



자외선과 과산화수소 공간소독기계를 사용한 의료기관 환경소독 시 카바페넴분해효소 생성 장내세균속균종 오염제거 효과비교

박소연¹ · 이정영¹ · 김은주¹ ·곽선희¹ · 홍민지¹ · 임영주¹ · 김은옥¹ · 정지원^{1,2} · 김성한^{1,2}

울산대학교 의과대학 서울아산병원 감염관리실¹, 울산대학교 의과대학 서울아산병원 감염내과²

Comparison of the Microbiological Efficacy of Disinfection Using Ultraviolet and Hydrogen Peroxide System for Carbapenemase-producing Enterobacteriaceae in a Healthcare Setting

So-Yeon Park¹, Jeong-Young Lee¹, Eun-Ju Kim¹, Sun-Hee Kwak¹, Min-Jee Hong¹, Young-Ju Lim¹, Eun-Ok Kim¹, Jiwon Jung^{1,2}, Sung-Han Kim^{1,2}

Office for Infection Control, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine¹, Department of Infectious Diseases, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine², Seoul, Korea

Background: This study aimed to compare the efficacy of microbiological disinfection between the ultraviolet-C (UV-C) device and aerosolized hydrogen peroxide (aHP) system in a healthcare setting.

Methods: Four rooms were installed with two UV-C devices and two aHP systems. Thirty formica sheets contaminated with carbapenemase-producing Enterobacteriaceae (CPE) were placed in each room. After intervention, the median \log_{10} reduction and modified decontamination rates were compared between the two methods using Rodac plates. Eight sink drains in the rooms previously occupied by a patient with CPE were sampled separately before and after the interventions.

Results: The median \log_{10} reduction was 5.52 and 5.37 after the UV-C (n=60) and aHP (n=60) interventions, respectively ($P=0.86$), whereas the modified decontamination rate was 50% and 45%, respectively ($P=0.71$). At the UV-direct sites, UV-C showed higher median \log_{10} reduction (5.91 vs. 5.61, $P=0.002$) and modified decontamination rate (83% vs. 53%, $P=0.03$) than those of aHP. Conversely, at UV-indirect sites, aHP showed higher median \log_{10} reduction (4.63 vs. 5.07%, $P=0.02$) and modified decontamination rate (17% vs. 37%, $P=0.01$) than those of UV-C. After the intervention, carbapenemase-resistant Gram-negative bacilli decreased further in five of the seven sink drains disinfected by sodium.

Conclusion: Both UV-C and aHP reduced the bacterial contamination in the rooms. The aHP was significantly more effective than UV-C at the UV-indirect sites, and the converse was true for the UV-direct sites. Application of the intervention to disinfect the sink drains resulted in additional bacterial decontamination. Considering the features of the machines and the results of this study, healthcare facilities can choose either UV-C or aHP for decontamination.

Key Words: Area decontaminator, Carbapenemase-producing Enterobacteriaceae, No-touch disinfection method

Received May 10, 2021

Revised June 1, 2021

Accepted June 1, 2021

Corresponding author:

Sung-Han Kim

E-mail: shkimmd@amc.seoul.kr

ORCID:

<https://orcid.org/0000-0002-6596-8253>



Introduction

전 세계적으로 항생제 사용의 빈도가 늘어나면서 의료기관 내 Multidrug-Resistant Organism (다제내성균, 이하 MDRO) 감염이 문제가 되고 있다. 특히 Carbapenem-resistant Enterobacteriaceae (카바페넴 내성 장내세균속군종, 이하 CRE) 중에서도 Carbapenemase-producing Enterobacteriaceae (카바페넴분해효소 생성 장내세균속군종, 이하 CPE) 감염은 1993년 처음 보고된 이후 발생 빈도가 증가하고 있으며, 국내 표본 및 전수감시 자료에서도 CPE 신고건수가 매년 증가하고 있다[1]. 카바페넴 내성의 중요한 기전 중 하나는 카바페넴 항생제를 분해할 수 있는 효소인 Carbapenemase에 의한 것인데, 이들의 유전자는 플라스미드를 통해 세균 간 쉽게 전파될 수 있기 때문에 카바페넴 내성의 확산에 대한 우려가 커지고 있다[2].

CPE 감염을 예방하기 위한 중요한 전략으로 환경관리가 제시되고 있으며[3], 국내 관리지침에서도 CPE 환자가 발생한 경우 병실 내 환경표면에 대한 전반적인 소독을 시행해야 한다고 되어 있다[4]. 특히 국내 의료기관의 다인실 위주 입원실, 밀집된 병상 등 감염에 취약한 환경에서는 오염된 환경으로 인해 CPE 감염을 획득할 가능성이 높다.

사람이 손으로 소독하는 방법은 이행도가 50% 미만으로 낮기 때문에[5], 최근에는 사람이 손으로 소독하는 방법을 보완하고 손이 닿지 않는 영역까지 소독을 시행하는 ‘no-touch’ 방법으로 환경관리를 강화하고 있다. ‘No-touch’ 방법에는 Ultraviolet device (자외선 공간소독기계)와 Hydrogen peroxide system (과산화수소 공간소독기계)가 있으며, 자외선 공간소독기계는 적용시간이 짧으나 그림자 지는 곳에 효과가 떨어지며, 과산화수소 공간소독기계는 그림자 지는 곳에 효과가 좋으나 공조 차단 및 출입문 밀폐를 해야 하며 소독 후 환기가 필요한 방법으로 적용시간이 오래 걸린다. ‘No-touch’ 방법 적용 전에는 반드시 사람이 손으로 소독하는 일반적인 환경관리를 반드시 시행해야 하며, 일반적인 환경관리 후에 공간소독기계를 추가적으로 이용하여 사람의 손이 닿지 않는 영역까지 소독이 이루어져야 한다.

공간소독기계의 효과평가는 대부분 Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, Vancomycin-resistant Enterococci, Multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii*, *Clostridium difficile*에 대해서 시행되었으며, CPE에 대해서 효과평가가 시행되지는 않았다[6,7]. 또한 자외선과 과산화수소 공간소독기계의 효과평가를 비교한

자료도 제한적이다[8]. 이에 국내 의료기관 내 환경에서 자외선과 과산화수소 공간소독기계를 사용하여 CPE 오염제거 효과를 비교해보고자 한다.

Materials and Methods

1. 연구 설계

본 연구는 서울아산병원에서 2019년 5월부터 10월까지 진행되었다. 빈 병실 2곳에는 자외선 공간소독기계 (Group 1), 빈 병실 2곳에는 과산화수소 공간소독기계 (Group 2)를 이용하여 총 병실 4곳에서 개별적으로 실험이 진행되었다. 빈 병실은 9.4 m³의 화장실을 포함하는 총 48.3 m³ 면적의 동일한 구조였다. CPE를 발라든 시트지 30개를 각 병실의 지정된 곳에 올려두거나 테이프로 붙이고, 이 중 15개는 UV direct sites (레이저포인터가 통과하는 UV 직접 영역)이고, 나머지 15개는 UV indirect sites (레이저포인터가 통과하지 않는 UV 간접 영역)이었다. 공간소독기계를 이용하여 소독하고 CPE 오염제거 효과를 확인하였다. 상세한 연구 설계는 Fig. 1에 제시하였고, 시트지 실제 부착 위치는 Table S1.에 제시하였다.

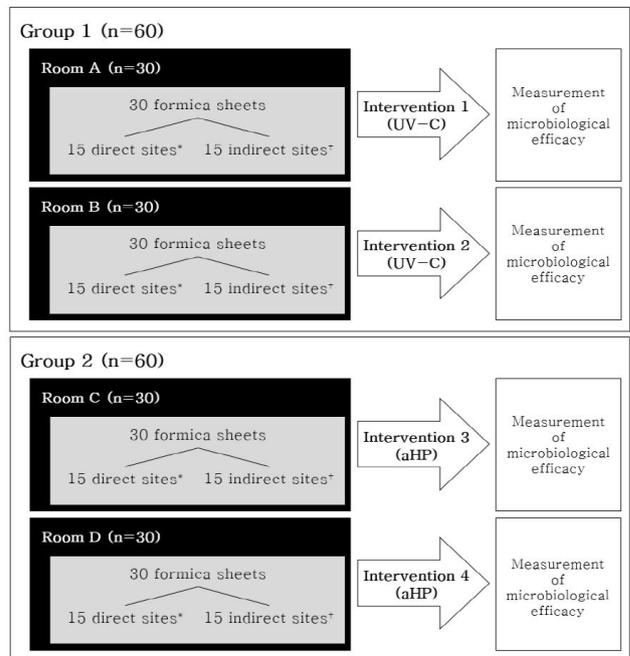


Fig. 1. Main study design.

*Direct sites: the sites thorough which laser pointer pass.

†Indirect sites: the sites thorough which laser pointer cannot pass. Abbreviations: aHP, aerosolized Hydrogen peroxide system; UV-C, Ultraviolet-C device.

욕실 내 싱크 하수구 내부에 시트지를 부착하기는 어려워서, CPE 환자 퇴실 후 멸균 brush (5 mm diameter Cleaning brush; Richard Wolf, Germany)로 하수구 내부를 채취하였다. 실제 CPE 환자 퇴실 후 500 ppm 락스로 청소를 시행하기 때문에, 청소 전, 청소 후, 공간소독기계 적용 후의 3가지 시점에 채취하였으며, 4곳은 자외선 공간소독기계를 적용하고, 4곳은 과산화수소 공간소독기계를 이용하여 총 하수구 8곳을 채취하였다. 공간소독기계별 4곳 중 2곳은 superficial level (하수구 입구에서 5 cm 아래)에서 시행하고, 2곳은 deep level (하수구 입구에서 36 cm 아래; brush 전체 37 cm 길이에서 손 잡는 부분 1 cm 제외한 길이)에서 채취하였다. 상세한 연구 설계는 Fig. 2에 제시하였다.

2. 대상 균주 및 시트지

CPE 중 본원에서 발생률이 가장 높은 *Klebsiella pneumoniae* Carbapenemase (KPC)-producing *Klebsiella pneumoniae* (임상 검체)를 대상 균주로 선정하였다. 지름 8 cm인 원모양의 시트지를 패트리 디쉬에 부착하여 개별적으로 멸균을 시행하였다. MacFarland 5.0

standard로 탁도를 맞춘 KPC 생성 *K. pneumoniae* 1.5×10^9 colony-forming units (CFUs)/mL를 준비하고, 10 μ L를 멸균 플라스틱 스프레더로 시트지에 고르게 퍼발랐다. 즉 각각의 시트지에 1.5×10^7 CFUs의 균주를 문혔으며, 실제 시트지에 남아있는 균주수는 cutting and vortexing 방법으로 평가하였다.

3. 중재 방법

자외선 공간소독기계는 254 파장의 Ultraviolet-C (이하 UV-C) 장비(ASEPTX, 2X SILVER, SANUVOX, Canada)를 사용하였다. 제조업체에 따르면 UV-C 램프가 8개가 있고, 1.8 m 거리에서 1 cycle (13분 소요) 적용 시 190,000 μ Wsec/cm² 선량이 도달하는 장비이다. 실제 사용 시에는 2개 장비를 동시에 2 cycle 적용하여 총 26분이 소요되었으며, 첫 번째 cycle에서는 2개 장비를 침대 양쪽에 각각 두고 적용하였으며, 두 번째 cycle에서는 1개 장비는 침대 발치에, 나머지 장비는 화장실에 두고 적용하였다. UV-C는 그림자가 지는 곳에는 효과가 없는 것으로 알려져 있어서, 모든 서랍과 화장실 문을 열어두었으며, 매트리스는 침대 프레임에 비스듬히 걸쳐두어서 그림자 지는 곳을 최소화하였다. 또한 소독하는 동안 출입을 통제하기 위해 전체 병실 문은 닫아두었다. 2 cycle이 모두 완료된 직후에는 의료기관 직원들이 출입가능하였다. 첫 번째 cycle 전에 준비하는 시간과 첫 번째 cycle 종료 후 장비의 위치를 변경하는 시간을 포함하면 전체 30분이 소요되었다.

과산화수소 공간소독기계는 aerosolized Hydrogen peroxide (이하 aHP) 장비(NOCOSPRAY, Oxy Pharm, France)를 사용하였다. 제조업체에 따르면 6% 과산화수소와 17 ppm 질산염으로 구성된 NOCOLYSE 용액을 장비에 부착하면, 장비 내부의 22,000 rpm 터빈이 80 m/sec 속도로 용액을 에어로졸화하여 사용하는 장비이다. 사용설명서에 따라 전체 병실 면적의 6배($48.3 \times 6 = 289.8$)에 해당하는 300 mL 용액을 2시간 동안 분사하여 사용하였다. 분사 입구가 침대를 향하도록 위치시켰고, 화장실에도 분사가능하도록 화장실 문을 열어두었다. 린넨 소재는 분사된 용액이 흡수되어 효과가 감소될 수 있으므로, 매트리스와 베개 커버는 모두 제거하고 적용하였다. 또한 닫힌 공간에는 분사된 용액이 침투하기 어렵기 때문에 자외선 실험 때와 마찬가지로 매트리스는 침대 프레임에 비스듬하게 걸쳐두고, 모든 서랍은 열어두었다. 분사된 용액이 공조를 통해 다른 공간으로 들어가는 것을 막기 위해서 시설팀 직원

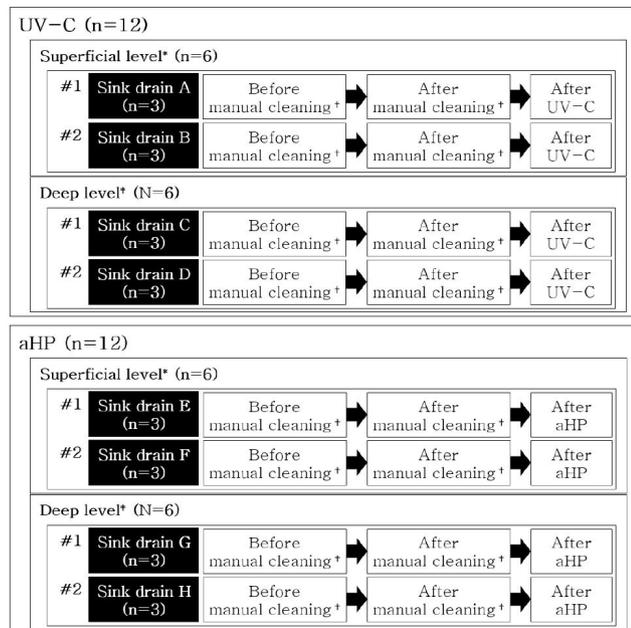


Fig. 2. Study design about sink drain.

*Superficial level: 5 cm below the drain inlet.

[†]manual cleaning was performed using 500 ppm sodium hypochlorite.

[‡]Deep level: 36 cm below the drain inlet.

Abbreviations: aHP, aerosolized Hydrogen peroxide system; UV-C, Ultraviolet-C device.

이 병실 내 모든 공조(연기감지기 포함) 입구를 테이프로 밀봉하였다. 병실 밖으로 모든 사람들이 나간 다음에 전체 출입문을 닫고 테이프로 밀봉하여 용액이 문틈 사이로 나오는 것을 방지하고, 병실 밖에서 리모컨으로 소독을 시작하였다. 2시간 적용 후 출입문을 열고 공조를 복구하였으며, 1시간 동안 환기를 시켜 과산화수소 농도가 1 ppm 이하로 떨어지도록 하였다. 준비와 환기 시간을 포함하여 총 3시간 30분이 소요되었다. 상세한 병실 내 공간소독기계 위치는 Fig. 3에 제시하였다.

4. 미생물 감소 효과평가

Naturalizing agar가 함유된 Rodac plates (Irradiated Count-Tact 3P agar, BioMerieux, France)를 전용 applicator (APP Count-Tact, BioMerieux, France)에 부착하여 각각의 시트지를 10초 동안 500 ± 50 g 압력을

가해 놓았다. Rodac plates는 24시간 동안 37°C에서 배양하고, 배양 후 plates에 남아있는 균주수를 계산하였다. 중재 전 실제 시트지에 남아있는 균주수 대비 중재 후에 시트지에 남아있는 균주수 비율을 \log_{10} reduction으로 계산하였다. Decontamination rate는 전체 plates 수 대비 clean plates, 즉 2.5 CFUs/cm² 미만[9,10]인 plates 수 비율로 정의하였다. 하지만 본 실험 전 시행한 pilot test 결과 2.5 CFUs/cm² 미만을 clean plates로 정의할 경우 UV-C와 aHP 모두 decontamination rate가 100%로 동일하여 비교가 어려워, clean plates의 기준을 보다 엄격하게 2.5 CFUs/rodac plates (0.05 CFUs/cm²)로 하는 modified decontamination rate를 새로 정의하여 사용하였다.

싱크 하수구를 채취한 brush는 20 mL 멸균증류수가 담긴 tube (50 mL Polypropylene conical tube, FALCON, USA)에 넣고 흔들어서 brush에 있는 오염물질

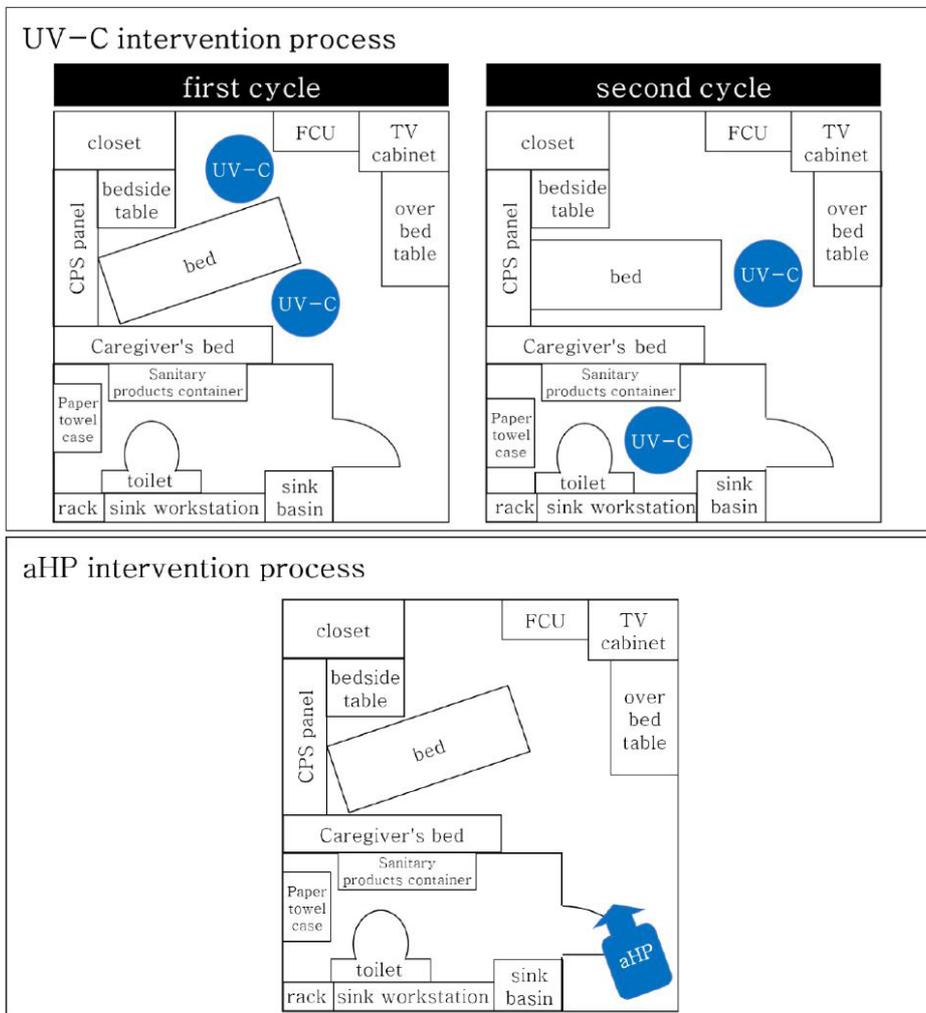


Fig. 3. Schematic design of rooms showing positioning of UV-C and aHP.

Abbreviations: aHP, aerosolized Hydrogen peroxide system; CPS, Control panel systems; FCU, Fan coil unit, UV-C, Ultraviolet-C device.

이 모두 떨어지도록 하였다. 오염된 용액의 100 µL (0.1 mL)을 CHROMagar plate에 접종하고, Carbapenem-resistant gram negative bacilli (CRGNB) 확인을 위해 quadrant streaking 방법을 사용하였다. CHROMagar plates를 37°C에서 24시간 동안 배양하고, 배양 후 남아있는 균주수를 semi-quantitative method (“many isolated”, “moderate isolated”, “few isolated”, “rare isolated”, and “not isolated”)로 확인하였다.

5. 통계 분석

본 연구는 UV-C와 aHP의 CPE decontamination rate에 유의한 차이가 있을 거라는 가설 하에 시행하였다. 표본수는 본 연구 전 시행한 pilot test 결과인 modified decontamination rate UV-C 87.5%, aHP 100%, 유의 수준 5%, 검정력 80% 하에 총 120개(중재별 각 60개)로 계산하였다.

CFUs와 log₁₀ reduction는 연속형 변수로 median (IQR 혹은 min-max)으로 표현하였으며, Wilcoxon rank sum test를 이용하여 분석하였다. Modified decontamination rate는 범주형 변수로 n (%)로 표현하였으며, chi-squared test 혹은 Fisher’s exact test를 이용하여 분석하였다. 통계 분석은 R 소프트웨어 version 3.5.0를 이용하였으며, P<0.05인 경우 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

Results

1. 중재 전 실제 시트지에 남아있는 CPE 균주수

KPC 생성 *K. pneumoniae* 1.5×10⁷ CFUs/mL를 각각의 시트지에 퍼바른 후 cutting and vortexing 방법으로 실제로 남아있는 균주수를 확인한 결과 전체의 5.4%가 남아있었다. 즉 실제 시트지에 남아있는 CPE 균주수는 5.91 log₁₀ inoculum (대략 10⁶ CFUs)이었다.

2. UV-C와 aHP 적용 후 오염제거효과 비교

UV-C 적용 후 median (IQR) CPE 균주수는 2.5 (0-18.3) CFUs, UV direct sites에서는 0 (0-1) CFUs, UV indirect sites에서는 19.5 (5.3-51.3) CFUs이었다. aHP 적용 후 median (IQR) CPE 균주수는 3.5 (0-13.8) CFUs, UV direct sites에서는 2 (0-8.8) CFUs, UV indirect sites에서는 7 (1-23.3) CFUs이었다. 두 가지 중재 후 총 CPE 균주수는 통계적으로 유의하지 않았고 (P=0.99), UV direct sites에서는 UV-C 적용 후 균주수가 유의하게 더 낮았고(P=0.01), UV indirect sites에서는 aHP 적용 후 균주수가 더 유의하게 낮았다 (P=0.02) (Table 1).

중재 전 실제 시트지에 남아있는 5.9 log₁₀ inoculum (대략 10⁶ CFUs)을 기준으로 계산한 median log₁₀ reduction (min-max)은 UV-C 적용 후 5.52 (3.53-5.91), UV direct sites에서는 5.91 (5.13-5.91), UV indirect

Table 1. Microbiological efficacy of UV-C and aHP

	UV-C	aHP	P-value*
Median CFUs (IQR)			
Total (n=60)	2.5 (0-18.3)	3.5 (0-13.8)	0.99
UV direct sites [†] (n=30)	0 (0-1)	2 (0-8.8)	0.01
UV indirect sites [‡] (n=30)	19.5 (5.3-51.3)	7 (1-23.3)	0.02
Median log ₁₀ reduction (min-max)			
Total (n=60)	5.52 (3.53-5.91)	5.37 (3.54-5.91)	0.86
UV direct sites [†] (n=30)	5.91 (5.13-5.91)	5.61 (4.57-5.91)	0.002
UV indirect sites [‡] (n=30)	4.63 (3.53-5.19)	5.07 (3.54-5.91)	0.02
Modified decontamination rate			
Total (n=60)	30 (50.0%)	27 (45.0%)	0.71
UV direct sites [†] (n=30)	25 (83.3%)	16 (53.3%)	0.03
UV indirect sites [‡] (n=30)	5 (16.7%)	11 (36.7%)	0.01

*P-value of median CFUs and median log₁₀ reduction was calculated by Wilcoxon rank sum test and P-value of modified decontamination rate was calculated by chi-squared test or Fisher’s exact test, [†]Direct sites: the sites thorough which laser pointer pass, [‡]Indirect sites: the sites thorough which laser pointer cannot pass.

Abbreviations: aHP, aerosolized Hydrogen peroxide system; CFUs, Colony-foaming units; UV-C, Ultraviolet-C device.

Table 2. Semi-quantitative results of CRGNB in sink drain

	Before manual cleaning*	After manual cleaning*	After intervention
UV-C (n=12)			
Superficial [†] #1 (n=3)	many	many	many
Superficial [†] #2 (n=3)	few	few	not isolated
Deep [‡] #1 (n=3)	many	not isolated	not isolated
Deep [‡] #2 (n=3)	many	moderate	few
aHP (n=12)			
Superficial [†] #1 (n=3)	many	many	few
Superficial [†] #2 (n=3)	moderate [§]	rare [§]	rare
Deep [‡] #1 (n=3)	many	rare	not isolated
Deep [‡] #2 (n=3)	many	many	few

*manual cleaning was performed using 500 ppm sodium hypochlorite, [†]Superficial level: 5 cm below the drain inlet, [‡]Deep level: 36 cm below the drain inlet, [§]*Stenotrophomonas maltophilia* was identified, ^{||}Carbapenem-resistant *Pseudomonas aeruginosa* was identified. Abbreviations: aHP, aerosolized hydrogen peroxide system; CRGNB, Carbapenem-resistant gram negative bacilli; UV-C, Ultraviolet-C device.

sites에서는 4.63 (3.53-5.19)이었다. aHP 적용 후 median \log_{10} reduction (min-max)는 5.37 (3.54-5.91), UV direct sites에서는 5.61 (4.75-5.91), UV indirect sites에서는 5.07 (3.54-5.91)이었다. 두 가지 중재 후 총 \log_{10} reduction은 통계적으로 유의하지 않았고($P=0.86$), UV direct sites에서는 UV-C 적용 후 \log_{10} reduction이 더 유의하게 높았고($P=0.002$), UV indirect sites에서는 aHP 적용 후 \log_{10} reduction이 더 유의하게 높았다($P=0.02$) (Table 1).

UV-C 적용 후 modified decontamination rate는 50.0% (30/60)이고, UV direct sites에서는 83.3% (25/30), UV indirect sites에서는 16.7% (5/30)였다. aHP 적용 후 modified decontamination rate는 45.0% (27/60)이고, UV direct sites에서는 53.3% (16/30), UV indirect sites에서는 36.7% (11/30)이었다. 두 가지 중재 후 modified decontamination rate는 통계적으로 유의하지 않았고($P=0.71$), UV direct sites에서는 UV-C 적용 후 modified decontamination rate가 더 유의하게 높았고($P=0.03$), UV indirect sites에서는 aHP 적용 후 modified decontamination rate가 더 유의하게 높았다($P=0.01$) (Table 1).

3. 싱크 하수구 오염제거효과

CPE 환자들이 퇴실한 병실 청소 전에는 검체 채취 부위에 상관없이 CRGNB가 few-many로 대부분 많이 분리되었다. 청소 후에는 전체 8곳 중에서 4곳의 싱크 하수구(UV-C: Deep #1, Deep #2, aHP: Superficial #2,

Deep #1)에서 CRGNB가 감소하였으며, 아예 분리가 되지 않은 싱크 하수구는 1곳(UV-C Deep #1)이었다. UV-C 중재 후에는 2곳(Superficial #2, Deep #2), aHP 중재 후에는 3곳(Superficial #1, Deep #1, Deep #2)에서 추가적으로 CRGNB가 감소하였다. 싱크 하수구 2곳(UV-C: Superficial #2, aHP: Superficial #1)은 공간소독기계 중재 적용 후 아예 균이 분리되지 않았다(Table 2).

Discussion

자외선과 과산화수소 공간소독기계의 효과평가를 비교한 선행논문[8]과 비슷하게, 본 연구에서도 빛이 직접적으로 닿는 영역에서는 자외선 공간소독기계가 더 높은 오염제거 효과를 나타냈으며, 빛이 직접적으로 닿지 않는 영역에서는 과산화수소 공간소독기계의 오염제거 효과가 더 높았다. 실제 의료기관 환경에서는 병원균이 10-100 CFUs/plate 미만으로 오염되어 있다고 보기 때문에[11], 최대 100 CFUs/plate를 근거로 2 \log_{10} reduction이면 임상적으로 미생물 감소효과가 있는 것으로 간주된다[12]. 이 실험에서는 자외선과 과산화수소 공간소독기계의 median \log_{10} reduction이 각각 5.52, 5.37로 임상적으로 효과적인 방법으로 판단된다.

자외선 공간소독기계는 직접적으로 닿는 표면에 더 효과적이지만, 직접 노출되지 않는 그늘진 표면도 다른 표면에 서부터 반사될 수 있어서 간접적인 효과가 있는 것으로 알려져 있다[13]. 본 연구에서도 자외선 공간소독기계 적용 시 빛이 통과하는 영역이 통과하지 않는 영역보다 통계적으로 유의하게 더 높은 오염제거효과를 보였지만, 빛의 통

과 유무에 상관없이 모두 2 log₁₀ reduction보다 큰 오염 제거 효과를 보였다. 과산화수소 공간소독기계는 빛의 유무에 따라 오염제거효과에 유의한 차이가 없었다. 다만, 과산화수소도 밀폐된 공간에는 침투하기 어려우므로, 과산화수소 분사 방향에 장애물이 없도록 위치를 적절히 배치하여 소독하는 것이 필요하다[14,15].

카바페넴 내성 균주 유행 시 주변 싱크 하수구에서 동일한 균주가 분리되고, 500 ppm 락스 소독 후에도 남아있다고 보고한 선행연구[16,17]와 마찬가지로, 본 연구에서도 배양 깊이에 관계없이 CPE 환자가 사용한 모든 싱크 하수구에서 CRGNB가 분리되고, 500 ppm 락스로 소독을 하여도 1곳 제외하고 모두 균이 남아있었다. 싱크 하수구의 biofilm을 제거하기 위해서는 싱크 하수구의 배관을 교체하거나, 싱크 하수구에 일정시간동안 락스를 채워두고 행구는 2가지 방법이 제시되고 있다[16]. 싱크 하수구에 락스를 붓는 방법은 노동집약적인 방법이라서 전자화학적으로 활성화된 용액을 이용하여 싱크 하수구를 자동적으로 청소하고 소독하는 방법을 제안하는 선행연구[18]도 있었으나, 공간소독기계를 사용하여 싱크 하수구 오염제거효과를 평가한 선행연구는 없었다. 본 연구결과 락스로 소독해도 균이 남아있는 싱크 하수구 7곳에 자외선과 과산화수소 공간소독기계를 추가적으로 적용한 결과 5곳에서 추가적으로 균이 감소하였다. 특히 락스로 소독해도 균이 많이 남아있던 하수구 2곳에서도 공간소독기계를 추가적으로 적용하고 균이 감소한것으로 보아 공간소독기계를 추가적으로 적용하는 것이 오염제거에 효과가 있는 것으로 판단된다.

자외선과 과산화수소 공간소독기계는 각각 장단점이 있다. 과산화수소 공간소독기계는 과산화수소 액체를 분사하기 때문에 공조를 차단하고 문을 밀봉해야 하며, 적용 후에 과산화수소가 1 ppm 이하로 떨어지도록 1시간 동안 환기가 필요하다[14,15]. 반면, 자외선 공간소독기계는 공조 차단이나 적용 후 환기가 필요하지는 않으나, 1 cycle이 끝나면 소독효과를 증진시키기 위해 기계의 위치를 변경해서 배치하는 것이 필요하다[15,16]. 제조업체 견적서에 따르면 자외선 공간소독기계가 과산화수소 공간소독기계보다 유지비용은 50 m³ 기준 80배 정도 저렴하였으나, 기계비용은 15배 정도 비쌌다.

본 연구 결과와 기계별 특징을 고려하여 다음과 같이 제안한다. 의료기기가 적거나, 면적이 넓어서 그늘진 곳이 적은 환경에서는 자외선 공간소독기계 사용을 권고하며, 의료기기가 많아서 그늘진 곳이 많은 환경에서는 과산화수소

공간소독기계 사용을 권고한다. 그러나 의료기관 내 환경소독의 기준은 미생물의 종류와 전파방식에 따라 적절한 환경관리 방법이 적용되어야 하므로, 직원이 소독제를 이용하여 환경관리를 철저히 하는 것이 반드시 선행되어야 한다. 일반적인 환경관리 후에 의료기관마다 장소별 구조와 특성에 따라 자외선과 과산화수소 공간소독기계 중 선택하여 사용할 수 있겠다.

본 연구의 제한점은 단일 기관의 1인실이라는 제한된 공간에서 실험이 시행되었고, CPE를 바른 시트지를 이용하여 오염제거 효과를 평가하였다는 점이다. 추후 다중 기관에서 CPE 발생률과 같은 의료관련감염을 평가할 수 있는 임상 시험이 필요하겠다. 또한 싱크 하수구 실험은 작은 표본수와 반정량적 결과로 통계 분석에 제한점이 있으므로, 오염제거 효과를 평가하는 추가 연구가 필요하겠다.

자외선과 과산화수소 공간소독기계 모두 1인실에서 미생물 오염이 감소하였다. 과산화수소 공간소독기계는 빛이 통과하지 않는 영역에서 통계적으로 유의하게 더 효과적이며, 자외선 공간소독기계는 빛이 통과하는 영역에서 통계적으로 유의하게 더 효과적이다. 싱크 하수구에는 공간소독기계를 적용한 결과 추가적으로 균이 감소하였다. 기기의 특징과 연구 결과를 고려하여, 의료기관에서 자외선과 과산화수소 공간소독기계 중 선택하여 적용할 수 있겠다.

Acknowledgements

이 연구는 2019년 대한의료관련감염관리학회 연구비 지원으로 수행된 연구임.

Supplementary Materials

Supplementary material can be found via <https://doi.org/10.14192/kjicp.2021.26.1.31>.

References

1. Lee E, Lee S, Bahk H, Kim S, Lee H. Analysis of carbapenemase-producing Enterobacteriaceae (CPE) surveillance results for 2017 in Korea: comparison with the surveillance results of the previous 5 years (2012-2016). *Public Health Wkly Rep* 2018;11:1586-94.
2. Nordmann P, Cuzon G, Naas T. The real threat of *Klebsiella pneumoniae* carbapenemase-producing bacteria. *Lancet Infect Dis* 2009;9:228-36.
3. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Facility guidance for control of carbapenem-resistant Entero-

- bacteriaceae (CRE). <https://www.cdc.gov/hai/pdfs/cre/CRE-guidance-508.pdf> (Updated on November 2015).
4. Korea Centers for Disease Control & Prevention (KCDC). Guideline for control of healthcare-associated infectious diseases (VRSA, CRE). http://www.jcdm.or.kr/modules/user/file/2020_%EC%9D%98%EB%A3%8C%EA%B4%80%EB%A0%A8%EA%B0%90%EC%97%BC%EB%B3%91_%EA%B4%80%EB%A6%AC%EC%A7%80%EC%B9%A8.pdf (Updated on January 2020).
 5. Carling PC, Parry MF, Bruno-Murtha LA, Dick B. Improving environmental hygiene in 27 intensive care units to decrease multidrug-resistant bacterial transmission. *Crit Care Med* 2010;38:1054-9.
 6. Marra AR, Schweizer ML, Edmond MB. No-touch disinfection methods to decrease multidrug-resistant organism infections: a systematic review and meta-analysis. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2018;39:20-31.
 7. Weber DJ, Rutala WA, Anderson DJ, Chen LF, Sickbert-Bennett EE, Boyce JM. Effectiveness of ultraviolet devices and hydrogen peroxide systems for terminal room decontamination: focus on clinical trials. *Am J Infect Control* 2016;44(5 Suppl):e77-84.
 8. Havill NL, Moore BA, Boyce JM. Comparison of the microbiological efficacy of hydrogen peroxide vapor and ultraviolet light processes for room decontamination. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2012;33:507-12.
 9. Dancer SJ, White L, Robertson C. Monitoring environmental cleanliness on two surgical wards. *Int J Environ Health Res* 2008;18:357-64.
 10. Boyce JM, Havill NL, Moore BA. Terminal decontamination of patient rooms using an automated mobile UV light unit. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2011;32:737-42.
 11. Rutala WA, Weber DJ. Cleaning, disinfection and sterilization. In: Carrico R, ed. *APIC text of infection control and epidemiology*. 3rd ed, Washington, DC; Association for Professionals in Infection Control and Epidemiology, 2009:21:1-21:27.
 12. Huslage K, Rutala WA, Gergen MF, Sickbert-Bennett EE, Weber DJ. Microbial assessment of high-, medium-, and low-touch hospital room surfaces. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2013;34:211-2.
 13. Nerandzic MM, Cadnum JL, Pultz MJ, Donskey CJ. Evaluation of an automated ultraviolet radiation device for decontamination of *Clostridium difficile* and other healthcare-associated pathogens in hospital rooms. *BMC Infect Dis* 2010;10:197.
 14. Boyce JM. Modern technologies for improving cleaning and disinfection of environmental surfaces in hospitals. *Antimicrob Resist Infect Control* 2016;5:10.
 15. Doll M, Morgan DJ, Anderson D, Bearman G. Touchless technologies for decontamination in the hospital: a review of hydrogen peroxide and UV devices. *Curr Infect Dis Rep* 2015;17:498.
 16. Kizny Gordon AE, Mathers AJ, Cheong EYL, 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. *Clin Infect Dis* 2017;64:1435-44.
 17. Clarivet B, Grau D, Jumas-Bilak E, Jean-Pierre H, Pantel A, Parer S, et al. Persisting transmission of carbapenemase-producing *Klebsiella pneumoniae* due to an environmental reservoir in a university hospital, France, 2012 to 2014. *Euro Surveill* 2016;21:30213.
 18. Swan JS, Deasy EC, Boyle MA, Russell RJ, O'Donnell MJ, Coleman DC. Elimination of biofilm and microbial contamination reservoirs in hospital washbasin U-bends by automated cleaning and disinfection with electrochemically activated solutions. *J Hosp Infect* 2016;94:169-74.