

DOI: 10. 12138/j. issn. 1671—9638. 20257107

· 论 著 ·

## 一起耐碳青霉烯类肺炎克雷伯菌聚集事件的调查与分析

霍 嫒<sup>1</sup>, 徐文娟<sup>1</sup>, 王 芳<sup>2</sup>, 蒋 翔<sup>3</sup>

(安阳市中医院 1. 肺病科; 2. 耳鼻喉科; 3. 重症监护室, 河南 安阳 455000)

**[摘要]** **目的** 对某中医院重症监护病房(ICU)发生的一起耐碳青霉烯类肺炎克雷伯菌(CRKP)聚集事件进行调查,为医院内多重耐药菌的防控提供参考。**方法** 2023年1—7月,某中医院ICU出现多例CRKP感染患者,检出水平超过历年同期水平。收集患者临床信息,并进行流行病学调查、环境卫生学监测,对所分离的CRKP进行脉冲场凝胶电泳(PFGE)鉴定,查找可能传播的原因,并采取相应的控制措施。**结果** 研究期间共确认13例患者发生CRKP感染,主要为呼吸道感染、血流感染以及腹腔感染。环境监测显示,131份环境物体表面和工作人员手标本仅有2份标本检出CRKP,经PFGE鉴定显示2株分离自洗手池水槽标本的CRKP与2例近期住院患者检出的菌株高度同源。另有部分患者分离菌株同源性较高,存在交叉传播的可能。**结论** CRKP容易在ICU患者之间交叉传播并污染环境,应早期对其进行预警和调查,以防医院感染暴发事件的出现。

**[关键词]** 耐碳青霉烯类肺炎克雷伯菌; 医院感染聚集; 重症监护病房; 脉冲场凝胶电泳

**[中图分类号]** R181.3<sup>+</sup>2

## Investigation and analysis of a cluster event of carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae*

HUO Man<sup>1</sup>, XU Wenjuan<sup>1</sup>, WANG Fang<sup>2</sup>, JIANG Xiang<sup>3</sup> (1. Department of Pulmonary Diseases; 2. Department of Otolaryngology; 3. Intensive Care Unit, Anyang Traditional Chinese Medicine Hospital, Anyang 455000, China)

**[Abstract]** **Objective** To investigate a cluster of healthcare-associated infection (HAI) of carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae* (CRKP) in intensive care unit (ICU) of a traditional Chinese medicine hospital, and provide evidence for the prevention and control of multidrug-resistant organisms in hospitals. **Methods** From January to July 2023, multiple cases of CRKP infection in the ICU of a traditional Chinese medicine hospital occurred, surpassing the number in the same period of previous years. Through collection of patients' clinical information, epidemiological investigation and environmental hygiene monitoring, the isolated CRKP strains were identified by pulsed-field gel electrophoresis (PFGE), possible causes of transmission were found out, and corresponding control measures were taken. **Results** During the study period, a total of 13 patients were confirmed to have developed CRKP infection, mainly respiratory tract infection, bloodstream infection, and abdominal infection. Environmental monitoring showed that only 2 out of 131 environmental object surfaces specimens and staff's hand specimens tested positive for CRKP. PFGE identification showed that the 2 CRKP strains isolated from the sink specimens were highly homologous to the strains isolated from 2 recently admitted patients. Some strains isolated from patients were highly homologous, indicating a possibility of cross transmission. **Conclusion** CRKP is prone to be cross-transmission among ICU patients and contaminates the environment. Early warning and investigation should be conducted to prevent the occurrence of HAI outbreaks.

**[Key words]** carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae*; cluster of healthcare-associated infection; intensive care unit; pulsed-field gel electrophoresis

[收稿日期] 2024-10-24

[作者简介] 霍嫒(1979-),女(汉族),河南省安阳市人,主管护师,主要从事临床护理研究。

[通信作者] 蒋翔 E-mail: 3376562614@qq.com

近年来随着碳青霉烯类抗生素的广泛使用,耐碳青霉烯类肺炎克雷伯菌(carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae*, CRKP)在临床的检出率呈快速上升趋势<sup>[1-2]</sup>,我国肺炎克雷伯菌对亚胺培南和美罗培南的耐药率已从 2005 年的 3.0%和 2.9%上升到 2023 年的 24.8%和 26.0%<sup>[3]</sup>,给患者的临床诊治和医院感染防控带来巨大的挑战。重症监护病房(intensive care unit, ICU)由于收治患者多为危重患者,患者自主活动能力受限以及各类侵袭性操作较多,是各类多重耐药菌主要流行的场所。近年来,国内外已有诸多 ICU 发生 CRKP 医院感染或暴发的案例<sup>[4-6]</sup>。CRKP 在 ICU 的传播方式包括直接接触和间接接触,环境和物品作为传播媒介常导致新感染病例的出现,若干预防措施不到位可引起医院感染聚集事件的频繁发生<sup>[7]</sup>。2023 年 1—7 月,某医院 ICU 相继检出 13 例 CRKP 感染患者,存在医院感染暴发的可能,随后对该事件进行现场流行病学调查和环境卫生学分析,通过积极采取干预措施最终得到控制。现对该事件进行梳理分析,为多重耐药菌医院感染防控提供参考。

## 1 资料与方法

1.1 感染聚集性事件描述 该医院 ICU 共有 17 张床位,3 个单间病房,8 名临床医生和 25 名护士,主要收治重症肺炎、脓毒症及脓毒症休克、消化道大出血等急重症患者。2023 年 5 月 24—26 日,该 ICU 的 3 例患者临床标本相继检出 CRKP。随后医院启动现场流行病学调查,追溯 2023 年 1 月起的所有临床标本中检出 CRKP 患者,共计 12 例。首例患者(病例 A)以吸入性肺炎入住肺病科并随后转至 ICU,在 ICU 入住第 5 天痰标本检出 CRKP。

1.2 流行病学调查 通过查阅医院感染监测系统、实验室信息系统(Laboratory Information System, LIS)以及医院管理信息系统(Hospital Information System, HIS)等开展病例搜索,将 2023 年 1 月 1 日—5 月 26 日该 ICU 所有检出 CRKP 患者的病历资料进行收集和汇总。根据患者感染部位、影像学资料、临床症状等资料,按照《医院感染诊断标准(试行)》<sup>[8]</sup>对所有收集的 CRKP 阳性患者进行医院感染判断,并进行三间分布分析。本研究已获得该院伦理委员会审批(项目编号 2024zy012)。

1.3 环境卫生学调查 2023 年 5 月 27 日,对该 ICU 的环境和物体表面,以及包括医生、护士、护工

人员在内的共 20 多名医务人员手进行采样。采样具体位点包括所有床桌板、床帘、床栏、床头柜等床单元,呼吸机表面、监护仪操作面板、血气分析仪等仪器表面,病房门把手、卫生间扶手、马桶按钮、水龙头等公共区域,以及血压计、听诊器等设备共计 131 个点位。所有标本均参照《医院消毒卫生标准》(GB 15982—2012)<sup>[9]</sup>进行采样,即用浸有生理盐水的无菌棉拭子涂抹采样后放入含 3%吐温 80、0.3%卵磷脂和 0.1%硫代硫酸钠的 TSB 胰蛋白胨大豆肉汤培养液中,立即送至 37℃恒温箱培养 24 h 后取 100  $\mu$ L 均匀涂布于血平板上,然后再送至 37℃恒温箱培养 48 h,并对 CRKP 可疑菌落进行菌株鉴定和药敏试验。

1.4 实验室检测 将所保存的患者临床菌株进行复苏:菌株从 -80℃冻存管中复苏至哥伦比亚血平板,37℃孵育培养 24 h 后,使用基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱仪(MALDI-TOF)对菌株再次进行鉴定。环境采样的疑似菌株也使用 MALDI-TOF 进行鉴定,经鉴定为肺炎克雷伯菌的菌株再使用 VITEK 2 Compact 全自动分析系统进行药敏试验,以美罗培南或亚胺培南 $\geq 4 \mu\text{g/mL}$ 判定为耐药的 CRKP<sup>[10]</sup>。

1.5 耐药基因检测与同源分析 所有 CRKP 临床菌株和环境菌株送至上海生工生物工程有限公司进行耐药基因检测和脉冲场凝胶电泳(pulsed-field gel electrophoresis, PFGE)分子分型试验。耐药基因检测我国 CRKP 携带率最高的 KPC-2、NDM 和 OXA-23 这三种进行检测,PFGE 图谱采用 BioNumerics 软件进行聚类分析。根据条带间的相似性系数,采用非加权配对算术平均法建立聚类数,相似度 $>95\%$ 的菌株认定为同源<sup>[11]</sup>。

1.6 干预措施 在进行环境卫生学采样的当天立即采取相应的医院感染控制措施,具体包括:(1)将已发生 CRKP 感染患者进行集中隔离管理,指定专人护理,床旁配备隔离衣并每日更换,减少因医务人员诊疗或工勤人员流动而产生新病例;(2)强化病区所有工作人员的手卫生意识,尤其重点监督接触患者后和接触患者各类物品后的手卫生依从性;(3)对工勤人员强化环境消毒标准,使用一次性季铵盐消毒湿巾对患者的各类物品和环境进行擦拭消毒,确保擦拭力度和位点无误;(4)对患者共用物品或器械进行强化消毒,减少因共用所产生的传播风险。

## 2 结果

2.1 基本情况 2023 年 1 月 1 日—6 月 1 日, 该 ICU 共收治患者 171 例, 12 例患者(编号 A~L)临床标本分离出 CRKP 且均判定为医院感染, 检出率为 7.02%, 高于 2020—2022 年该 ICU 同期 CRKP 检出率, 分别为 2.63% (2/76)、3.16% (3/95)、2.67% (2/75)。12 例患者中, 男性 8 例, 女性 4 例; 年龄 35~90 岁, 中位年龄 64 岁。5 例患者住院期

间使用呼吸机插管, 3 例患者留置血管导管。

2.2 三间分布 12 例患者入住 ICU 前, 有 7 例曾在 A、B、C、D 4 个病区入住, ICU 入住日数为 5~21 d。首例患者 A 在入住 ICU 第 5 天检出 CRKP, 患者 B~L 则在入住第 4~13 天相继检出 CRKP。除患者 D、G、H 入住单间病房外, 其他患者均在敞开式大间。2023 年 6 月 10 日 1 例患者临床标本中分离出 CRKP(编号为 M)。各患者 ICU 空间分布见图 1。各患者入住时间、病房周转情况以及临床检出 CRKP 的时间分布见图 2。

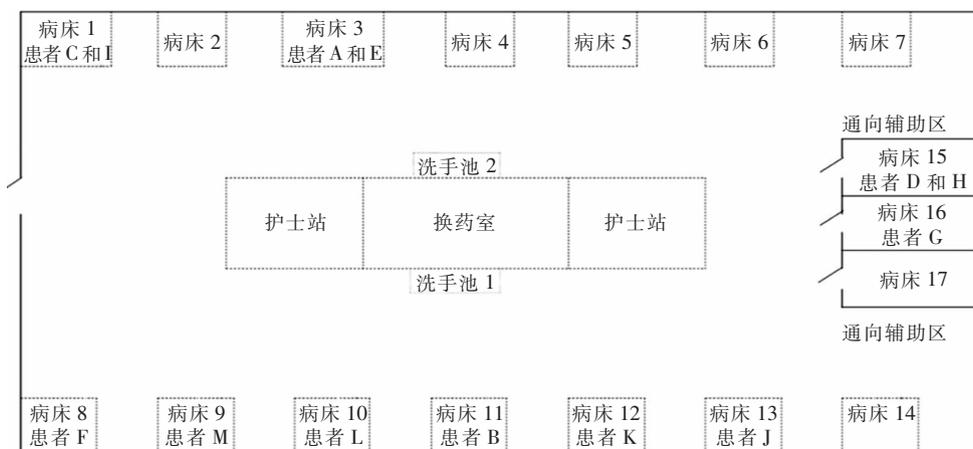


图 1 13 例 CRKP 医院感染患者 ICU 空间分布图

Figure 1 Spatial distribution of 13 CRKP HAI patients in ICU

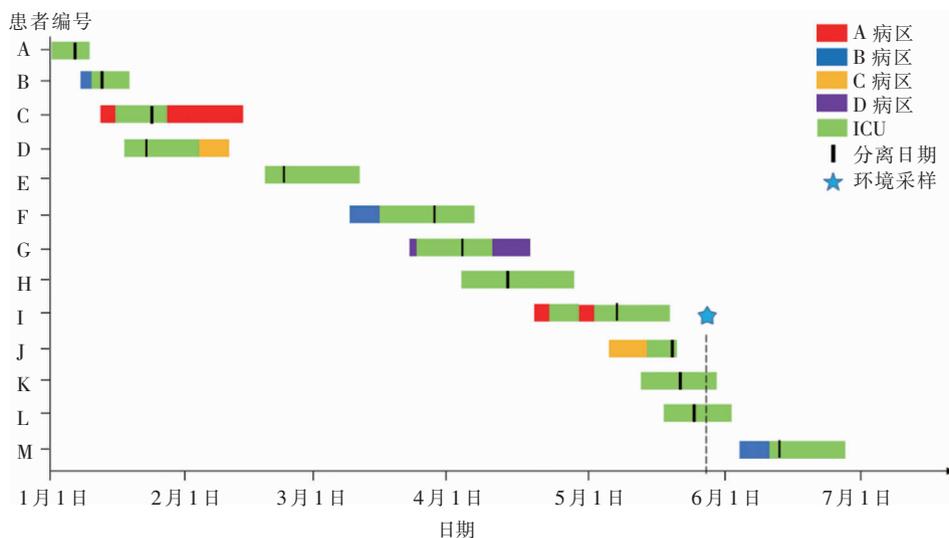


图 2 2023 年 13 例 CRKP 医院感染患者 ICU 时间分布

Figure 2 Temporal distribution of 13 CRKP HAI patients in ICU in 2023

2.3 环境卫生学结果 131 份环境标本中仅有 2 份标本检出 CRKP, 均为 ICU 洗手池水孔, 检出率为 1.53%。患者的床单元、仪器设备以及医务人员

手均未检出 CRKP。

2.4 实验室鉴定 药敏试验结果显示, 13 株临床标本分离株和 2 株环境菌株对大多数头孢类、氨基

糖苷类、β-内酰胺类抗生素耐药。耐药基因检测结果显示, KPC-2、NDM、OXA-23 的检出率分别为 60.00%、20.00%、20.00%。PFGE 分子分型结果显示, 患者 K、J 和 ICU 洗手池分离的环境 1 和环境

5 菌株呈现同一带型, 相似度为 100%; 患者 I、C 检出菌株, 患者 L、F、G、M 检出菌株相似度 >95%, 上述菌株均判断为同源菌株。而其他菌株聚类关系较远, 判定为非同源, 见图 3。



图 3 15 株 CRKP 菌株的 PFGE 聚类分析

Figure 3 PFGE cluster analysis of 15 CRKP strains

2.5 控制措施及效果 2023 年 5 月 27 日起对 ICU 采取强化干预措施, 并由专人监督以保证各措施的执行情况。在随后 3 个月内, 除 6 月 10 日新出现 1 例 CRKP 感染患者外, 无新病例产生, 本次 CRKP 聚集性事情得到控制。

### 3 讨论

我国《医院感染暴发控制指南》(WS/T 524—2016)<sup>[12]</sup>指出“在医疗机构或其科室的患者中, 短时间内发生 3 例以上同种同源感染病例的现象称为医院感染暴发。在医疗机构或其科室的患者中, 短时间内发生医院感染病例增多, 并超过历年散发发病率水平的现象称为医院感染聚集”。本研究涉及 13 例临床患者, 2 份环境标本, 虽然有部分病例的 CRKP 菌株呈现同源, 但不同时满足“短时间”和“3 例以上”两个要求, 而研究期间 CRKP 检出率为 7.02%, 为 2020—2022 年同期检出率的 2 倍, 故判定为医院感染聚集事件。

流行病学调查显示, 本次 CRKP 感染患者的感染部位包括肺部、血液和腹腔, 各病例都有不同部位的插管, 护理人员较为固定。由于多重耐药菌在 ICU 主要通过接触传播, 随着工作人员的流动和操作而污染周围环境或其他患者, 因此国内外规范和

指南均建议采取接触隔离措施, 包括单间隔离、使用隔离衣和手套、限制患者转运、患者物品专人专用等<sup>[13-16]</sup>。本次调查发现, 尽管患者 A 是本次聚集事件的最早病例, 但同源分析显示该病例与其他病例的菌株亲缘关系较远, 且时间和空间上同其他病例没有太多关联性, 故排除其为此次感染事件的源头。

与传染病通常有明确的潜伏期不同, 多重耐药菌可以借助环境而长时间定植并作为 ICU 患者感染的源头, 尤其在日常忽视的风险点如水池等, 进行重组或产生新的耐药性<sup>[17-18]</sup>, 因而较难明确感染最早发生的时间与地点。本次环境采样监测结果显示, 手日常高频接触的 ICU 物体表面, 如患者的床栏、仪器、公共区域的计算机并未检出 CRKP, 可能与近期病区已对环境和各类物品强化擦拭消毒有关, 但病区已设置的 2 个洗手池的水池孔中却分离出 2 株目标细菌, 且与患者 K、J 分离的菌株高度同源, 与国内外诸多研究<sup>[19-21]</sup>结论相近。Kotay 等<sup>[22]</sup>研究发现, 洗手时产生的水滴可喷溅至周边 1 m 处的环境, 且流动水产生的冲击力可以将水池孔附着的病原菌冲击至水槽周边环境, 是多重耐药菌管理的盲点之一。因此, 一些学者建议 ICU 等重点科室尽量使用免洗手消毒剂以替代流动水洗手。强化干预措施期间, 监管人员也发现 ICU 工作人员有在水池倾倒和处置患者体液等习惯, 为此在干预的中后

期强化了对洗手池、污洗间等区域的消毒管理,以避免耐药菌在此长期附着。

PFGE 作为细菌分子分型的金标准,是进行医院感染暴发和感染溯源的有力工具。本次 PFGE 结果显示,患者 K、J 和 ICU 洗手池分离的环境 1 和环境 5 菌株呈现同一带型,同住过病床 1 的患者 I、C 所分离菌株,病床相邻的患者 L、F、G 和单间患者 M 的菌株高度同源,存在“患者-患者”或“患者-环境-患者”交叉传播的可能。然而这些患者的时间关联性较弱,PFGE 也无法阐明谁是“传播者”,谁是“被传播者”,以及环境采样时间较为滞后,使得本次事件的精准溯源和传播关系描述较为困难。此外,KPC-2、NDM 和 OXA-23 耐药基因作为国内 CRKP 主要流行耐药基因,其检出率正呈逐年上升的趋势<sup>[23]</sup>。本次研究也发现,13 株临床标本和 2 株环境标本的 CRKP 所携带的耐药基因分布略有差异,部分患者的标本中同时含有 KPC-2 和 NDM 这 2 种耐药基因,以及这些病例之间的流行病学关联较弱,提示可能存在未知的传播路径。此外,有研究认为同一细菌含有 2 种以上的耐药基因会增强抵抗抗菌药物的能力<sup>[24]</sup>,因此,今后需格外关注临床感染菌株耐药基因携带情况。

干预措施进行后,仍出现 1 例新发 CRKP 感染患者 M,且与患者 L 存在高度同源性以及明显的时间和空间关联性。分析两例患者进行的诊疗操作和护理操作后发现,两者分别在 5 月 15 日、6 月 1 日进行纤维支气管镜(简称纤支镜)检查,由于该 ICU 仅有 1 条纤支镜因而怀疑该纤支镜受到 CRKP 污染。然而该纤支镜已于 6 月 5 日进行低温等离子灭菌而无法获得有效标本,且回溯近 3 个月使用该纤支镜的 23 例患者临床信息,未发现有明显感染症状,推测纤支镜不是导致本次感染聚集性事件的主要元凶。

由于 ICU 内多重耐药菌的管理主要依赖医务人员的重视程度和各项措施的具体执行情况,本研究通过医护人员之间的通力协作以及严格执行各项干预措施,3 个月内未出现新发感染病例,最终判定本次医院感染聚集性事件得到控制。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

## [参考文献]

[1] Hu HB, Wang H, Yu MH, et al. Clinical and microbiological

characteristics of carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae* causing post-operative central nervous system infections in China [J]. J Glob Antimicrob Resist, 2023, 35: 35 - 43.

- [2] Tian LJ, Tan RM, Chen Y, et al. Epidemiology of *Klebsiella pneumoniae* bloodstream infections in a teaching hospital: factors related to the carbapenem resistance and patient mortality [J]. Antimicrob Resist Infect Control, 2016, 5: 48.
- [3] 中国细菌耐药监测网. CHINET 2023 年全年细菌耐药监测结果[EB/OL]. (2024 - 03 - 05)[2024 - 03 - 15]. <https://www.chinets.com/Content/File/CHINET%202023%E5%B9%B4%E7%BB%86%E8%8F%8C%E8%80%90%E8%8D%AF%E7%9B%91%E6%B5%8B%E7%BB%93%E6%9E%9C.pdf>.
- China Antimicrobial Surveillance Network. CHINET 2023 annual bacterial resistance monitoring results[EB/OL]. (2024 - 03 - 05)[2024 - 03 - 15]. <https://www.chinets.com/Content/File/CHINET%202023%E5%B9%B4%E7%BB%86%E8%8F%8C%E8%80%90%E8%8D%AF%E7%9B%91%E6%B5%8B%E7%BB%93%E6%9E%9C.pdf>.
- [4] Li L, Wang RY, Qiao D, et al. Tracking the outbreak of carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae* in an emergency intensive care unit by whole genome sequencing[J]. Infect Drug Resist, 2022, 15: 6215 - 6224.
- [5] 朱雯, 梁艺, 翁超. 疑似耐碳青霉烯类肺炎克雷伯菌感染暴发调查[J]. 上海预防医学, 2023, 35(2): 126 - 131.
- Zhu W, Liang Y, Weng C. Investigation of a suspected outbreak of carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae* infection [J]. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 2023, 35(2): 126 - 131.
- [6] Wang MY, Hao MJ, Cui XD, et al. Tracking emergence and outbreak of *Klebsiella pneumoniae* co-producing NDM-1 and KPC-2 after sulfamethoxazole-trimethoprim treatment: Insights from genetic analysis[J]. Int J Antimicrob Agents, 2024, 64(2): 107237.
- [7] Yan ZQ, Zhou Y, Du MM, et al. Prospective investigation of carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae* transmission among the staff, environment and patients in five major intensive care units, Beijing[J]. J Hosp Infect, 2019, 101(2): 150 - 157.
- [8] 中华人民共和国卫生部. 医院感染诊断标准(试行)[J]. 中华医学杂志, 2001, 81(5): 314 - 320.
- Ministry of Health of the People's Republic of China. Diagnostic criteria for nosocomial infections (Proposed)[J]. National Medical Journal of China, 2001, 81(5): 314 - 320.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 医院消毒卫生标准: GB 15982—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Hygienic standard for disinfection in hospitals: GB 15982 - 2012[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.

- [10] Clinical and Laboratory Standards Institute. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing: M100 30th edition[S]. Malvern, PA, USA: CLSI, 2020.
- [11] 张海峰, 姚静, 杜兴冉, 等. 碳青霉烯耐药肺炎克雷伯菌医院暴发流行的耐药机制及同源性研究[J]. 中华医院感染学杂志, 2016, 26(22): 5041-5045.
- Zhang HF, Yao J, Du XR, et al. Drug resistance mechanisms and homology of carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae* prevalent in hospitals[J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2016, 26(22): 5041-5045.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 医院感染暴发控制指南: WS/T 524—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Guideline of control of healthcare associated infection outbreak: WS/T 524 - 2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [13] 杨启文, 吴安华, 胡必杰, 等. 临床重要耐药菌感染传播防控策略专家共识[J]. 中国感染控制杂志, 2021, 20(1): 1-14.
- Yang QW, Wu AH, Hu BJ, et al. Expert consensus on strategies for the prevention and control of spread of clinically important antimicrobial-resistant organisms[J]. Chinese Journal of Infection Control, 2021, 20(1): 1-14.
- [14] Richter SS, Marchaim D. Screening for carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae*: who, when, and how?[J]. Virulence, 2017, 8(4): 417-426.
- [15] Magiorakos AP, Burns K, Rodríguez Baño J, et al. Infection prevention and control measures and tools for the prevention of entry of carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae* into health-care settings: guidance from the European Centre for Disease Prevention and Control[J]. Antimicrob Resist Infect Control, 2017, 6: 113.
- [16] 中华预防医学会医院感染控制分会, 中华医学会感染病学分会, 中国医院协会医院感染管理专业委员会, 等. 中国碳青霉烯耐药革兰阴性杆菌(CRO)感染预防与控制技术指引[J]. 中华医院感染学杂志, 2019, 29(13): 2075-2080.
- Hospital Infection Control Branch of the Chinese Preventive Medicine Association, Infectious Diseases Branch of the Chinese Medical Association, Hospital Infection Management Professional Committee of China Hospital Association, et al. Technical guidelines for prevention and control of carbapenem-resistant Gram-negative bacilli infection in China[J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2019, 29(13): 2075-2080.
- [17] 史庆丰, 王志翔, 鲍容, 等. 医院水环境中碳青霉烯类耐药细菌多样性及耐药基因[J]. 中华医院感染学杂志, 2022, 32(4): 605-609.
- Shi QF, Wang ZX, Bao R, et al. Research on diversity and drug resistance genes of carbapenem resistant bacteria in hospital water environment[J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2022, 32(4): 605-609.
- [18] Kizny Gordon AE, Mathers AJ, Cheong EYL, et al. The hospital water environment as a reservoir for carbapenem-resistant organisms causing hospital-acquired infections - a systematic review of the literature[J]. Clin Infect Dis, 2017, 64(10): 1435-1444.
- [19] Weingarten RA, Johnson RC, Conlan S, et al. Genomic analysis of hospital plumbing reveals diverse reservoir of bacterial plasmids conferring carbapenem resistance[J]. mBio, 2018, 9(1): e02011-17.
- [20] De Geyter D, Blommaert L, Verbraeken N, et al. The sink as a potential source of transmission of carbapenemase-producing *Enterobacteriaceae* in the intensive care unit[J]. Antimicrob Resist Infect Control, 2017, 6: 24.
- [21] 史庆丰, 黄英男, 孙伟, 等. 某综合医院重症监护病房耐碳青霉烯类肺炎克雷伯菌环境流行调查[J]. 中国感染控制杂志, 2020, 19(12): 1093-1097.
- Shi QF, Huang YN, Sun W, et al. Survey on environmental prevalence of carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae* in intensive care unit of a general hospital[J]. Chinese Journal of Infection Control, 2020, 19(12): 1093-1097.
- [22] Kotay S, Chai WD, Guilford W, et al. Spread from the sink to the patient: in situ study using green fluorescent protein (GFP)-expressing *Escherichia coli* to model bacterial dispersion from hand-washing sink-trap reservoirs[J]. Appl Environ Microbiol, 2017, 83(8): e03327-16.
- [23] Li X, Li CA, Zhou LJ, et al. Global phylogeography and genomic characterization of *bla*<sub>KPC</sub> and *bla*<sub>NDM</sub>-positive clinical *Klebsiella aerogenes* isolates from China, 2016-2022[J]. Sci Total Environ, 2024, 923: 171560.
- [24] Bai J, Liu YJ, Kang JB, et al. Antibiotic resistance and virulence characteristics of four carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae* strains coharbouring *bla*<sub>KPC</sub> and *bla*<sub>NDM</sub> based on whole genome sequences from a tertiary general teaching hospital in central China between 2019 and 2021[J]. Microb Pathog, 2023, 175: 105969.

(本文编辑:陈玉华)

**本文引用格式:**霍曼,徐文娟,王芳,等.一起耐碳青霉烯类肺炎克雷伯菌聚集事件的调查与分析[J].中国感染控制杂志,2025,24(1):93-98. DOI:10.12138/j.issn.1671-9638.20257107.

**Cite this article as:** HUO Man, XU Wenjuan, WANG Fang, et al. Investigation and analysis of a cluster event of carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae*[J]. Chin J Infect Control, 2025, 24(1): 93-98. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20257107.