



ATP 측정과 미생물 배양검사를 이용한 카바페넴내성장내세균 보유환자 병실 환경 오염 및 환경 소독 효과 평가

김지은^{1,2} · 정재심¹ · 김미나³ · 박은숙⁴

¹울산대학교 산업대학원 임상전문간호학, ²서울아산병원 간호부, ³울산대학교 의과대학 서울아산병원 진단검사의학과, ⁴세브란스병원 감염관리실

Evaluation of Environmental Contamination and Disinfection Effects in Patient Rooms with Carbapenem-Resistant *Enterobacteriaceae* Using ATP Measurements and Microbial Cultures

Kim, Ji Eun^{1,2} · Jeong, Jae Sim¹ · Kim, Mi Na³ · Park, Eun Suk⁴

¹Department of Clinical Nursing, Graduate School of Industry, University of Ulsan, Seoul; ²Department of Nursing, Asan Medical Center, Seoul; ³Department of Diagnostic Medicine, University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center, Seoul; ⁴Department of Infection Control, Severance Hospital Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: To determine the extent of environmental contamination and the effect of disinfection around patients with carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae* (CRE) using adenosine triphosphate (ATP) measurements and microbial culture tests. **Methods:** The subjects of this study were 10 patients hospitalized in a single room due to CRE from April 13 to 21, 2021. One hundred and sixty samples were collected using cotton swabs from the patients' environment including the surface and drain of sinks and toilet seats before and after disinfection of the room after discharge. Twenty-one samples were collected from the nurses' personal digital assistants (PDAs), keyboards, and computer mice before disinfection. The relative light units (RLUs) and CRE colony-forming units (CFU) of 181 samples were measured using ATP test equipment and chrome agar plates, respectively. **Results:** The highest RLUs were measured at the sink drains before and after disinfection. Four CRE samples from the sink drains (2), sink surface (1), and toilet bowl (1) before disinfection were cultured. Based on the failure criteria (≥ 250 RLU/cm² and ≥ 1 CFU/100 cm²), 90 % and 50 % of the samples from the drain exceeded the failure criteria before and after disinfection, respectively. In the culture tests, CRE was not detected after disinfection. **Conclusion:** According to the RLU and CFU measurements of drain samples, disinfection was not effective. Thus, improvements in the disinfection methods of drains, as well as more efficient and systematic environmental decontamination and disinfection evaluation tools, are needed to accurately evaluate the effectiveness of disinfection in various places.

Key Words: Carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae*; Disinfection; Adenosine Triphosphate

국문주요어: 카바페넴내성장내세균, 소독, 아데노신3인산

Corresponding author: Jeong, Jae Sim

Department of Clinical Nursing, Graduate School of Industry, University of Ulsan, 88 Olympic-ro 43-gil, Songpa-gu, Seoul 05505, Korea
Tel: +82-2-3010-5311 Fax: +82-2-3010-5331 E-mail: jsjeoungicp@ulsan.ac.kr, jsjeong@amc.seoul.kr

Received: October 14, 2021 Revised: November 18, 2021 Accepted: November 26, 2021

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

1. 연구의 필요성

카바페넴내성장내세균(carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae*, CRE)은 여러 계열의 항생제에 내성을 가지므로 치료가 어렵고 특히 CRE에 의한 감염증은 내성이 없는 장내세균속감염증과 비교하여 사망률이 상당히 높아 전세계적인 문제로 대두되고 있다[1]. 국내 CRE는 2017년 6월 3일부터 전수감시 감염병으로 지정되었고 전수감시로 전환된 이후 발생 건수는 2017년 5,717건에서 2019년 15,364건으로 증가하였다. CRE 중 카바페넴분해효소생성장내세균(carbapenemase-producing *Enterobacteriaceae*, CPE)의 비율은 2018년 68.7%에서 2019년 74.4%로 빠른 속도로 증가하는 양상을 보인다[2,3].

CRE의 전파 감소를 위한 감염관리 방법으로 미국의 질병통제예방센터(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)에서는 손위생, 접촉주의, 환자 격리, 환경 소독, 적극적 감시 배양을 권고하고 있다[4]. CRE는 습한 환경뿐만 아니라 건조한 환경에서 장시간 생존할 수 있고 다른 장내세균보다 병원 환경 오염과 더 밀접한 관련이 있으며 전파를 일으켜 감염관리에 문제가 된다[5].

CRE는 특히 습기가 있는 병원환경에서 많이 분리되었는데, 체계적 문헌고찰 연구[5]에 따르면 주로 분리되는 곳은 하수구, 싱크대 표면, 수전, 물, 고무 세발 대야, 스마트 터치 싱크대 수도, 정수기, 샤워 장비, 변기/청소솔이였으며 습기 있는 환경으로부터 환자가 CRE를 획득할 가능성은 1.6-26.7%로 습기나 물이 있는 환경이 주요 오염원으로 확인되었다. 습한 환경 이외에 건조한 다빈도 접촉 표면인 침대 시트의 베개 주변 부분, 몸통 부분, 다리 부분과 침상 테이블, 전통식 약물주입 장치에서도 CRE가 분리되었다[6].

환경의 CRE 오염 여부를 평가하기 위한 방법으로 형광표지, 미생물 배양검사, adenosine triphosphate (ATP) 측정, 오염 정도를 직접 관찰하는 평가방법이 있다[7]. 직접 관찰법과 형광표지 검사는 환경 표면의 소독 정도만 평가할 수 있을 뿐 실제 청결도를 측정하는데 사용할 수 없다는 단점이 있다[7]. 미생물 배양검사는 환경의 청결도를 평가하거나 환경에 존재하는 병원균을 검출하기 위해 흔히 고려되는 방법이다[7]. ATP 측정은 유기물이 함유하고 있는 ATP에 의해 발생하는 빛의 양을 측정하는 것으로 측정 시간이 빠르고 자원이 상대적으로 적게 드는 장점이 있다[7]. 그러나 임상 환경에서 미생물 오염 수준을 정의하고 소독 효과를 평가하는 방법이 아직 객관적으로 정립되지 않았다[7, 8].

선행 연구들에서 CRE가 습한 환경에서 분리된다는 보고는 많으나 실제로 환자 주변의 다빈도 접촉 표면을 대상으로 한 연구는 부족하다. 또한 환자 주변 환경 표면에서 CRE 오염 여부와 정도를 검

사하는 방법이 다양하고 표준화되어 있지 않다. 국내에서는 CRE가 점차 증가하고 있음에도 불구하고 환경관리에 대한 논문이 매우 부족하며, 특히 임상 실무 환경관리에 있어서 간호사의 역할이 매우 중요하나 실제 간호사가 주도하여 진행된 간호 연구는 전무하다. 이에 본 연구는 임상 실무 간호사가 직접 주도하여 ATP 측정과 미생물 배양 검사를 시행하고 CRE 보유 환자 주변 환경 오염 범위 및 소독의 효과를 파악하여 ATP 측정과 미생물 배양 검사 방법의 효용성을 비교하고 CRE 확산을 줄이기 위한 체계적인 전략과 표준화된 CRE 환경 검사 방법을 제안하고자 하였다.

2. 연구목적

본 연구의 구체적 목적은 다음과 같다.

- 1) ATP 측정법과 미생물 배양 검사를 이용하여 CRE 보유환자 병실의 각 대상표면에서 환경 소독 전후 오염도의 차이를 비교한다.
- 2) 병원 환경 오염 조사 시 ATP 측정법과 미생물 배양 검사 간의 환경 소독 후 청결도 판정기준 실패율을 비교한다.

연구 방법

1. 연구설계

CRE 보유 환자의 병실 환경 표면 8곳과 병동 3곳에서 ATP 측정과 Chrome agar 배지를 통한 미생물 배양 검사 2가지 방법을 이용하여 환경 오염 정도와 소독 효과를 평가한 관찰조사 연구이다.

2. 연구대상

서울시에 소재한 2,715병상 상급종합병원으로 CRE 보유 환자는 1인실 또는 다인실 코호트 격리와 접촉주의를 시행하고 있다. 연구 대상 병원에서 CRE가 많이 분리되는 소화기내과, 종양내과, 간이식외과, 혈액종양내과 병동을 대상으로 2021년 3월 4째 주부터 1인실에 CRE로 격리하여 입원하고 있는 환자의 병실 중 CRE 분리 후 48시간이 지난 병실 10개를 순차적으로 표출하였다. 선행연구를 참고하여 보호자가 주로 접촉하는 표면은 제외하고 환자가 주로 접촉하는 표면으로 침상 테이블, 매트리스, 침대 난간, 병실 문 손잡이, 세면대 표면, 배수구, 변기 시트, 화장실 난간의 8군데를 선정하였다[6,7]. 병실 외에 대상 환자의 담당 간호사가 사용하는 환경의 오염을 확인하기 위해 한 병동당 간호사 Personal digital assistants (PDA), 스테이션 키보드, 마우스 1개씩 3군데를 선정하였다(Figure 1).

연구대상 병원의 CRE 환자 병실 관리방법은 다음과 같다. CRE가 분리되는 환자 병실에 대하여 환자와 접촉하는 주변 환경 및 기구(정맥주사 풀대, 정맥주입 펌프)는 매일 1회 이상 4급 암모니아 용



Figure 1. Target surface of the hospital room: (A) Hospital room, (B) Washroom, and (C) Door handl.

합물 등의 환경 소독제로 청소한다. 환자 퇴실 시에는 환경 소독 전담팀이 4급 암모늄 화합물 등으로 대상 표면 별로 정해 놓은 체크리스트에 맞추어 정해진 순서대로 환경 소독을 시행한다. CRE중 CPE가 분리된 환자의 병실은 환경 소독에 더하여 소독 전담팀이 자체 모니터링 방법으로 병실 몇 군데에서 환경 표면의 ATP를 측정하여 청소의 적절성을 평가하고, 청소 효과가 부적합할 경우 재소독을 시행한다. 일반적인 소독 시행 후에는 과산화수소 연무 소독 혹은 자외선 소독을 추가로 실시한다. 감염관리실에서는 주기적으로 병실의 소독 상태를 확인하기 위하여 형광 물질을 이용하여 확인하고 소독 전담팀에 결과를 피드백한다.

3. 연구 도구

1) 미생물 배양검사

비다공성 표면 환경배양 지침[9]에 따라 연구자가 멸균 면봉 1개에 멸균 생리식염수를 충분히 적셔서 환경 표면마다 약 100 cm² 면적에 가로 'S' 모양으로 겹치게 문지르고, 면봉을 돌려 다시 세로 'S' 모양으로 겹치게 문지르며 멸균 면봉이 30° 정도 휘도록 손잡이를 지긋이 누르며 면봉을 돌려 고르게 채취하였다. 침상 테이블, 매트리스, 마우스, 침대 난간은 가운데 윗부분, 화장실 난간, 병실 문 손잡이는 바깥쪽 전면부, 세면대는 가운데 표면, 변기는 시트 가장자리 바로 아래, 간호사 PDA는 화면 전체, 스테이션 키보드는 오른쪽 숫자를 포함한 자판기 윗부분에 대하여 검체를 채취하였다.

채집된 검체는 수송배지인 transport media tryptic soy broth (BBL™ Trypticase™ Soy Broth, K·MEDI, Gyeonggi-do, Korea)에 넣어 연구대상 병원의 미생물 검사실로 이송하였다. 미생물 검사실에서 tryptic soy broth로 운반된 검체를 Chrome agar에 세토타심 1 mg/L 과 메로페넴 1 mg/L을 섞어 만든 배지(HiCrome™ CarbaResist Agar Base, K·MEDI, Gyeonggi-do, Korea)에 접종하여 37°C에서 1일간 배양한 후 결과를 확인하였다. 배지에서 1 colony-forming units (CFU) 이상 자란 균주는 MacConkey agar plate에 계대 배양하여 말디토프 질량

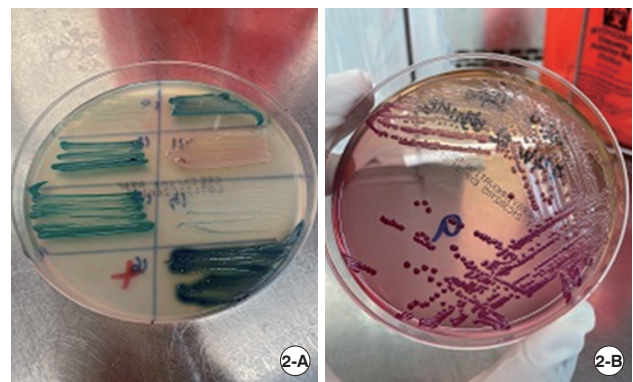


Figure 2. Bacteria culture test: (A) Carbapenem-resistant organism on Chrom agar plate, (B) Carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae* on MacConkey agar plate.

분석법(Matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry, MALDI-TOF; Microflex LT, Bruker Daltonics, Bremen, Germany)을 이용하여 균종을 확인하였다. MacConkey agar plate에 균 도말 시 순수한 균집락(colony)을 분리하기 위하여 4분할법(quadrant streaking)을 사용하였으며, 배양된 균주 수는 'a few, rare, moderate, many'로 분류하였다(Figure 2).

2) ATP 측정 검사

미생물 배양검사를 시행한 병실 표면 옆 같은 넓이의 100 cm² 면적에 ATP 면봉 Clean-Trace™ Surface ATP swab test (3M Health Care, Conway, United States)으로 문지른 후 면봉을 하부의 시약과 잘 반응하도록 본체에 삽입하여 흔들어 준 후, Clean-Trace™ Luminometer LX25 (3M Health Care, Conway (AR), United States)에 넣어서 기계에 표시된 relative light units (RLU) 측정값을 확인하였다. 면봉을 누르는 압력은 면봉이 30° 정도 휘도록 손잡이를 지긋이 누르며 왕복 2회 지그재그 선을 그리듯이 면봉을 돌리며 고르게 채취하였다. 병실 문 손잡이는 바깥쪽 11×4 cm, 화장실 난간은 바깥쪽 20×5 cm,

마우스는 가운데 전면부 7×12 cm, PDA는 가운데 전면부 8×14 cm을 측정하였다. 화장실 배수구 내부는 배수구 입구에서 면봉이 들어갈 수 있는 10 cm까지 측정하였고 채취한 범위에 대한 표면적을 계산한 결과 병실 문 손잡이는 44 cm², 화장실 난간은 100 cm², 마우스는 42 cm², PDA는 56 cm², 배수구 내부는 50 cm²이었다. 표면적을 100 cm²로 환산하여 대상 표면별 RLU값을 산출하였다.

4. 자료수집

자료수집 기간은 2021년 4월 13일부터 21일까지였다. 연구 시행 전 CRE 환자가 입원한 1인실 2개를 대상으로 사전 조사를 수행하여 검체 채집 방법, 수송 배지와 배양 배지의 적절성, 배양 결과, 검체 채집 시간, 소요시간과 연구인력의 적절성 등을 확인하였다. 사전 조사 결과, 병실 두 군데 모두에서 소독 전 배수구, 세면대 각 1건, 소독 후 배수구, 세면대 각 1건씩 총 8건의 카바페넴내성균이 분리되었으며 수송 배지와 배양 배지에 이상이 없음을 확인하였다.

CRE 환자가 퇴실한 후 병실을 소독하는 환경 소독 전담팀에 당일 퇴원 환자 병실의 명단을 연락 받아서 퇴실 후 병실의 퇴실 소독이 이루어지기 전에 병실을 방문하였다. 연구자는 병실로 들어가 손 위생을 시행하고 멸균 장갑과 격리 가운을 착용한 상태에서 병실 표면 8군데에 대하여 검사를 시행하였다. 소독 전담팀이 일반적인 병실 환경 소독을 마치면 과산화수소나 Ultraviolet (UV) 장비를 이용한 병실 전체 소독이 이루어지기 전에 연구자가 다시 방문하여 동일한 환경 표면에 대하여 같은 방법으로 소독 후 2차 검사를 시행하였다. 연구대상 병실 입원 환자의 담당 간호사가 자주 접촉하는 병동 표면 3군데는 소독 전의 1차 검사만 시행하여 총 ATP 검사 181건, 미생물 배양검사 181건의 검사를 시행하였다.

환경소독의 적절성을 평가하기 위하여 미생물 배양검사 결과는 선행연구[38]를 참고하여 1 CFU를 기준치 값으로 사용하여 환경 소독 이후 1 CFU/100 cm² 이상 시 '실패', 1 CFU/100 cm² 미만 시 소독 '통과'로 정의하며, ATP 검사 결과는 제조사의 권장 기준치 값 250 RLU/100 cm²을 사용하여 ATP 250 RLU/100 cm² 이상 시 '실패', 250 RLU/100 cm² 미만 시 '통과'로 정의하였다. 청결도 판정기준 실패율은 각 대상 표면에서 환경 소독 이후 CFU 측정치 1 CFU/100 cm² 이상, ATP 측정치 250 RLU/100 cm² 이상을 기준으로 환경 소독에 실패한 정도를 나타낸다.

5. 자료분석 방법

본 연구에서 수집된 자료는 SPSS/WIN 24.0을 이용하여 다음과 같이 분석하였다.

1) RLU/cm²와 CFU/cm²값은 빈도와 백분율, 평균과 표준편차로

기술하였다.

- 2) 환경 소독 전후의 RLU/cm²와 CFU/cm²에 차이가 있는지 확인하기 위해 윌콕슨 부호-순위 검정(Wilcoxon signed-rank test)을 이용하였다.
- 3) ATP 측정과 미생물 배양검사의 소독 전 후 청결도 판정기준 실패율 비교는 맥네마의 카이제곱 검정(McNemar's χ^2 test)으로 분석하였다.

6. 윤리적 고려

본 연구는 연구대상 병원의 임상연구심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 심의면제(면제확인번호:2021-0840)를 받은 후, 대상 병원의 간호부와 병동 수간호사에게 자료수집에 대한 허락을 구한 후 시행하였다.

연구 결과

1. 소독 전후 ATP, CFU 측정값 비교

소독 전 ATP 평균 RLU값은 배수구 22,578.70 RLU/100 cm², 매트리스 2,308.90 RLU/100 cm², 침상 테이블 648.10 RLU/100 cm², 변기 시트 400.30 RLU/100 cm², 침상 난간 279.90 RLU/100 cm², 세면대 표면 235.50 RLU/100 cm², 화장실 난간 166.90 RLU/100 cm², 병실 문 손잡이 115.46 RLU/100 cm² 순으로 배수구가 가장 높았다. 소독 후 ATP 평균 RLU 값은 배수구 18,767.45 RLU/100 cm², 화장실 난간 140.90 RLU/100 cm², 매트리스 90.60 RLU/100 cm², 침상 테이블 83.80 RLU/100 cm², 변기 시트 56.70 RLU/100 cm², 세면대 표면 44.80 RLU/100 cm², 침상 난간 43.00 RLU/100 cm², 병실 문 손잡이 33.44 RLU/100 cm² 순으로 소독 전과 마찬가지로 배수구가 가장 높았다. 소독 여부와 상관없이 7개 병동 간호사 스테이션 각 3곳에서 시행한 ATP 평균 측정값은 키보드 367.57 RLU/100 cm², 마우스 158.70 RLU/100 cm², PDA 28.40 RLU/100 cm² 순으로 키보드가 가장 높았다. 미생물 배양 검사에서 CRE가 1 CFU/100 cm² 이상 나온 대상 표면은 소독 전 배수구가 전체 10건 중 2건(2건 모두 'many')으로 가장 많았고, 변기 시트에서 전체 10건 중 1건('many'), 세면대 표면에서 전체 10건 중 1건('moderate')으로 배수구와 변기 시트에서 균주가 가장 많이 배양되었다. 소독 전후 ATP 측정값은 침상 난간($p=.009$), 매트리스($p=.009$), 병실 문 손잡이($p=.005$), 세면대 표면($p=.017$), 변기 시트($p=.011$)에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 소독 전후 미생물 검사에서 CRE가 분리된 건수에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 1).

Table 1. Adenosine Triphosphate Bioluminescence Measurements and Carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae* Counts Before and After Disinfection at Target Surfaces of Patient Rooms, and Values only Before Disinfection at Target Surfaces of Nurse Stations (N = 181)

Surfaces	Categories	ATP (RLU/100 cm ²)		CRE (≥ 1 CFU/100 cm ²)	
		Mean ± SD	p	n (%)	p
Bedside table (n = 10)	Before	648.10 ± 680.68		0 (0.0)	
	After	83.80 ± 56.45	.009	0 (0.0)	
Mattress (n = 10)	Before	2,308.90 ± 2,817.28		0 (0.0)	
	After	90.60 ± 80.76	.009	0 (0.0)	
Bedside rail (n = 10)	Before	279.90 ± 401.10		0 (0.0)	
	After	43.00 ± 19.00	.066	0 (0.0)	
Door handle (n = 10)	Before	115.46 ± 62.79		0 (0.0)	
	After	33.44 ± 38.69	.005	0 (0.0)	
Washbasin surface (n = 10)	Before	235.50 ± 208.51		1 (10.0) ^{††}	
	After	44.80 ± 51.25	.017	0 (0.0)	.317
Drain (n = 10)	Before	22,578.70 ± 34,531.53		2 (20.0) ^{††}	
	After	18,767.45 ± 29,413.72	.169	0 (0.0)	.157
Toilet sheet (n = 10)	Before	400.30 ± 533.94		1 (10.0) ^{††}	
	After	56.70 ± 67.93	.011	0 (0.0)	.317
Toilet handrail (n = 10)	Before	166.90 ± 126.64		0 (0.0)	
	After	140.90 ± 141.98	.508	0 (0.0)	
Total (n = 80)	Before	26,733.76 ± 35,271.29		4 (5.0)	
	After	19,260.69 ± 29,426.75	.022	4 (5.0)	
PDA (n = 7)	Before	28.40 ± 10.92		0 (0.0)	
Mouse (n = 7)	Before	158.70 ± 118.11		0 (0.0)	
Keyboard (n = 7)	Before	367.57 ± 209.22		0 (0.0)	

^{††}Moderate; ^{†††}Many.

ATP = Adenosine Triphosphate; RLU = Relative Light Units; CRE = Carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae*; CFU = Colony-forming Units.

2. 소독 전후 ATP와 CFU의 청결도 판정기준 실패율 비교

각 대상 표면에서 ATP 청결도 판정기준 실패율은 병실 문 손잡이 0건(0.0%), 화장실 난간 2건(20.0%), 침상 난간 3건(30.0%), 변기 시트 3건(30.0%), 세면대 표면 4건(40.0%), 침상 테이블 6건(60.0%), 매트리스 7건(70.0%), 배수구 9건(90.0%)로 병실 문 손잡이가 가장 낮았고, 배수구가 가장 높았다. 소독 후에도 배수구 5건(50.0%)과 화장실 난간 1건(10.0%)은 기준을 통과하지 못하였다. 소독 전후 ATP 청결도 판정기준 실패율은 침상 테이블($p = .030$), 매트리스($p = .016$)에서 유의한 차이가 있었다. 소독 전 각 대상 표면에서 CFU 청결도 판정기준 실패율은 세면대 표면 1건(10.0%), 배수구 2건(20.0%), 변기시트 1건(10.0%)으로 배수구가 가장 높았으며 소독 전후 CFU 청결도 판정기준 실패율은 유의한 차이가 없었다(Table 2).

3. 환경에서 분리된 CRE의 특성

환자 두명의 병실에서 4건이 분리되었는데, 환자 A 병실에서 배수구 1건, 세면대 표면 1건, 환자 B 병실에서 배수구 1건, 변기 시트 1건이 분리되었다. 균종은 4건 모두 *Klebsiella pneumoniae*로 나타났고 환자에게서 분리된 CRE 균종과 일치하였다(Table 2).

Table 2. Comparison of Failure rate at Target Surfaces Before and After Disinfection based on Adenosine Triphosphate Bioluminescence Measurements and Colony-forming Units criteria (N = 160)

Surfaces	Categories	Number (%) of failure			
		ATP (≥ 250 RLU/cm ²)		CRE (≥ 1 CFU/ 100 cm ²)	
		n (%)	p	n (%)	p
Bedside table (n = 10)	Before	6 (60.0)		0 (0.0)	
	After	0 (0.0)	.031	0 (0.0)	
Mattress (n = 10)	Before	7 (70.0)		0 (0.0)	
	After	0 (0.0)	.016	0 (0.0)	
Bedside rail (n = 10)	Before	3 (30.0)		0 (0.0)	
	After	0 (0.0)	.250	0 (0.0)	
Door handle (n = 10)	Before	0 (0.0)		0 (0.0)	
	After	0 (0.0)		0 (0.0)	
Washbasin surface (n = 10)	Before	4 (40.0)		1 (10.0)*	
	After	0 (0.0)	.125	0 (0.0)	1.000
Drain (n = 10)	Before	9 (90.0)		2 (20.0)*	
	After	5 (50.0)	.125	0 (0.0)	.500
Toilet sheet (n = 10)	Before	3 (30.0)		1 (10.0)*	
	After	0 (0.0)	.250	0 (0.0)	1.000
Toilet handrail (n = 10)	Before	2 (20.0)		0 (0.0)	
	After	1 (10.0)	1.000	0 (0.0)	
Total (n = 10)	Before	34 (42.5)		4 (40.0)	
	After	6 (7.5)	.301	0 (0.0)	.659

*All four CRE strains were found to be *Klebsiella pneumoniae* and matched with CRE strains isolated from patients.

ATP = Adenosine Triphosphate; RLU = Relative Light Units; CRE = Carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae*; CFU = Colony-forming Units.

논 의

최근 CRE 발생 건수가 증가하고 있어 한 상급 종합병원에서 ATP와 미생물 배양검사를 이용하여 CRE 보유 환자 주변 실제 CRE 존재 여부와 소독 전후 CRE 감소 정도를 확인하고 ATP 측정값과 CRE의 관계를 파악하였다.

연구결과 소독 전후의 ATP 측정치를 전체적으로 비교하였을 때 배수구가 소독 전후 평균값이 가장 높았으며 소독 후 유의한 차이가 없었다. 배수구는 소독 전에 이미 250 RLU/100 cm²을 초과하여 높은 수치를 기록하였고 소독 후 감소하는 경향을 보이고 있으나 여전히 250 RLU/100 cm²을 초과하여 소독의 효과를 입증하기 어려웠다. 제조사의 지침에 따라 ATP 250 RLU/100 cm²을 기준으로 환경 청결도를 평가하고 있으나 배수구처럼 습하고 미생물이 많이 서식하는 곳은 ATP 측정법으로 환경 오염도를 평가하기 어렵고 소독 효과를 정확하게 평가하기 위해서 ATP 보다는 미생물 배양법이 더 적절하다고 판단된다[11]. 또한 병동 스테이션의 3곳 중 키보드만 평균 RLU 250/100 cm² 이상으로 오염이 확인되었는데 의료진의 손이 자주 닿는 키보드와 같은 다빈도 접촉 표면에서 주기적인 환경 소독이 필요하다는 것을 시사한다[12].

미생물 배양검사 결과를 보면 배수구, 세면대, 변기 시트에서만 균이 자랐다. 이는 CRE가 습한 환경에서 생막(biofilm)을 형성하면 환경소독이 매우 어렵다는 선행연구[13]와 CRE가 습한 환경에서 많이 분리된다는 선행연구[5] 결과와 일치하였다. 특히 ATP 측정값과 비슷하게 배수구에서 균이 가장 많이 배양되었는데 이는 배수구와 같이 좁고 깊은 표면은 소독이 어려웠을 것이라 판단된다[13].

배수구로 인한 CPE 유행 발생으로 중재활동을 시행하였던 선행연구[14]를 보면 입원한지 48시간 이상 된 CPE 환자 방의 배수구를 매주 규칙적으로 소독하고, 환자 전실 시, 퇴실 시 소독하는 것이 CPE 전파를 감소시키는데 효과가 있다고 하였다. 연구 병원에서는 환자 전실 시, 퇴실 시 차아염소산(sodium hypochlorite, 락스®) 10배 희석액으로 배수구를 소독하고 있지만 본 연구 결과를 바탕으로 현재 시행하고 있는 배수구 소독 방법에 대한 개선과 별도의 교육과 관리가 필요할 것으로 생각된다. 또한 연구병원의 수전은 수직적 구조로 설치되어 있으나 수전 바로 아래에 배수구가 설치되어 있는 수직적 구조는 물이 바닥에서 주변으로 튀면서 CRE 전파 위험을 높인다는 선행연구[15]를 참고하여 배수구 설계를 변경하는 것에 대하여 고려할 필요가 있다.

미생물 배양검사에서 소독 전이나 후에 모두 건조한 표면(매트리스, 침상난간, 병실 문손잡이, 침상 테이블, 화장실 난간)에서는 CRE가 분리되지 않았다. 이는 환자 주변 건조한 표면 5곳(베개, 매트리스

의 사타구니, 다리부분, 주입펌프, 침상 테이블)에서 CRE 오염을 확인한 선행연구[6]와 일치하지 않는다. 하지만 환기구, 싱크대 배수구, 침대, 매트리스 린넨, 문, 창문, 카트, 선반, 인공 호흡기, 비누 받침대, 수건 등 건조한 표면을 포함하여 검체를 채취하여 싱크대 배수구와 매트리스에서 *K. pneumoniae*를 검출한 선행연구[6]의 결과와 비슷하다. 본 연구에서는 매트리스에서 균이 검출되지 않았는데 선행연구[6]에서는 매트리스 린넨에서 검체를 채취하였지만 본 연구에서는 린넨을 벗긴 매트리스에서 검체를 채취하여 비교하기 어렵다.

소독 전후 전체적인 오염도가 높지 않고 전체 CRE 분리건수도 4건으로 낮았는데 이는 CRE로 인한 유행이 발생하거나 분리율이 높은 병동에 대하여는 연구대상 병원에서 체계적인 환경관리가 이루어지고 있기 때문인 것으로 생각한다. 연구대상 병원은 올바른 소독 방법과 소독 순서에 대하여 전문적으로 교육을 받은 소독 전담팀이 체크리스트를 활용하여 소독 후 자체 모니터링을 시행하고 감염관리실의 주기적인 모니터링과 피드백을 받아 체계적인 환경관리를 시행하고 있다. 이는 환경 청소 직원에게 ATP 측정법을 통한 환경 소독 점수로 교육 중재와 피드백을 제공한 후 소독 효과가 크게 향상되었던 선행연구[17]에 근거하여 연구병원의 소독 전담팀 직원 교육에 중점을 두는 환경관리 방법과 매일 규칙적으로 환자 주변 환경을 소독하는 방법이 함께 시너지를 내어 소독 효과 향상에 영향을 미쳤을 것이라 생각된다. 본 연구는 과산화수소 연무 소독 혹은 자외선 소독과 같은 공간 소독기 적용 전 환경 소독 효과를 평가하였는데, 소독 전후 전체적으로 병실 오염도가 높지 않은 것을 확인하였다.

본 연구에서 소독 전후 ATP 감소량과 미생물 분리 감소와의 상관관계는 확인하기 어려웠는데 미생물 배양검사서 CRE가 너무 적게 분리되어 통계 검증을 하기 어려웠다. 소독 청결도 판정기준 실패율은 ATP 70%, 미생물 배양검사 30%로 ATP 측정법이 소독 실패율을 평가하는데 더 민감하다는 것을 확인하였고 ATP 측정법이 CFU 측정법보다 소독 실패율이 9% 더 높았다는 선행연구 결과와 일치하였다[18]. 선행연구[19]에 따르면 ATP는 잔류물이나 죽은 박테리아를 검출할 수 있어 미생물 배양 검사보다 더 엄격하고 병원 환경 오염을 평가하는데 실시간으로 데이터를 제공할 수 있는 장점이 있다고 하였다. 본 연구에서도 ATP 측정법은 미생물 배양검사와 비교하여 결과를 빨리 확인할 수 있고 소독 실패율을 더 민감하게 평가할 수 있으며 건조한 표면의 오염도와 소독 효과를 확인할 수 있고 직원 교육 및 피드백을 제공하는데 있어 효과적인 도구임을 확인하였다[11]. 하지만 ATP 측정값과 실제 CRE 존재 사이의 관계를 입증하기에 여러가지 제한점이 있었다. 이는 ATP는 잔류물이나 죽은 박테리아를 검출할 수 있는데 반해 CRE는 건조한 표면에서

잘 자라지 않고, 배수구와 같이 소독이 어렵고 미생물이 많이 서식하는 곳에서 ATP 측정만으로 균의 존재를 확인하기 어려운 점과 관련이 있을 것이다[12]. 따라서 전반적인 환경 소독 평가 및 소독 전담팀 직원 교육 및 피드백 제공 목적으로 ATP 측정법을 이용하는 것이 유리할 것이나, 실제 CRE의 존재를 확인하기 위해서 습한 환경에서 잘 자라는 균의 특성을 고려하여 화장실 같은 습한 환경에서 소독 평가는 미생물 배양검사 방법을 이용하여 확인하는 것이 필요할 것이다.

본 연구는 10개 병실을 대상으로 수집한 결과를 비교분석하고 있으므로 연구 결과를 일반화하기에는 제한점이 있다.

결론

CRE 환자 주변 다빈도 접촉 표면과 병동 다빈도 접촉 표면에서 ATP 측정과 미생물 배양검사를 이용하여 환경 오염도와 소독 효과를 평가하였다. 배수구에서 소독 전후 RLU 측정값이 높게 측정되었고 소독 청결도 판정기준을 통과하지 못하였으며 CRE가 가장 많이 분리되는 것으로 나타났으므로 배수구의 소독 방법의 개선이 필요하다. 병동 스테이션의 3곳 중 키보드만 청결도 판정기준을 통과하지 못하였으므로 키보드와 같은 다빈도 접촉 표면에서 주기적인 환경 소독이 필요하다. ATP 측정법이 미생물 배양검사보다 청결도 판정기준 실패율의 민감도가 높으나 실제 CRE의 존재를 확인하기 위하여 미생물 배양검사 방법을 확인하는 것이 필요하며 두가지 평가 방법의 제한점을 고려하여 소독의 효과를 정확히 평가하기 위해서 표준화된 환경 오염도 및 환경 소독 평가 도구 개발이 필요하다.

연구결과와 논의를 바탕으로 다음과 같이 제언한다. 첫째, CRE 환자 주변 환경 오염도와 환자의 균 보유/감염 여부, 보행 정도, 진단명 등의 개인적인 특성과 관계가 있는지 확인하기 위한 추가연구가 필요하다. 둘째, 표본 대상수를 늘린 다기관 연구가 필요하다.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declared no conflict of interest.

AUTHORSHIPS

KJY, JJS, KMN & PES contributed to the conception and design of this study; KJY collected data; KJY and JJS performed the statistical analysis and interpretation; KJY drafted the manuscript; KJY, JJS, KMN & PES critically revised the manuscript; JJS supervised the whole study

process. All authors read and approved the final manuscript.

REFERENCES

1. Falagas ME, Tansarli GS, Karageorgopoulos DE, Vardakas KZ. Deaths attributable to carbapenem-resistant Enterobacteriaceae infections. *Emerging Infectious Diseases*. 2014;20(7):1170. <https://doi.org/10.3201/eid2007.121004>
2. Go EB, Ju SJ, Hwang KJ, Park SD. Distributions of carbapenem-resistant Enterobacteriaceae (CRE) in Korea, 2019. *Public Health Weekly Report*. 2020;13(47):3348-3355.
3. Go EB, Ju SJ, Hwang KJ, Park SD. Distributions of carbapenem-resistant Enterobacteriaceae (CRE) in Korea, 2018. *Public Health Weekly Report*. 2019;12(45):1977-1983.
4. Havill NL, Boyce JM, Otter JA. Extended survival of carbapenem-resistant Enterobacteriaceae on dry surfaces. *Infection Control & Hospital Epidemiology*. 2014;35(4):445-447. <https://doi.org/10.1086/675606>
5. Kizny Gordon AE, Mathers AJ, Cheong EY, Gottlieb T, Kotay S, Walker AS, et al. The hospital water environment as a reservoir for carbapenem-resistant organisms causing hospital-acquired infections—a systematic review of the literature. *Clinical Infectious Diseases*. 2017;64(10):1435-1444. <https://doi.org/10.1093/cid/cix132>
6. Lerner A, Adler A, Abu-Hanna J, Meitus I, Navon-Venezia S, Carmeli Y. Environmental contamination by carbapenem-resistant Enterobacteriaceae. *Journal of Clinical Microbiology*. 2013;51(1):177-181. <https://doi.org/10.1128/jcm.01992-12>
7. Carling PC, Bartley JM. Evaluating hygienic cleaning in health care settings: what you do not know can harm your patients. *American Journal of Infection Control*. 2010;38(5):41-50. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2010.03.004>
8. Huang SS, Datta R, Platt R. Risk of acquiring antibiotic-resistant bacteria from prior room occupants. *Archives of Internal Medicine*. 2006;166(18):1945-1951. <https://doi.org/10.1001/archinte.166.18.1945>
9. Centers for Disease Control and Prevention. Surface sampling procedures for *Bacillus anthracis* spores from smooth, non-porous surfaces [Internet]. Atlanta: NIOSH Workplace Safety and Health Topic; 2012, January 30 [cited 2021 November 24]. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/emres/surface-sampling-bacillus-anthraxis.html>
10. Ellis O, Godwin H, David M, Morse DJ, Humphries R, Uslan DZ. How to better monitor and clean irregular surfaces in operating rooms: insights gained by using both ATP luminescence and RODAC assays. *American Journal of Infection Control*. 2018;46(8):906-912. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.03.024>
11. Messina G, Ceriale E, Nante N, Manzi P. Effectiveness of ATP bioluminescence to assess hospital cleaning: a review. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*. 2017;58(2):177. <https://doi.org/10.1093/eurpub/cku163.030>
12. Sanna T, Dallolio L, Raggi A, Mazzetti M, Lorusso G, Zanni A, et al. ATP bioluminescence assay for evaluating cleaning practices in operating theatres: applicability and limitations. *BMC infectious diseases*. 2018;18(1):538. <https://doi.org/10.1186/s12879-018-3505-y>
13. Otter JA, Vickery K, Walker JT, Pulcini ED, Stoodley P, Goldenberg SD, et al. Surface-attached cells, biofilms and biocide susceptibility: implications for hospital cleaning and disinfection. *Journal of Hospital Infection*. 2015;89(1):16-27. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2014.09.008>
14. Tang L, Tadros M, Matukas L, Taggart L, Muller M. Sink and drain monitoring

- and decontamination protocol for carbapenemase-producing Enterobacteriaceae (CPE). *American Journal of Infection Control*. 2020;48(8):17. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.06.132>
15. Aranega-Bou P, George RP, Verlander NQ, Paton S, Bennett A, Moore G, et al. Carbapenem-resistant Enterobacteriaceae dispersal from sinks is linked to drain position and drainage rates in a laboratory model system. *Journal of Hospital Infection*. 2019;102(1): 63-69. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2018.12.007>
16. Pantel A, Richaud-Morel B, Cazaban M, Bouziges N, Sotto A, Lavigne JP. Environmental persistence of OXA-48-producing *Klebsiella pneumoniae* in a French intensive care unit. *American Journal of Infection Control*. 2016;44(3): 366-368. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2015.09.021>
17. Smith P, Beam E, Sayles H, Rupp M, Cavalieri R, Gibbs S, et al. Impact of adenosine triphosphate detection and feedback on hospital room cleaning. *Infection Control & Hospital Epidemiology*. 2014;35(5):564-569. <https://doi.org/10.1086/675839>
18. Ho YH, Wang LS, Jiang HL, Chang CH, Hsieh CJ, Chang DC, et al. Use of a sampling area-adjusted adenosine triphosphate bioluminescence assay based on digital image quantification to assess the cleanliness of hospital surfaces. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016;13(6): 576. <https://doi.org/10.3390/ijerph13060576>
19. Salsgiver E, Bernstein D, Simon MS, Greendyke W, Jia H, Robertson A, et al. Comparing the bioburden measured by adenosine triphosphate (ATP) luminescence technology to contact plate-based microbiologic sampling to assess the cleanliness of the patient care environment. *Infection Control & Hospital Epidemiology*. 2018;39(5):622-624. <https://doi.org/10.1017/ice.2018.39>