp Infect, 2000, 44(3): 173–178.
- [26] Bukholm G, Tannaes T, Kjelsberg ABB, et al. An outbreak of multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* associated with increased risk of patient death in an intensive care unit[J]. Infect Control Hosp Epidemiol, 2002, 23(8): 441–446.
- [27] Nasser RM, Rahi AC, Haddad MF, et al. Outbreak of *Burkholderia cepacia* bacteremia traced to contaminated hospital water used for dilution of an alcohol skin antiseptic[J]. Infect Control Hosp Epidemiol, 2004, 25(3): 231–239.
- [28] Ao JH, Hao ZF, Zhu H, et al. Environmental investigations and molecular typing of *Aspergillus* in a Chinese hospital[J]. Mycopathologia, 2014, 177(1/2): 51–57.
- [29] Hugon E, Marchandin H, Poirée M, et al. *Achromobacter* bacteraemia outbreak in a paediatric onco-haematology department related to strain with high surviving ability in contaminated disinfectant atomizers[J]. J Hosp Infect, 2015, 89(2): 116–122.
- [30] Weng MK, Brooks RB, Glowicz J, et al. Outbreak investigation of *Pseudomonas aeruginosa* infections in a neonatal intensive care unit[J]. Am J Infect Control, 2019, 47(9): 1148–1150.
- [31] Rangel-Frausto MS, Rhomberg P, Hollis RJ, et al. Persistence of *Legionella pneumophila* in a hospital's water system; a 13-year survey[J]. Infect Control Hosp Epidemiol, 1999, 20(12): 793–797.
- [32] Anaissie EJ, Kuchar RT, Rex JH, et al. Fusariosis associated with pathogenic *Fusarium* species colonization of a hospital water system; a new paradigm for the epidemiology of opportunistic mold infections[J]. Clin Infect Dis, 2001, 33(11): 1871–1878.
- [33] Warris A, Klaassen CHW, Meis JFGM, et al. Molecular epidemiology of *Aspergillus fumigatus* isolates recovered from water, air, and patients shows two clusters of genetically distinct strains[J]. J Clin Microbiol, 2003, 41(9): 4101–4106.
- [34] Tobin-D'Angelo MJ, Blass MA, del Rio C, et al. Hospital water as a source of *Mycobacterium avium* complex isolates in respiratory specimens[J]. J Infect Dis, 2004, 189(1): 98–104.
- [35] Baird SF, Taori SK, Dave J, et al. Cluster of non-tuberculous mycobacteraemia associated with water supply in a haematology unit[J]. J Hosp Infect, 2011, 79(4): 339–343.
- [36] Iroh Tam PY, Kline S, Wagner JE, et al. Rapidly growing *Mycobacteria* among pediatric hematopoietic cell transplant patients traced to the hospital water supply[J]. Pediatr Infect Dis J, 2014, 33(10): 1043–1046.
- [37] Quick J, Cumley N, Wearn CM, et al. Seeking the source of *Pseudomonas aeruginosa* infections in a recently opened hospital; an observational study using whole-genome sequencing [J]. BMJ Open, 2014, 4(11): e006278.
- [38] Jaubert J, Mougari F, Picot S, et al. A case of postoperative breast infection by *Mycobacterium fortuitum* associated with the hospital water supply[J]. Am J Infect Control, 2015, 43(4): 406–408.
- [39] Erat T, Özdemir H, Yahşi A, et al. Nosocomial pneumonia caused by water-born *Legionella pneumophila* in a pediatric hematopoietic stem cell transplantation recipient for thalassemia major[J]. Turk J Pediatr, 2020, 62(5): 868–871.
- [40] Inkster T, Peters C, Seagar AL, et al. Investigation of two cases of *Mycobacterium chelonae* infection in haemato-oncology patients using whole-genome sequencing and a potential link to the hospital water supply[J]. J Hosp Infect, 2021, 114: 111–116.
- [41] Livni G, Yaniv I, Samra Z, et al. Outbreak of *Mycobacterium mucogenicum* bacteraemia due to contaminated water supply in a paediatric haematology-oncology department[J]. J Hosp Infect, 2008, 70(3): 253–258.
- [42] Yapicioglu H, Gokmen TG, Yildizdas D, et al. *Pseudomonas aeruginosa* infections due to electronic faucets in a neonatal intensive care unit[J]. J Paediatr Child Health, 2012, 48(5): 430–434.
- [43] Weber DJ, Rutala WA, Blanchet CN, et al. Faucet aerators; a source of patient colonization with *Stenotrophomonas maltophilia*[J]. Am J Infect Control, 1999, 27(1): 59–63.
- [44] Blanc DS, Nahimana I, Petignat C, et al. Faucets as a reservoir of endemic *Pseudomonas aeruginosa* colonization/infections in intensive care units[J]. Intensive Care Med, 2004, 30(10): 1964–1968.
- [45] Wang JL, Chen ML, Lin YE, et al. Association between contaminated faucets and colonization or infection by nonfermenting Gram-negative bacteria in intensive care units in Taiwan [J]. J Clin Microbiol, 2009, 47(10): 3226–3230.
- [46] Inglis TJJ, Benson KA, O'Reilly L, et al. Emergence of multi-resistant *Pseudomonas aeruginosa* in a Western Australian hospital[J]. J Hosp Infect, 2010, 76(1): 60–65.
- [47] Venier AG, Leroyer C, Slekovec C, et al. Risk factors for *Pseudomonas aeruginosa* acquisition in intensive care units; a prospective multicentre study[J]. J Hosp Infect, 2014, 88(2): 103–108.
- [48] Furtwängler R, Schlotthauer U, Gärtner B, et al. Nosocomial legionellosis and invasive aspergillosis in a child with T-lymphoblastic leukemia[J]. Int J Hyg Environ Health, 2017, 220(5): 900–905.
- [49] Garvey MI, Bradley CW, Holden E. Waterborne *Pseudomonas aeruginosa* transmission in a hematology unit? [J]. Am J Infect Control, 2018, 46(4): 383–386.
- [50] Johnson RC, Deming C, Conlan S, et al. Investigation of a cluster of *Sphingomonas koreensis* infections[J]. N Engl J Med, 2018, 379(26): 2529–2539.
- [51] Habermann S, Ferran E, Hatcher J, et al. Outbreak of non-tuberculous *Mycobacteria* in a paediatric bone marrow transplant unit associated with water contamination of needle-free connectors and literature review [J]. Bone Marrow Trans-

- plant, 2021, 56(9): 2305–2308.
- [52] Berger P, Barguelli F, Raoult D, et al. An outbreak of *Halomonas phocaensis* sp. nov. bacteraemia in a neonatal intensive care unit[J]. J Hosp Infect, 2007, 67(1): 79–85.
- [53] Kauppinen J, Nousiainen T, Jantunen E, et al. Hospital water supply as a source of disseminated *Mycobacterium fortuitum* infection in a leukemia patient[J]. Infect Control Hosp Epidemiol, 1999, 20(5): 343–345.
- [54] Lyytikäinen O, Golovanova V, Kolho E, et al. Outbreak caused by tobramycin-resistant *Pseudomonas aeruginosa* in a bone marrow transplantation unit[J]. Scand J Infect Dis, 2001, 33(6): 445–449.
- [55] Franzin L, Scolaro C, Cabodi D, et al. *Legionella pneumophila* pneumonia in a newborn after water birth: a new mode of transmission[J]. Clin Infect Dis, 2001, 33(9): e103–e104.
- [56] Zawacki A, O'Rourke E, Potter-Bynoe G, et al. An outbreak of *Pseudomonas aeruginosa* pneumonia and bloodstream infection associated with intermittent otitis externa in a healthcare worker[J]. Infect Control Hosp Epidemiol, 2004, 25(12): 1083–1089.
- [57] Mineshita M, Nakamori Y, Seida Y, et al. *Legionella pneumoniae* due to exposure to 24-hour bath water contaminated by *Legionella pneumophila* serogroup-5[J]. Intern Med, 2005, 44(6): 662–665.
- [58] Fujioka M, Oka K, Kitamura R, et al. *Alcaligenes xylosoxidans* cholecystitis and meningitis acquired during bathing procedures in a burn unit: a case report[J]. Ostomy Wound Manage, 2008, 54(12): 48–53.
- [59] Bauer M, Mathieu L, Deloge-Abarkan M, et al. *Legionella* bacteria in shower aerosols increase the risk of Pontiac fever among older people in retirement homes[J]. J Epidemiol Community Health, 2008, 62(10): 913–920.
- [60] Cooksey RC, Jhung MA, Yakus MA, et al. Multiphasic approach reveals genetic diversity of environmental and patient isolates of *Mycobacterium mucogenicum* and *Mycobacterium phocaicum* associated with an outbreak of bacteremias at a Texas hospital[J]. Appl Environ Microbiol, 2008, 74(8): 2480–2487.
- [61] Horii T, Tamai K, Mitsui M, et al. Blood stream infections caused by *Acinetobacter ursingii* in an obstetrics ward[J]. Infect Genet Evol, 2011, 11(1): 52–56.
- [62] van der Zwet WC, Nijssen IEJ, Jamin C, et al. Role of the environment in transmission of Gram-negative bacteria in two consecutive outbreaks in a haematology-oncology department [J]. Infect Prev Pract, 2022, 4(2): 100209.
- [63] Benito N, Mirelis B, Luz Gálvez M, et al. Outbreak of *Pseudomonas fluorescens* bloodstream infection in a coronary care unit[J]. J Hosp Infect, 2012, 82(4): 286–289.
- [64] Amoureux L, Riedweg K, Chapuis A, et al. Nosocomial infections with IMP-19-producing *Pseudomonas aeruginosa* linked to contaminated sinks, France[J]. Emerg Infect Dis, 2017, 23(2): 304–307.
- [65] Sax H, Bloemberg G, Hasse B, et al. Prolonged outbreak of *Mycobacterium chimaera* infection after open-chest heart surgery[J]. Clin Infect Dis, 2015, 61(1): 67–75.
- [66] Souza AV, Moreira CR, Pasternak J, et al. Characterizing uncommon *Burkholderia cepacia* complex isolates from an outbreak in a haemodialysis unit[J]. J Med Microbiol, 2004, 53(Pt 10): 999–1005.
- [67] 吕维维, 毛云霞, 周浩, 等. 一起因二次供水污染导致的医院内诺如病毒胃肠炎暴发调查[J]. 疾病监测, 2016, 31(1): 49–53.  
Lv WW, Mao YX, Zhou H, et al. An outbreak of norovirus infection associated with contamination of secondary water supply in a hospital[J]. Disease Surveillance, 2016, 31(1): 49–53.
- [68] Morter S, Bennet G, Fish J, et al. Norovirus in the hospital setting: virus introduction and spread within the hospital environment[J]. J Hosp Infect, 2011, 77(2): 106–112.
- [69] Palmore TN, Stock F, White M, et al. A cluster of cases of nosocomial legionnaires disease linked to a contaminated hospital decorative water fountain[J]. Infect Control Hosp Epidemiol, 2009, 30(8): 764–768.
- [70] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 生活饮用水标准检验方法 第 12 部分: 微生物指标: GB/T 5750.12—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.  
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of China. Standard examination methods for drinking water—part 12: microbiological indices: GB/T 5750.12—2023[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [71] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[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[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020.

(本文编辑:左双燕)

**本文引用格式:**郑鹏,汪邦芳,林佳冰,等. 医疗机构水源性感染研究进展[J]. 中国感染控制杂志, 2024, 23(8): 1053–1060. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20245359.

**Cite this article as:** ZHENG Peng, WANG Bang-fang, LIN Jiabing, et al. Research progress on waterborne infection in medical institutions[J]. Chin J Infect Control, 2024, 23(8): 1053–1060. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20245359.