

병원균의 병원환경오염과 감염관리

김영아^{1,4} · 이혁민^{2,4} · 이경원^{3,4}

국민건강보험 일산병원 진단검사의학과¹, 관동대학교 진단검사의학과²,
연세대학교 의과대학 진단검사의학교실³, 세균내성연구소⁴

Contamination of the Hospital Environmental by Pathogenic Bacteria and Infection Control

Young Ah Kim^{1,4}, Hyukmin Lee^{2,4}, Kyungwon Lee^{3,4}

Department of Laboratory Medicine, National Health Insurance Service Ilsan Hospital¹, Goyang, Department of Laboratory Medicine, Catholic Kwandong University College of Medicine², Incheon, Department of Laboratory Medicine³ and Research Institute of Bacterial Resistance⁴, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Healthcare-associated infections (HAIs) have increased rapidly, and the wide spread of multidrug resistant (MDR) bacteria has made the control of HAIs a challenging health problem. Transmission of common pathogens from a colonized or infected patient to a susceptible patient has been reported to occur via the hands of healthcare personnel. Therefore, the priority of infection control policy has been allocated in hand hygiene program, contact precautions, and isolation. However, the transmission routes of pathogens are complicated. Furthermore, recent data suggest that the hospital environment could play a role as an important reservoir, and contaminated hospital surfaces, medical equipment, water, and air could be directly or indirectly involved in the transmission pathways. Therefore, we should reconsider the role of hospital environment control in the management of HAIs as well as developing strategies to reduce the contamination of hospital environment.

Keywords: Healthcare-associated infection, Hospital environment, Infection control

Introduction

의료관련감염(healthcare-associated infection)은 입원 시에 존재하지 않았고, 잠복기도 아닌 상태에서 의료기관에 입원 중에 발병한 감염으로 흔히 입원 48시간 후에 감염을 말한다[1]. 기존의 병원 내에서 획득한 감염을 뜻하는 병원감염(hospital-acquired infection)에서 요양병원이나 외래투석 등

의 다른 의료기관 노출로 인한 감염도 포함하는 확대된 개념이다.

의료관련감염은 세계적으로 매년 수백 만 명 환자에서 발생하고, 근래 면역억제 환자의 증가, 침습적 시술의 보편화 등으로 증가하는 추세에 있으며, 이로 인해 입원기간과 장애기간 연장, 사망률 증가 및 의료비상승의 문제점이 있다[2].

더욱이 최근에는 여러 계열의 항균제에 내성을 가지는 carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae* (CRE), multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa*, multidrug-resistant *Acinetobacter*, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), vancomycin-resistant *Staphylococcus aureus* (VRSA), vancomycin-resistant *Enterococcus* (VRE) 등의 다제내성균(multidrug resistant organisms)에 의한 감염이 늘어나고 있고

Received: May 22, 2014

Revised: July 28, 2014

Accepted: July 31, 2014

Correspondence to: Kyungwon Lee, Department of Laboratory Medicine and Research Institute of Bacterial Resistance, Yonsei University College of Medicine, 50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea

Tel: 02-2228-2446, Fax: 02-313-0908

E-mail: leekep@yuhs.ac

관련된 비용도 급격히 증가하여 이를 줄이기 위한 적극적인 노력이 더욱 필요한 시점이다[3].

중환자실에서 발생하는 의료관련 감염은 환자가 가지고 있던 정상 균무리에 의한 것이 40-60%, 의료인의 손에 의한 교차감염이 20-40% 정도로 대부분을 차지한다[4]. 따라서 지금까지 의료기관에서의 감염관리 활동은 요로감염, 폐렴, 수술 부위감염과 혈관카테터 관련 균혈증 등 주요 의료관련감염의 감시, 손위생, 격리, 직원의 감염관리, 소독과 멸균 지침 등이 주된 내용이었다[5]. 그러나 병원균에 오염된 병원환경과 감염전파와 연관이 있다는 보고가 많으며[6], 병원환경의 오염도가 높을수록 의료종사자의 가운과 장갑의 다제내성균의 오염이 많고[7], 심지어 병원감염과 관련이 많은 VRE, *Acinetobacter* spp.의 공기 전파도 알려져 있다[8,9]. 따라서 지금까지 간과되어 왔던 병원환경 관리에 대해 좀더 관심이 필요하다고 생각되며, 본 논문에서 환경 관리의 중요성을 다시 한번 검토해 보고 이를 위한 전략을 살펴보고자 한다.

1. 병원환경오염

병원환경에는 다양한 미생물이 있고, 기회 감염균에 부적절하게 노출되거나, *Aspergillus* spp., *Legionella* spp., *Mycobacterium tuberculosis*, Vari-

cella-Zoster virus 등 공기로 전파되는 균에 의해 심각한 감염이 발생할 수 있다[10].

근래에는 병원환경오염이 MRSA, VRE, *Clostridium difficile*, *Acinetobacter* 및 *P. aeruginosa*에 의한 병원감염에도 중요한 역할을 한다고 알려져 있으며, 근거는 다음과 같다[11]. 즉, 1) 감염된 환자의 병실이 동일한 세균에 의해 자주 오염되고, 2) 병원균이 의료 환경에서 장기간 생존할 수 있으며, 3) 의료인의 손이나 장갑의 오염 빈도와 병실 오염빈도가 연관성이 있고, 4) 사람간 전파나 의료기기 매개로 인한 집단감염이 발생하고, 5) 감염환자가 입원한 병실의 환자가 동일한 병원균에 의한 정착이 흔하고, 6) 병실을 청결하게 하면 감염률이 낮아지며, 7) 소독을 잘하면 감염률이 낮아진다. 병원환경오염으로 문제가 되었거나 환경관리를 통하여 효과가 있었던 최근 사례는 Table 1과 같았다[8,12-20].

2. 환경감염관리

병원균의 원내 전파는 다양한 방법으로 이루어진다. 흔하게는 환자와의 직접적인 접촉으로 오염된 의료인의 손을 매개로 전파되지만, 오염된 병원환경이 나 기구를 통해 의료인의 손이 오염되어 전파되기도 한다[6]. 따라서 손위생 수행은 가장 우선 순위에 두어야 하는 감염관리 정책

Table 1. Studies investigating the significance of hospital environment control in hospital infection

| Organisms | Key findings | Reference |
|--|--|-----------|
| MRSA and <i>Acinetobacter</i> | Molecular typing identified similar strains from the environment, patients and hands | 12 (2013) |
| MRSA and <i>Acinetobacter</i> | Hydrogen peroxide vapor disinfection and cohorting of colonized or infected patients reduced nosocomial MRSA and <i>A. baumannii</i> in burns unit | 13 (2013) |
| MRSA and <i>C. difficile</i> | In patient rooms and the ward environment, the contamination of specific materials and locations were identified | 14 (2013) |
| MRSA | MRSA was isolated from the environment and hands, indicating the existence of a secondary reservoir | 15 (2013) |
| VRE | Unrecognized colonization and/or the aerosolization of <i>enterococci</i> with inadequate cleaning lead to environmental contamination | 8 (2013) |
| <i>C. difficile</i> | Evidence that the contaminated surface environment is important in transmission of <i>C. difficile</i> | 16 (2013) |
| <i>Acinetobacter</i> | <i>A. baumannii</i> infection rate in the renovated ICU significantly decreased | 17 (2013) |
| Bacteria resistant to β -lactams | Identical strains carrying the same resistance genes were present in both patients and the hospital environment | 18 (2013) |
| <i>P. aeruginosa</i> | Genotyping of isolates revealed a clonal relationship between patient and water isolates | 19 (2014) |
| <i>P. aeruginosa</i> | Hospital waste systems act as a reservoir | 20 (2012) |

이지만, 국내의 경우 선진 외국에 비해 의료인이 담당하고 있는 환자 수가 많고, 의료 공간이 협소하며, 교육이 충분하지 못한 보호자가 같이 있는 현실을 감안하면 병원환경의 관리도 간과할 수 없는 부분이다.

환경관리는 모든 환경요인을 관리하는 넓은 의미이지만, 여기서는 미생물에 오염된 병원환경의 감염관리에 대해 알아보고자 한다. 환경감염 관리의 기본적인 것인 환경을 물리적으로 깨끗하게 유지하는 것으로 환경에 존재하는 미생물을 완전히 제거하기는 어려우나 지속적인 관리로 감염의 위험을 최소화하도록 노력

하여야 한다.

국내의 경우 2005년 보건복지부의 보건의료기술연구개발사업으로 개발된 환경관리지침이 있으며 주된 내용을 Table 2와 3로 정리하였다[5]. 미국 CDC에서도 환경관리지침을 제공하고 있으며 한국과 달리 미국 CDC에서는 *Legionella* spp.의 감염예방을 위해 병원 급수시설의 주기적 감시 배양은 권고하고 있지 않다[10]. 미국 CDC의 지침에서는 구체적인 항목별로 권고사항을 과학적 근거에 따라 다섯 가지 범주로 구분하여 제시하고 있지만 국내 지침에서는 세분화된 지침과 시행방법과 횟수 등에 대한 명확한 기준이 없어

Table 2. Recommendations for environmental infection control-air

| Item | Recommendations |
|---|--|
| Air-Handling Systems | Ensure that heating, ventilation, air conditioning (HVAC) filters are properly installed and maintained to prevent air leakages and dust overloads Prevent dust accumulation by cleaning air-duct grilles in accordance with facility specific procedures No use of natural ventilation in protective environment (PE) room |
| Construction and Repair of Health-Care Facilities | Implement infection-control measures relevant to construction and repair Educate both the construction team and the health-care staff in immunocompromised patient-care areas regarding the airborne infection risks associated with construction projects, dispersal of fungal spores during such activities, and methods to control the dissemination of fungal spores Surveillance for airborne environmental disease during construction to ensure the health and safety of immunocompromised patients |
| Infection-Control for PE Rooms | Minimize exposures of severely immunocompromised patients (solid organ transplant patients or allogeneic neutropenic patients) to activities that might cause aerosolization of fungal spores (vacuuming or disruption of ceiling tiles) Minimize the time that immunocompromised patients in PE are outside their rooms for diagnostic procedures and other activities Incorporate ventilation engineering specifications and dust-controlling processes in construction of new PE units |

Table 3. Recommendations for environmental infection control-water

| Items | Recommendations |
|----------------------------------|---|
| Controlling Legionnaires Disease | Apply sterile water to breathing therapy and no use of humidifier for the long time to avoid creating infectious aerosols Surveillance to detect health-care-associated Legionnaires disease, use of disinfected water for respiratory system and routine culture of water systems Use an effective biocide on a regular basis (2-4/year) and infection-control procedures for operational cooling towers Water treatment: chlorine dioxide, superheat water, UV, ozone, heavy-metal ions (copper or silver) |
| Control of Hemodialysis centers | Test regularly water in dialysis settings and repeat the test when chemical or microbiological contamination is observed Disinfect water distribution systems in dialysis settings on a regular schedule Ensure that water does not exceed the limits for microbial counts and endotoxin concentrations Storage tanks should be routinely drained and disinfected |

Table 4. Summary of major disinfectants for noncritical items or surfaces

| Method | Level | Uses |
|---------------------------------|--------------|---|
| Alcohol | Intermediate | External surfaces of equipment, such as stethoscopes, ventilators, manual ventilation bags |
| Chlorine and Chlorine Compounds | Intermediate | 1:10–1:100 dilution of 5.25–6.15% sodium hypochlorite for decontaminating blood spills |
| Iodophors | Intermediate | Medical equipment, such as hydrotherapy tanks, thermometers, and endoscopes |
| Phenolics | Low | Environmental surfaces, such as bedside tables, bedrails, and laboratory surfaces |
| Quaternary Ammonium Compounds | Low | Ordinary environmental sanitation of noncritical surfaces, such as floors, furniture, and walls. Medical equipment that contacts intact skin, such as blood pressure cuffs |

Table 5. Methods for monitoring hospital cleanliness

| Type | Method | Restriction |
|--|--|---|
| Visual Inspection | Visually assessed before and after cleaning by checklist. Evidence of visual dirt, rubbish, smears, dust, grease, blood, fingerprints, clinical waste, etc. | Subjective and only removal of dirty material Impossible to check the presence of bacteria or virus |
| Microbiological Screening | Culture for microbial hygiene assessment of environment Culture for detecting bacterial pathogens in the environment | Time and resource consuming Difference with regard to methods and interpretation criteria |
| Fluorescent Marker | Invisible fluorescent marker applied to target standardized high-touch surface in hospital rooms before cleaning | Inadequate correlation of optimal cleaning when fluorescent marker is over-dried |
| Adenosine Triphosphate (ATP) Bioluminescence | Measurement of the amount of light generated by ATP, which organic material contains | Require Luminometer False positive by Food and drink residues, disinfectant, microfiber, dead bacteria Standardization required |

추가 보완이 필요하겠다.

병원환경에 소독제를 정기적으로 사용할 필요성에 대해서는 여러 의견이 있지만 미국 CDC는 청진기나 혈액투석기 같은 의료기구뿐 아니라 병실바닥 같은 병원환경에 소독제를 정기적 소독이 필요한 이유를 정리하고, 오염된 부분은 낮은 수준이나 중간 수준의 소독제를 사용하여 주기적으로 청소할 것을 권고하고 있다[21]. 병원환경에 사용할 수 있는 주요 소독제는 Table 4에 정리하였다[21].

환경관리를 위해 소독제를 선택할 때에는 무조건 높은 수준의 소독제를 선택하는 것이 아니라 환경 및 인체에 미치는 영향, 세척의 빈도와 강도, 환자의 위생상태, 오염의 정도 및 분변에 있는 병원균 제거 등을 고려해야 한다. 또한 의

료관련 감염의 병원체로 최근 주목 받고 있는 *C. difficile*와 Norovirus처럼 일반적인 소독제에 의해서는 제거가 어려운 세균도 있으며, 소독제 사용 증가에 따른 소독제 내성균의 출현 및 확산 등도 고려하여 소독제를 선택해야 한다[22].

전통적인 소독제 외에도 에어로졸화된 과산화수소수, UV radiation 등을 이용한 방법도 있다 [23,24]. 외국에서는 적극적 감시배양으로 무증상의 보균자를 찾고, 환자피부를 chlorhexidine을 이용하여 매일 소독하는 적극적인 감염원의 관리를 시도하고 있다[25].

3. 병원환경관리에서의 미생물 검사실의 역할

미생물 검사실은 의료관련감염 및 주요 내성세균의 감시, 원내 집단감염 발생 시 역학조사,

다제내성균의 보균자감시 등 감염관리에 중요한 역할을 수행해 왔으며 환경관리를 위한 감시배양도 시행하고 있다. 원칙적으로 공기, 물, 환경표면에 대한 정기적인 미생물검사는 시행하지 않으며, 유행이 발생했을 때 원인을 찾기 위해 역학조사의 한 부분으로 미생물 검사를 시행하거나, 오염된 표면의 오염 정도와 청결 도를 평가하기 위해 미생물 검사를 시행하여야 한다[5].

공기, 물, 환경표면의 검사는 비교할 만한 표준 검사방법이 있어야 하고, 이에 대한 충분한 기술이 있어야 하며, 배양 방법에 따른 적절한 장비나 배지가 필요하다. 미생물의 공기오염 측정을 위해서는 대용량 공기채집기를 이용하고, 수질 오염을 평가하기 위해서는 적절한 증식 배지와 배양 조건을 선택해야 한다[5]. 또한 경우에 따라서는 환경에서 배양된 세균과 환자 검체에서 배양된 세균의 비교가 유용할 수 있으며, 가능하다면 species 수준까지 분석해야 한다[5].

미국 CDC는 환경관리의 평가수준을 기본(level I)과 심화(level II)로 나누었으며, level II에 적용하는 행위의 직접관찰, 미생물 배양검사, 형광표지, ATP 측정 같은 평가방법을 Table 5와 같이 소개하고 있으므로 각각의 제한점을 고려하여 평가방법을 선택해야 하겠다[26]. 미생물 배양검사는 환경의 청결도를 평가하거나 환경에 존재하는 병원균을 검출하기 위해 흔히 고려되는 방법이나, 표준화된 방법과 해석에 대한 합의가 부족하고, 시간과 자원이 많이드는 제한 점이 있다. 따라서 MRSA, VRE, 다제내성 그람음성 세균, *Salmonella* spp., *C. difficile* 같은 중증감염이나 감염의 집단발생의 위험이 있는 표지 미생물의 존재를 확인하는 것이 좀더 효율적이라 생각된다.

Conclusion

지금까지는 병원균에 오염된 환경이 병원감염의 어떤 역할을 하는 지에 대해 간과되어 왔고, 환경배양을 위한 노력은 임상미생물검사실과 감염관리실의 자원낭비이고 환자와 의료진에게 잘못된 공포심만 일으킬 수 있다고 생각되어 온 것도 사실이다. 하지만 이제는 환경에 존재하는 병원균 관리의 중요성을 다시 한번 검토해 보고 이

를 위한 효율적이고 실현 가능한 전략을 고민해야 하겠다.

References

1. CDC. CDC web sites on CDC/NHSN surveillance definitions for specific types of infections. http://www.cdc.gov/nhsn/pdfs/pscmanual/17pscnosinfdef_current.pdf (Updated on January 2014).
2. WHO. WHO web sites on Health care-associated infections fact sheet. http://www.who.int/gpsc/country_work/gpsc_ccisc_fact_sheet_en.pdf (Updated on 2013).
3. CDC. CDC web sites on Antibiotic resistance threats in the United States, 2013. www.cdc.gov/drugresistance/threat-report-2013/pdf/ar-threats-2013-508.pdf (Updated on 2013).
4. Weinstein RA. Epidemiology and control of nosocomial infections in adult intensive care units. *Am J Med* 1991;91:179S-84S.
5. Ministry of health and welfare. Hospital infection prevention control guidelines. <http://www.bokjitime.com/board-read.do?boardId=officialPublications&boardNo=120050906161326&command=READ&page=10&categoryId=1318902079600> (2005.3.31).
6. Otter JA, Yezli S, French GL. The role played by contaminated surfaces in the transmission of nosocomial pathogens. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2011;32:687-99.
7. Morgan DJ, Rogawski E, Thom KA, Johnson JK, Perencevich EN, Shardell M, et al. Transfer of multidrug-resistant bacteria to healthcare workers' gloves and gowns after patient contact increases with environmental contamination. *Crit Care Med* 2012;40:1045-51.
8. Muzslay M, Moore G, Turton JF, Wilson AP. Dissemination of antibiotic-resistant enterococci within the ward environment: the role of airborne bacteria and the risk posed by unrecognized carriers. *Am J Infect Control* 2013;41:57-60.
9. Munoz-Price LS, Fajardo-Aquino Y, Arheart

- KL, Cleary T, DePascale D, Pizano L, et al. Aerosolization of *Acinetobacter baumannii* in a trauma ICU*. *Crit Care Med* 2013;41:1915-8.
10. CDC. CDC web sites on Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. http://www.cdc.gov/hicpac/pdf/guidelines/eic_in_hcf_03.pdf (Updated on 2003)
11. Weber DJ and Rutala WA. Understanding and preventing transmission of healthcare-associated pathogens due to the contaminated hospital environment. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2013;34:449-52.
12. Tan TY, Tan JS, Tay H, Chua GH, Ng LS, Syahidah N. Multidrug-resistant organisms in a routine ward environment: differential propensity for environmental dissemination and implications for infection control. *J Med Microbiol* 2013;62:766-72.
13. Barbut F, Yezli S, Mimoun M, Pham J, Chaouat M, Otter JA. Reducing the spread of *Acinetobacter baumannii* and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* on a burns unit through the intervention of an infection control bundle. *Burns* 2013;39:395-403.
14. Faires MC, Pearl DL, Berke O, Reid-Smith RJ, Weese JS. The identification and epidemiology of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and *Clostridium difficile* in patient rooms and the ward environment. *BMC Infect Dis* 2013;13:342.
15. Rocha LA, Marques Ribas R, da Costa Darini AL, Gontijo Filho PP. Relationship between nasal colonization and ventilator-associated pneumonia and the role of the environment in transmission of *Staphylococcus aureus* in intensive care units. *Am J Infect Control* 2013;41:1236-40.
16. Rutala WA and Weber DJ. Role of the hospital environment in disease transmission, with a focus on *Clostridium difficile*. *Health Inf* 2013;18:14-22.
17. Nah SS, Park YH, Chung JW, Yoo S, Hong SB, Lim CM, et al. *Acinetobacter baumannii* infection was decreased by the structural renovation of a medical intensive care unit. *J Crit Care* 2013;28:328-34.
18. Betteridge T, Merlino J, Natoli J, Cheong EY, Gottlieb T, Stokes HW. Plasmids and bacterial strains mediating multidrug-resistant hospital-acquired infections are coresidents of the hospital environment. *Microb Drug Resist* 2013;19:104-9.
19. Johansson E, Welinder-Olsson C, Gilljam M. Genotyping of *Pseudomonas aeruginosa* isolates from lung transplant recipients and aquatic environment-detected in-hospital transmission. *AP-MIS* 2014;122:85-91.
20. Breathnach AS, Cubbon MD, Karunaharan RN, Pope CF, Planche TD. Multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* outbreaks in two hospitals: association with contaminated hospital wastewater systems. *J Hosp Infect* 2012;82:19-24.
21. CDC. CDC web sites on Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities. http://www.cdc.gov/hicpac/pdf/guidelines/Disinfection_Nov_2008.pdf (Updated on December 2008).
22. Tumah HN. Bacterial biocide resistance. *J Chemother* 2009;21:5-15.
23. Andersen BM, Rasch M, Hochlin K, Jensen FH, Wismar P, Fredriksen JE. Decontamination of rooms, medical equipment and ambulances using an aerosol of hydrogen peroxide disinfectant. *J Hosp Infect* 2006;62:149-55.
24. Rutala WA, Gergen MF, Weber DJ. Room decontamination with UV radiation. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2010;31:1025-9.
25. Vernon MO, Hayden MK, Trick WE, Hayes RA, Blom DW, Weinstein RA; Chicago Antimicrobial Resistance Project (CARP). Chlorhexidine gluconate to cleanse patients in a medical intensive care unit: the effectiveness of source control to reduce the bioburden of vancomycin-resistant enterococci. *Arch Intern Med* 2006;166:306-12.
26. CDC. CDC web sites on Options for evaluating environmental cleaning. <http://www.cdc.gov/HAI/pdfs/toolkits/Environ-Cleaning-Eval-Toolkit12-2-2010.pdf> (Updated on December 2010).