

Inhibitory Effect of Metal Surface on the Antimicrobial Resistance Microorganism

Jung-Beom Kim¹, Jae-Kwang Kim², Hyunjung Kim², Eun Jung Cho², Yeon-Joon Park³, Hae Kyung Lee²

¹Department of Food Science and Technology, Suncheon National University, Suncheon,

²Department of Laboratory Medicine, The Catholic University of Korea, Uijeongbu St. Mary's Hospital,

³Department of Laboratory Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul St. Mary's Hospital, Seoul, Korea

Background: The aim of this study was to comparatively evaluate the bactericidal effects of copper, brass (copper 78%, tin 22%), and stainless steel against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* (VREFM), and multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* (MRPA).

Methods: The isolates (MRSA, VREFM, MRPA) used in this study were mixed wild type 3 strains isolated from patients treated at Uijeongbu St. Mary's Hospital in 2017. These strains showed patterns of multidrug resistance. The lyophilized strains were inoculated into and incubated for 24 hr in tryptic soy broth at 35°C. The initial bacterial inoculum concentration was adjusted to 10⁵ CFU/mL. A 100-mL bacterial suspension was incubated in containers made of brass (copper 78%, tin 22%), copper (above 99% pu-

rity), and stainless steel at 35°C. Viable counts of bacteria strains were measured for 9 days.

Results: In this study, the bactericidal effects of copper and brass on MRSA, VREFM, and MRPA were verified. The bactericidal effect of stainless steel was much weaker than those of copper and brass. The bactericidal effect was stronger on MRPA than on MRSA or VREFM.

Conclusion: To prevent cross infection of multidrug resistant bacteria in hospitals, further studies of longer duration are needed for testing of copper materials on objects such as door knobs, faucets, and bed rails. (**Ann Clin Microbiol 2018;21:80-85**)

Key Words: Bactericidal effect, Brass, Copper, Multidrug resistant bacteria

INTRODUCTION

항생제란 다른 미생물을 사멸시키거나 증식을 억제시키는 미량 화학물질로서 1940년대 penicillin이 *Staphylococcus aureus* 감염치료에 처음 사용된 이후 현재까지 5,000여 종의 항생제가 개발되어 사용되고 있다[1]. Penicillin 사용 이후 penicillin 내성 *S. aureus* 균주가 출현하였고, penicillin 내성 미생물을 제어하기 위해 항균력이 더 뛰어난 methicillin이 개발되어 사용되었으나, 1961년 methicillin 내성 *S. aureus* (MRSA)가 출현하였다[2]. 항생제가 전 세계적으로 광범위하게 사용된 1980년대부터 vancomycin 내성 enterococci (VRE), carbapenem 내성 *Enterobacteriaceae* (CRE), 다제내성 *Pseudomonas aeruginosa* (MRPA), 다제내성 *Acinetobacter* 균주가 의료기관 입원환자와 병원 환경을 중심으로 검출되어 세계적인 문제로 대두되고 있

다[3]. 미국 중환자실 MRSA 감염률은 1997년 48%에서 2007년 65%로 증가하였다[4]. 2004년 국내 12개 병원에서 분리된 *S. aureus* 중 67%가 MRSA로 확인되었으나[5], 2010년에서 2013년까지 73.3%로 증가하였다고 보고되었다[6]. 미국 내 VRE 감염률의 경우 1989년 0.3%에서 최근 20-30%까지 증가하였다고 보고되었다[7]. 병원 내에서 분리되는 MRSA, VRE 및 MRPA 등 항생제 내성 균주는 병원 환경에서 장기간 생존하고 의료인의 손과 의료기기 및 감염환자 주변 환경을 통해 교차오염 될 수 있기 때문에 각별한 주의가 필요하다[7-10]. 미국의 경우 2006년 72,000건의 병원 내 감염이 발생하여 약 125억 US \$의 손실이 발생하였다고 보고되어[3], MRSA, VRE 및 MRPA 등 항생제 내성균주의 병원 내 감염 저감화가 필요하다. 또한 국내에서도 최근 항생제 다제 내성을 나타내는 *Citrobacter freundii*균이 신생아에게 감염되어[11], 사회적으로

Received 23 April, 2018, Revised 12 July, 2018, Accepted 19 July, 2018

Correspondence: Hae Kyung Lee, Department of Laboratory Medicine, The Catholic University of Korea, Uijeongbu St. Mary's Hospital, 271 Cheonbo-ro, Uijeongbu 11765, Korea. (Tel) 82-31-820-3159, (Fax) 82-31-847-6266, (E-mail) hkl@catholic.ac.kr

© The Korean Society of Clinical Microbiology.

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

큰 문제를 야기하는 등 항생제 내성 균주의 병원 내 감염을 차단하기 위한 특별한 노력이 필요한 시점이다.

구리(Cooper)는 고대 이집트에서 식수 살균과 환자 치료에 사용되었고, 19세기 식기의 재료로 사용되면서 식중독 예방에 기여하는 것이 밝혀져 1932년까지 콜레라 등의 치료에 사용되었다[12,13]. 그러나 구리의 표면 산화에 따른 퇴색을 대체하기 위해 개발된 stainless steel이 식기, 문손잡이 등에 광범위하게 사용되며 구리의 이용이 제한되었다[14]. 1983년 늦쇠(구리 67%, 아연 33%)를 병원 내 문손잡이로 사용할 경우 미생물 교차오염을 예방할 수 있다는 보고[13]와 병원미생물에 대한 구리 표면살균력 연구[15-17] 및 축사, 식품공장 내 기구의 표면 재질로 구리를 활용한 연구가 진행되어 왔다[18]. 또한 병원 내 시설·장비에 의한 교차감염을 예방하기 위한 구리 표면의 활용 연구가 진행되었다[19,20]. 그러나 국내의 경우 전통적 식기로 사용되던 유기(구리 78%, 주석 22%)와 구리 표면의 식중독 세균 살균효과 실험만이 보고[21] 되고 병원 내 감염을 예방하기 위한 MRSA, VRE 및 MRPA 등 항생제 내성 균주에 대한 구리의 살균력 실험은 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 병원에서 분리된 MRSA, VRE 및 MRPA 등에 대한 구리, 유기, stainless steel의 살균력을 비교 실험하여 국내 병원 환경에 의한 항생제 내성 균주 교차감염을 예방하는데 구리와 유기 활용성을 분석하고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

1. 재료

금속표면의 항균활성을 실험하고자 구리, 유기, stainless steel 용기를 사용하였으며 구리 용기(풍산금속, 서울, 한국)는 함량 99% 이상의 구리로 제조한 용기를 구입하였다. 유기 용기(구리 78%, 주석 22%; 안성방자, 안성, 한국), stainless steel 용기(제이디유통, 대전, 한국)는 SUS 304 (Fe 74%, Cr 18%, Ni 8%)로 제조한 용기를 구입하여 사용하였다.

1) 항생제 내성균주: 실험에 시용된 MRSA, vancomycin 내성 *Enterococcus faecium* (VREFM), MRPA 균주는 균주의 특성을 표준화하기 위해, 2017년 의정부성모병원에서 분리·동정된 균주로 균종별로 임상균주 3균주씩을 동일한 비율로 혼합하여 사용하였다.

2. 방법

1) 항생제 내성 실험: 실험에 사용된 MRSA, VREFM, MRPA 균주의 항생제 내성 실험은 Clinical and Laboratory Standard Institute (CLSI) Guideline (2013)의 MIC (minimal inhibitory concentration)법에 따라 실험하였으며[22], Microscan 장비(Dade Behring Inc., West Sacramento, CA, USA)로 MRSA 와 VRE의 경우 PBC28 판넬, MRPA의 경우 NC63으로 실험하

Table 1. Antibiotic profiles of the *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecium*, and *Pseudomonas aeruginosa*

	AM	AMC	AN	ATM	AZM	CAZ	CFT	CC	CIP	CC	DAP	E	FA	FD	FEP	FOS	GM	GMS	IPM	LNZ	LX	MEM	M	MUP	MXF	OX	P	PIP	RA	SAM	SS	SXT	SYN	TE	TEC	TCG	TIM	TOB	TZP	VA							
<i>S. aureus</i>	1	R	R						R	R	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	R	S	R	S	R	S	S	S	S	S	S				
	2	R	R						R	R	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	R	S	R	S	S	S				
	3	R	R						R	R	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	R	S	R	S	S	S			
<i>E. faecium</i>	1	R							R	S	S	I	S	I	S	R	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R			
	2	R							R	S	S	I	S	I	S	R	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R			
	3	R							R	S	S	I	S	I	S	R	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R			
<i>P. aeruginosa</i>	1																																														
	2																																														
	3																																														

Abbreviations: AM, ampicillin; AMC, amoxicillin-clavulanic acid; AN, amikacin; ATM, aztreonam; AZM, azithromycin; CAZ, ceftazidime; CFT, ceftoxime; CC, clindamycin; CIP, ciprofloxacin; CL, colistin; DAP, daptomycin; E, erythromycin; FA, fusidic acid; FD, nitrofurantoin; FEP, ceftepime; FOS, fosfomycin; GM, gentamycin; GMS, gentamycin synergy; IPM, imipenem; LNZ, linezolid; LX, levofloxacin; MEM, meropenem; M, minocycline; MUP, mupirocin; MXF, moxifloxacin; OX, oxacillin; P, penicillin; PIP, piperacillin; RA, rifampin; SAM, ampicillin/sulbactam; SS, streptomycin synergy screen; SXT, trimethoprim/sulfamethoxazole; SYN, synergist; TE, tetracycline; TEC, ticoplanin; TGC, tigecyclin; TIM, ticarcillin/clavulamic acid; TOB, tobramycin; TZP, piperacillin/tazobactam; VA, vancomycin; R, resistant; S, susceptible; I, intermediate; X, not tested.

였다. *S. aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *P. aeruginosa* ATCC 27853을 항생제 내성 실험의 대조 균주로 사용하였다.

2) **접종균액 및 금속용기 준비:** MRSA, VREFM, MRPA 균주 각각을 tryptic soy broth (TSB; Oxoid, Hampshire, England)에 접종하여 35°C에서 24시간 배양한 후 각각의 배양액 1 mL를 멸균 tube에 취하여 3,000 rpm으로 원심분리하였다. 원심분리한 배양액의 상층액을 제거한 후 멸균 saline 1 mL를 첨가하여 균질화한 후 3,000 rpm으로 원심분리하였다. 상층액을 제거한 후 각각 초기 접종균액의 균수를 TSB로 5 log CFU/mL로 조정하였다. 구리, 유기, stainless steel 용기는 깨끗이 세척한 후 70% ethanol을 뿌려 살균하였으며 건조 후 실험에 사용하였다[19].

3) **균액 접종 및 균수 측정:** 각각의 금속용기에 준비된 MRSA, VREFM, MRPA 접종균액을 100 mL씩 접종한 후, 습도가 유지되도록 덮개를 덮어 35°C incubator에서 초기부터 9일까지 생존균수를 측정하였다. 균수 측정은 접종 균액 1 mL를 취하여 멸균 saline으로 희석한 후 각각의 희석액 0.1 mL를 혈액천배지에 도말하여 35°C에서 18시간 배양한 후 형성된 집락을 계수하여 균수를 측정하였다. 9시간까지는 1시간 간격으로, 그 후에는 1일 1회 관찰하였다.

RESULTS

1. 항생제 내성 profiles

본 실험에 사용한 MRSA, VREFM, MRPA의 항생제 내성 패턴은 Table 1에 나타내었다. 항생제 내성 실험 결과 본 실험에 사용한 MRSA, VREFM, MRPA 모두 항생제 다제 내성 균주로 나타났다. 표준균주로 사용한 *S. aureus* ATCC 29213, *E.*

faecalis ATCC 29212, *P. aeruginosa* ATCC 27853에 대한 항생제 내성 결과는 Supplementary Table 1에 나타내었다. 대부분의 항생제에 감수성 균주로 나타났다.

2. 금속 표면의 항균활성

항생제 다제 내성 MRSA, VREFM, MRPA 균주와 각각의 표준균주에 대한 구리, 유기 및 stainless steel의 살균력 실험 결과는 Fig. 1-3에 나타내었다. MRSA를 대상균주로 실험한 결과, 구리의 경우 초기 균수가 5 log CFU/mL에서 3시간 경과 후부터 살균효과가 나타났고 5시간 경과 후 불검출되었다. 유기, 4시간 경과 후부터 살균효과가 나타났고 6시간 경과 후 불검출되었다. 그러나 stainless steel의 경우, 6일째부터 살균효과가 나타났고, 9일째 불검출되었다(Fig. 1A). *S. aureus* 표준균주 ATCC 29213을 대상균주로 실험한 결과, 구리의 경우 초기 균수가 5 log CFU/mL에서 3시간 경과 후부터 살균효과가 나타났고 5시간 경과 후 불검출되었다. 유기, 3시간 경과 후부터 살균효과가 나타났고 6시간 경과 후 불검출되었다. 그러나 stainless steel의 경우, 6일째부터 살균효과가 나타났고, 8일째 불검출되었다(Fig. 1B). VRE를 대상균주로 실험한 결과, 구리의 경우 초기 균수가 5 log CFU/mL에서 4시간 경과 후부터 살균효과가 나타났고, 7시간 경과 후 불검출되었다. 유기, 5시간 경과 후부터 살균효과가 나타났고 8시간 경과 후 불검출되었다. 그러나 stainless steel의 경우 6일까지 초기 균수가 유지되다가 9일째 불검출되었다(Fig. 2A). *E. faecalis* 표준균주 ATCC 29212를 대상균주로 실험한 결과, 구리의 경우 초기 균수가 5 log CFU/mL에서 4시간 경과 후부터 살균효과가 나타났고, 7시간 경과 후 불검출되었다. 유기, 4시간 경과 후부터 살균효과가 나타났고 8시간 경과 후 불검출되었다. 그러나 stainless steel의 경우 6일까지 초기 균수가 유지되다가

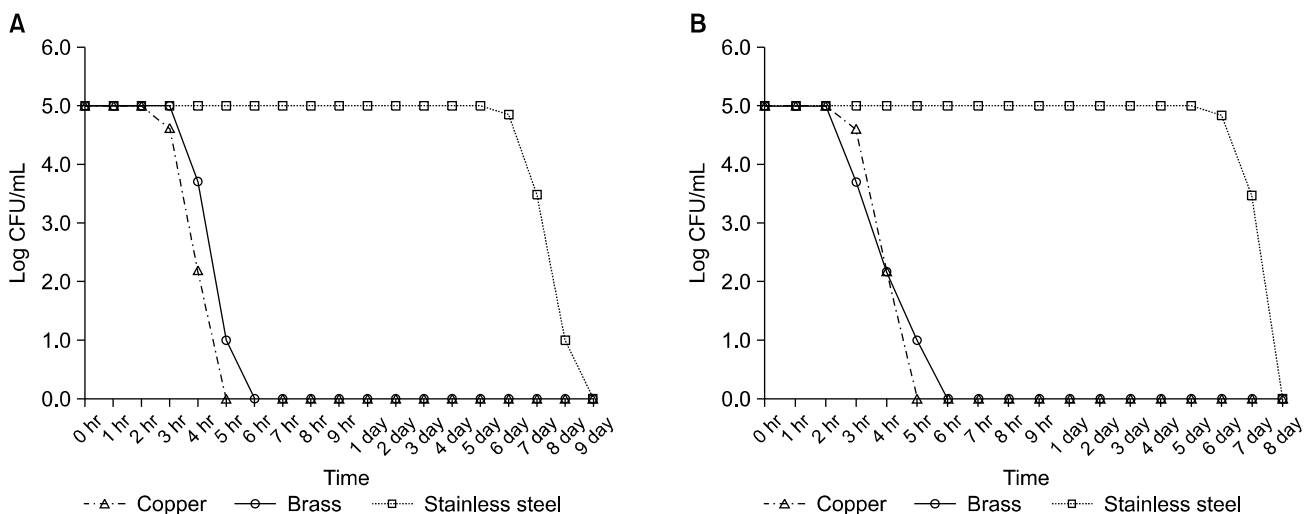


Fig. 1. (A) Viable count of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in phosphate buffered water of brass, copper and stainless steel container. (B) Viable count of *S. aureus* (ATCC 29213) in phosphate buffered water of brass, copper and stainless steel container.

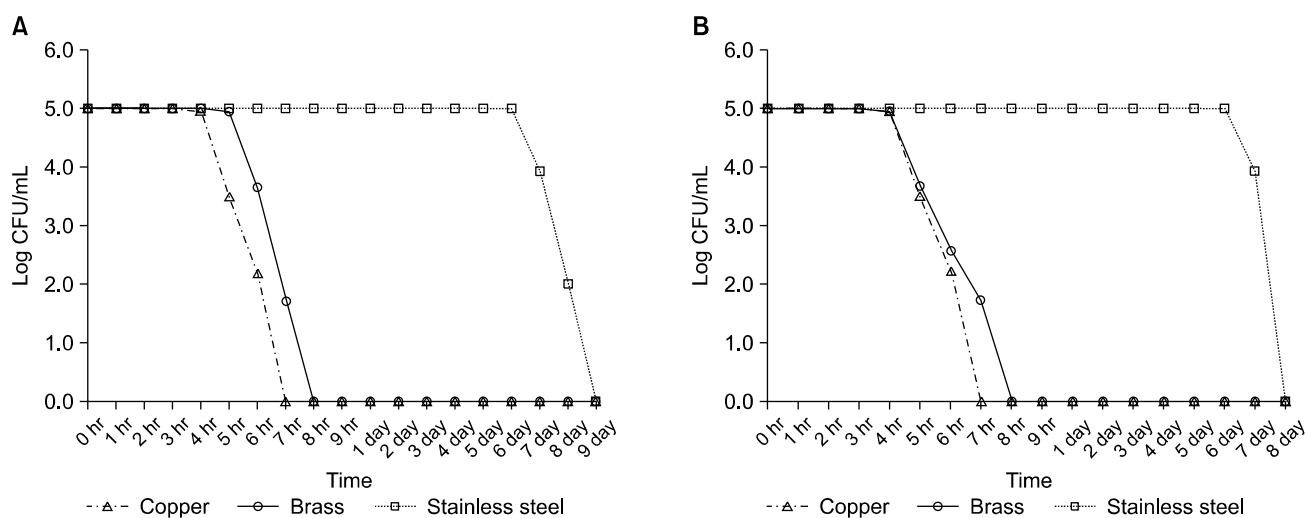


Fig. 2. (A) Viable count of vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* in phosphate buffered water of brass, copper and stainless steel container. (B) Viable count of *E. faecalis* (ATCC 29212) in phosphate buffered water of brass, copper and stainless steel container.

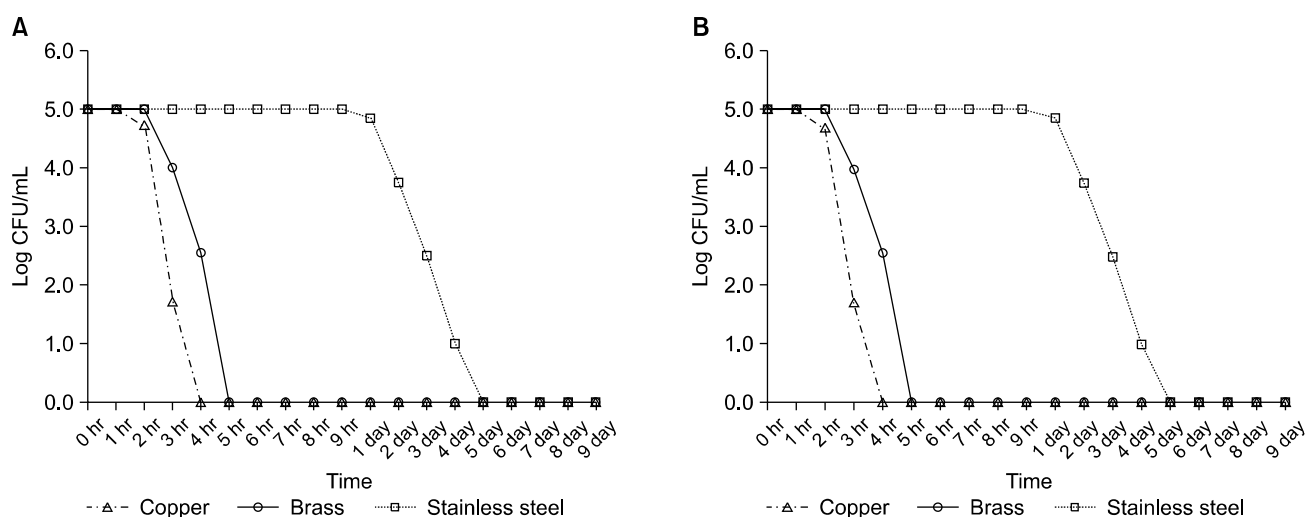


Fig. 3. (A) Viable count of *Pseudomonas aeruginosa* in phosphate buffered water of brass, copper and stainless steel container. (B) Viable count of *P. aeruginosa* (ATCC 27853) in phosphate buffered water of brass, copper and stainless steel container.

8일째 불검출되었다(Fig. 2B). MRPA를 대상균주로 실험한 결과, 구리의 경우 초기 균수가 5 log CFU/mL에서 2시간 경과 후부터 살균효과가 나타났고, 4시간 경과 후 불검출되었다. 유기의 경우 3시간 경과 후부터 살균효과가 나타났고, 5시간 경과 후 불검출되었다. 그러나 stainless steel의 경우 5일째 불검출되었다(Fig. 3A). 표준균주 *P. aeruginosa* ATCC 27853 균주로 실험한 결과, 구리의 경우 초기 균수가 5 log CFU/mL에서 2시간 경과 후부터 살균효과가 나타났고, 4시간 경과 후 불검출되었다. 유기의 경우 2시간 경과 후부터 살균효과가 나타났고, 5시간 경과 후 불검출되었다. 그러나 stainless steel의 경우 5일째 불검출되었다(Fig. 3B). 초기부터 9일까지 생존 균수를 측정한 결과, stainless steel 용기에서 MRSA와 VREFM은 8일, PA는

4일 생존하였으나, 구리의 경우 MRSA는 5시간, VREFM은 7시간, MRPA는 4시간 경과 후 불검출되었고, 유기의 경우 MRSA는 6시간, VREFM은 8시간, MRPA는 5시간 경과 후 불검출되었다.

DISCUSSION

환자와 의료인의 손이 병원 내 교차오염의 주요 원인으로 보고되고[23] 있으며, 손이 접촉하는 문손잡이, 수도꼭지, 침대레일 등도 주요 오염원으로 분석되고 있다[13]. 문손잡이 등 병원 내 주요 오염원은 대부분 stainless steel로 제작되어 있어[16] 문손잡이 등에 의한 교차 감염을 예방하기 위해 구리, 유기 및

stainless steel의 살균력을 비교 실험하였다. MRSA 5 균주를 대상으로 구리의 살균력을 실험한 결과 60분 내에 3균주가 사멸하였고 100분 내에 나머지 2균주도 사멸하였다고 보고하였으며, VREFM 균주를 대상으로 구리의 살균력을 실험한 결과 40분 내에 3균주가 사멸하였고 60분 내에 나머지 2균주도 불검출되었다[16]. 또한 MRPA 5균주를 대상으로 구리의 살균력을 실험한 결과 4균주가 60분 내에 사멸하였고 1균주는 80분 내에 사멸하였다[16]. 이러한 보고는 MRSA는 5시간 경과 후, VREFM은 7시간 경과 후, PA는 4시간 경과 후 사멸한 본 실험 결과와 비교할 때 더 강력한 살균력을 나타낸 결과로써 MRSA, VREFM, MRPA 균주를 구리 표면에 직접 접촉하여 실험한 보고와 구리 용기에 접촉균액을 보관하면서 실험한 본 실험방법의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 유기는 구리 78%와 주석 22%의 합금으로 제조된 한국 고유의 식기로[21] 구리 합금의 살균력을 실험하기 위해 실험에 사용하였다. *S. aureus* 균주를 대상으로 유기의 살균력을 실험한 결과 초기 7 log CFU/mL에서 40시간 경과 후 3 log CFU/mL로 감소하였고[21], 기존 화장실 변기의자와 수도꼭지를 유기(Cu 60-70%)로 교체하여 실험한 결과 미생물 오염도가 90% 저감되고, MRSA가 검출되지 않았다고 보고하였다[20]. 유기에 대한 살균력 실험결과 보고가 매우 미약하여 본 실험결과와 직접적인 비교분석은 곤란하였으나 유기를 이용하여도 미생물에 대한 살균효과가 나타남을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 표면산화에 따른 퇴색으로 사용이 곤란한 구리의 특성을[14] 보완할 수 있는 구리합금을 병원 내 문손잡이, 수도꼭지, 침대레일 등에 사용하여도 구리와 유사하게 살균력을 나타낼 수 있을 것으로 판단되었다. MRSA 5균주, VREFM 5균주, MRPA 5균주를 대상으로 stainless steel의 살균력을 실험한 결과 120분까지 3균주 모두 초기 균수와 유사하게 저감화되지 않았으며[16], *S. aureus* 균주가 stainless steel 표면에 4일간 생존하였다고 보고되었다[14]. 이러한 보고는 본 실험결과 stainless steel 용기에서 MRSA와 VREFM은 8일, MRPA는 4일 생존한 결과와 일치하는 결과로서 구리와 구리합금인 유기에 비해 stainless steel의 미생물 살균력은 매우 미약한 것으로 판단되었다. 본 실험에서 3가지 표준균주도 거의 비슷한 결과를 보여주었다. 본 연구결과 국내에서 분리된 항생제 다제 내성 MRSA, VREFM, MRPA 균주에 대한 구리 및 유기의 살균효과를 확인하였다. 다만 구리를 적용하면 시간이 경과함에 따라 녹이 생기는 단점이 있을 수 있으나, 구리 합금인 유기를 사용하면 녹이 생기는 단점을 보완할 수 있을 것으로 생각된다.

최근 국내 중환자실에 입원해 있던 신생아가 항생제 다제 내성 *C. freundii*균에 감염되어 사회적 문제가 야기되었으며[11], 2010년에서 2013년 사이에 병원에서 분리된 *S. aureus* 중 73.3%가 MRSA로 확인되는 등[5] 항생제 내성 균주의 병원 내 감염을 차단하기 위한 각별한 노력이 필요한 시점이다. 또한

MRSA, VREFM, MRPA 균주는 병원 환경에서 장기간 생존하여 교차오염 될 수 있기 때문에 각별한 주의가 필요하다[7-9]. 따라서 교차감염을 예방하기 위하여 병원 내 문손잡이, 수도꼭지, 침대레일 등에 구리를 적용하여 장기간 실험을 진행하고 있는 국외 사례와 같이 국내 병원에서도 구리와 유기를 이용한 병원 내 교차감염 예방 연구가 필요하다 하겠다.

REFERENCES

1. Kim JM. Antibiotic resistance of *Helicobacter pylori* isolated from Korean patients. Korean J Gastroenterol 2006;47:337-49.
2. Jevons MP. "Celbenin" - resistant staphylococci. Br Med J 1961;1: 124-5.
3. Grass G, Rensing C, Solioz M. Metallic copper as an antimicrobial surface. Appl Environ Microbiol 2011;77:1541-7.
4. Burton DC, Edwards JR, Horan TC, Jernigan JA, Fridkin SK. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* central line-associated bloodstream infections in US intensive care units, 1997-2007. JAMA 2009;301:727-36.
5. Lee H, Yong D, Lee K, Hong SG, Kim EC, Jeong SH, et al. Antimicrobial resistance of clinically important bacteria isolated from 12 hospitals in Korea in 2004. Korean J Clin Microbiol 2005;8:66-73.
6. Moon HW, Kim HJ, Hur M, Yun YM. Antimicrobial susceptibility profiles of *Staphylococcus aureus* isolates classified according to their origin in a tertiary hospital in Korea. Am J Infect Control 2014;42:1340-2.
7. Stosor V, Noskin GA, Peterson LR. The management and prevention of vancomycin-resistant enterococci. Infect Med 1996;13: 487-88, 493.
8. Breathnach AS, Cubbon MD, Karunaharan RN, Pope CF, Planche TD. Multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* outbreaks in two hospitals: association with contaminated hospital waste-water systems. J Hosp Infect 2012;82:19-24.
9. 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.
10. Kim YA, Lee H, Lee K. Contamination of the hospital environmental by pathogenic bacteria and infection control. Korean J Nosocomial Infect Control 2015;20:1-6.
11. Bae JY, Kang CK, Choi SJ, Lee E, Choe PG, Park WB, et al. Sudden deaths of neonates receiving intravenous infusion of lipid emulsion contaminated with *Citrobacter freundii*. J Korean Med Sci 2018;33:e97.
12. Dollwet HHA and Sorenson JRJ. Historic uses of copper compounds in medicine. J Trace Elem Med 1985;2:80-7.
13. Kuhn PJ. Door knobs: a source of nosocomial infection? Diagnostic Medicine. https://www.antimicrobialcopper.org/sites/default/files/upload/media-library/files/pdfs/uk/scientific_literature/kuhn-doorknob.pdf [Online] (last visited 12 November 2018).
14. Kusumaningrum HD, Riboldi G, Hazeleger WC, Beumer RR. Survival of foodborne pathogens on stainless steel surfaces and cross-contamination to foods. Int J Food Microbiol 2003;85:227-36.
15. Agarwala M, Choudhury B, Yadav RN. Comparative study of antibiofilm activity of copper oxide and iron oxide nanoparticles against multidrug resistant biofilm forming uropathogens. Indian J Microbiol 2014;54:365-8.

16. Gould SWJ, Fielder MD, Kelly AF, Morgan M, Kenny J, Naughton DP. The antimicrobial properties of copper surfaces against a range of important nosocomial pathogens. *Ann Microbiol* 2009;59:151-6.
17. Carson KC, Bartlett JG, Tan TJ, Riley TV. In vitro susceptibility of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and methicillin-susceptible *Staphylococcus aureus* to a new antimicrobial, copper silicate. *Antimicrob Agents Chemother* 2007;51:4505-7.
18. Lee EJ and Park JH. Inactivation activity of bronze alloy Yugi for reduction of cross-contamination of food-borne pathogen in food processing. *J Food Hyg Saf* 2008;23:309-13.
19. Mikolay A, Huggett S, Tikana L, Grass G, Braun J, Nies DH. Survival of bacteria on metallic copper surfaces in a hospital trial. *Appl Microbiol Biotechnol* 2010;87:1875-9.
20. Casey AL, Adams D, Karpanen TJ, Lambert PA, Cookson BD, Nightingale P, et al. Role of copper in reducing hospital environment contamination. *J Hosp Infect* 2010;74:72-7.
21. Jung MK, Lee MY, Park JH. Inhibitory effect of cupric ion diffused from brass ware on the growth of *E. coli* O157:H7, *S. typhimurium*, *S. aureus*, and *B. cereus*. *Food Sci Biotechnol* 2004;13:680-3.
22. CLSI. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing: twenty-third informational supplement. CLSI document M100-S23. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institutes; 2013.
23. Weinstein RA. Epidemiology and control of nosocomial infections in adult intensive care units. *Am J Med* 1991;91:179S-84S.

=국문초록=

금속표면이 항생제 내성균주의 생육억제에 미치는 영향

¹순천대학교 식품공학과, ²가톨릭대학교 의정부성모병원 진단검사의학과, ³가톨릭대학교 서울성모병원 진단검사의학과
김중범¹, 김재광², 김현정², 조은정², 박연준³, 이해경²

배경: 본 연구는 국내 병원에서 분리된 methicillin 내성 *Staphylococcus aureus* (MRSA), vancomycin 내성 *Enterococcus faecium* (VREFM) 및 다제 내성 multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* (MRPA) 등에 대한 구리, 유기(구리 78%, 주석 22%), stainless steel의 살균력을 비교 실험하여, 국내 병원 환경에 의한 항생제 내성 균주 교차 감염을 예방하는 데 구리와 유기활용성을 분석하고자 하였다.

방법: MRSA, VREFM, MRPA 균주는 2017년 의정부성모병원에서 분리·동정된 wild type 3균주씩을 혼합하여 사용하였으며 모두 항생제 다제 내성 균주로 나타났다. MRSA, VREFM, MRPA 균주 각각을 Tryptic soy broth (Oxoid, England)에 접종하여 35°C에서 24시간 배양한 후, 각각 초기 접종균액의 균수를 10⁵ log CFU/mL로 조정하였다. 구리, 유기, stainless steel 용기에 준비된 MRSA, VREFM, MRPA 접종균액 100 mL씩을 각각 접종한 후, 습도가 유지되도록 덮개를 덮은 후 35°C incubator에서 초기부터 9일까지 생존균수를 측정하였다.

결과: 본 연구결과 국내에서 분리된 항생제 다제 내성 MRSA, VREFM, MRPA 균주에 대한 구리 및 유기활용살균효과를 확인하였다. Stainless steel의 살균력은 구리 및 유기에 비해 매우 미약하였고, MRSA 및 VREFM에 비해 MRPA의 살균효과가 크게 나타났다.

결론: 교차감염을 예방하기 위하여 병원 내 문손잡이, 수도꼭지, 침대레일 등에 구리나 유기를 적용하여, 장기간 실험을 진행하고 있는 국외 사례와 같이, 국내 병원에서도 구리와 유기를 이용한 병원 내 교차 감염 예방 연구가 필요하다고 생각한다. [*Ann Clin Microbiol* 2018;21:80-85]

교신저자 : 이해경, 11765, 경기도 의정부시 천보로 271
가톨릭대학교 의정부성모병원 진단검사의학과
Tel: 031-820-3159, Fax: 031-847-6266
E-mail: hkl@catholic.ac.kr

Supplementary Table 1. Antibiotic profiles of the *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853

	AM	AMC	AN	ATM	AZM	CAZ	CC	CIP	DAP	E	FA	FEP	FOS	GM	GMS	IPM	LNZ	LZX	MEM	MUP	MXF	OX	P	PIP	RA	SAM	SS	SXT	SYN	TE	TEC	TOB	TZP	VA		
<i>S. aureus</i> ATCC 29213	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
<i>E. faecalis</i> ATCC 29212	S						S	S	I					S			S	S				S		S		S					R	I	S		S	
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853		S	S	S	S	S	S	S		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S										S	S	S

Abbreviations: AM, ampicillin; AMC, amoxicillin-clavulanic acid; AN, amikacin; ATM, aztreonam; AZM, azithromycin; CAZ, ceftazidime; CC, clindamycin; CIP, ciprofloxacin; DAP, daptomycin; E, erythromycin; FA, fusidic acid; FEP, cefepime; FOS, fosfomycin; GM, gentamycin; GMS, gentamycin synergy; IPM, imipenem; LNZ, linezolid; LZX, levofloxacin; MEM, meropenem; MUP, mupirocin; MXF, moxifloxacin; OX, oxacillin; P, penicillin; PIP, piperacillin; RA, rifampin; SAM, ampicillin/subactam; SS, streptomycin synergy screen; SXT, trimethoprim/sulfamethoxazole; SYN, synercid; TEC, tetracycline; TOB, tobramycin; TZP, piperacillin/tazobactam; VA, vancomycin; R, resistant; S, sensitive; I, intermediate.