

은 이온도입이 세균성장에 미치는 영향*

원광보건전문대학 물리치료과, 보건위생과

이 재 형

원광보건전문대학 보건위생과, 임상병리과

김 주 영*, 제갈 승 주

Inhibition of Bacterial Growth with Silver Wire Iontophoresis

Lee, Jae-Hyoung, M.S.

Dept. of Physical Therapy, Wonkwang Public Health Junior College

Kim, Joo-Young, Ph.D*, Jekal, Seung-Joo, M.S.

Dept. of Hygiene*, Clinical Pathology, Wonkwang Public Health Junior College

〈Abstract〉

The silver cation has broad-spectrum antibiotic activity toward Gram-positive, Gram-negative, fungal, aerobic and anerobic micro-organisms. Silver has been used to care of infected wound, pyogenic arthritis, and chronic osteomyelitis. The purpose of this study was to determine whether pure silver wire iontophoresis using milliamperage direct current has an inhibitory effect on growth *in vitro* of 3 different species of bacteria - *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, and *Pseudomonas aeruginosa*. Using agarose based media, silver iontophoresis performed at 0, 1, 2, 4, 8 mA for 15 minutes. All experiments were performed in triplicate. Following iontophoresis, inhibition zone width of bacterial growth was measured with caliper.

The inhibition of bacterial growth occurred at the anodal silver electrode. Inhibition zone width of bacterial growth was significantly increased in all three bacterial species ($p < 0.05$). Between bacterial species, inhibition zone width was not significantly different. Inhibition zone and amperage showed a highly significant positive linear relationship ($p < 0.001$).

The result of this study showed that pure silver wire iontophoresis with milliamperage direct current, as well as microamperage direct current, can inhibit bacterial growth *in vivo*.

Key Words : Iontophoresis, Silver, Bacterial infection, Wound healing, Electrotherapy.

I. 서 론

이온도입(iontophoresis)은 이온화된 약물을 연속 직류전류를 사용하여 조직으로 침투시키는 전기화학

치료의 한 방법이다. 살균목적으로 사용하는 전기치료는 저강도 직류전류 및 고전압맥동전류 (Kincaid와 Lavoie, 1989; Rowley, 1972; Barranco 등, 1974)를 사용하는 전기자극과 은(silver, Ag) 및 항생제를 사용하는 이온도입의 두 종류가 있으며, 근래에 이르러 감염부위의

* 이 논문은 1995학년도 원광보건전문대학 학술 연구비 지원에 의해 조성되었음.

살균목적으로 cefoxitin, gentamycin, penicillin, tobramycin 등 여러 종류의 항생제(LaForrest와 Cofrancesco, 1978; Greminger 등, 1980; Grossman 등, 1980; Hobden 등, 1989; Hellier 등, 1990)와 은(Ag)을 사용한 이온도입치료가 이용되고 있다. Ag의 살균작용은 오래전부터 널리 알려져 왔고 (Goodmann과 Gilman, 1975), 광범위항생능(broad-spectrum antibiotic activity)을 가지는 특성이 있어 화상감염, 궤양, 만성 골수염 등 여러 종류의 감염 창상 및 질환의 치료에 이용되고 있다(Modak과 Fox, 1973; Spadaro 등, 1974; Becker와 Spadaro, 1978; Berger 등, 1976A; Dueland 등, 1982). AgSD는 화상 감염에 효과적이며, 농도가 낮은 AgNO₃용액은 화상창 및 부종궤양의 치료에 이용되고 있고, 만성 골수염에는 순수한 은선(pure silver wire)을 매입하고 전류를 통전시키는 치료방법이 제시되고 있다 (Becker와 Spadaro, 1978; Webster 등, 1981).

은 이온도입은 은선(silver wire)과 같은 순수한 은(pure silver)이나 silver sulfadiazine (AgSD), silver nitrate (AgNO₃), silver chloride (AgCl)등의 은 화합물을 사용하여 이루어지고 있다 (Berger 등, 1976A; Modak과 Fox, 1973; Kramer 등, 1981). 은 화합물은 쉽게 해리되지만 AgNO₃의 경우 nitrate이온도 함께 조직에 침투되어 조직경화와 같은 부작용이 유발될 수 있다. 은은 용해도(solubility)가 낮고 단백질과 결합하여 은염으로 침전되기 때문에 외용시 은 이온이 깊이 침투되지 못하며 은 이온이 조직 및 혈청 단백질에 결합하면 살균력이 저하된다 (Spadaro와 Becker, 1976; Harrison, 1979; Spadaro 등, 1983). 그러나 직류전류 통전으로 은 이온이 활성화되면 조직에서 지속적으로 이동하여 감염 창상 부위에 용이하게 도달, 살균작용을 하기 때문에 국소 부위에 선택적으로 적용할 수 있다.

Spadaro와 Becker(1976)는 μ A 단위의 직류전류로 은 이온을 도입하여 *S. aureus*와 *E. coli*의 살균효과가 있음을 보고하였고, Becker와 Spadaro (1978)는 silver wire 및 silver nylon에 μ A 단위의 직류전류를 통전시켜 *S. aureus*, *hemolytic streptococcus*, *E. coli*, *P. aeruginosa* 등의 감염으로 인한 골수염을 치료한 바 있으며, Falcone과 Spadaro(1985)는 4 μ A의 직류전류로 은 이온도입하여 *S. aureus*, *S. epidermis*, *P. aeruginosa*, *E. coli*, *Streptococcus*, *Serratia mar*

*cessans*의 살균효과를 보고하였다.

위의 보고에서 사용한 은 이온도입은 모두 μ A 단위의 직류전류를 사용하였다. 그러나 일반적으로 이온도입에 사용하는 대부분의 전기자극기는 mA 단위의 직류전류가 출력되고 있으며, μ A 단위의 직류전류 발생장치는 흔치 않아 구입하기가 어렵고 또한 값도 비싸 은 이온도입이 치료에 널리 이용되지 못하고 있는 실정이다.

최근 저자들은 예비실험에서 mA 단위의 직류전류를 사용하여 Ag 및 AgNO₃를 이온도입한 결과 세균 성장이 억제됨을 관찰한 바 있어 일반적으로 많이 사용하고 있는 mA 단위의 직류전류를 사용하여 그람 양성균, 그람 음성균 및 녹농균을 대상으로 전류량을 변화시키면서 은 이온도입하여 첫째, mA 단위의 직류전류를 사용한 은 이온도입이 세균성장을 억제하는지를 규명하고 둘째, 전류량과 세균 성장 억제가 상관성이 있는지 여부와 셋째, 세균의 종류에 따라 성장 억제의 차이가 있는지를 규명하기 위해 본 실험을 수행하였다.

II. 연구방법

1. 실험재료

실험에 사용한 균주는 그람 양성균인 *Staphylococcus aureus* (ATCC No. 25923, American Type Culture Collection, 12301 Paklawn Dr, Rockville, MD 20852), 그람 음성균인 *Escherichia coli* (ATCC No. 25922, American Type Culture Collection, 12301 Paklawn Dr, Rockville, MD 20852) 및 *Pseudomonas aeruginosa*를 10% skim milk로 -20 $^{\circ}$ C에서 냉동보관해 두었다가 이들 표준균주를 취하여 멸균한 tryptic soy broth (TSB, M 49800, Gibco Laboratories, Life Technologies, Inc., Madison, WI 53713)에 접종하여 37 $^{\circ}$ C에서 12시간 이상 계대배양한 후 혈액천배지 (BAP)에 12시간 이상 계대배양한 다음 풍부한 균주를 취하여 다시 신선한 tryptic soy broth에 접종하여 균수가 1.5×10^6 mL가 되도록 McFarland 제 0.5관을 사용하여 탁도를 조절하였다.

2. 전극

자극전극은 은선(silver wire)을 사용하였으며 비

활성전극은 강철선(steel wire)을 사용하였다. 은선은 99.99%의 은을 녹여 직경 1.0mm, 길이 150mm가 되도록 제작한 후 petri dish에 고정하기 용이하도록 양끝 40mm 지점에서 직각으로 구부렸다. 강철선은 직경 0.91mm의 Dentaurum (Informations Service, Turnstraße 31-D-7536 Ispringen, Germany)을 길이 150mm가 되도록 절단한 후 petri dish에 고정하기 용이하도록 양끝 40mm 지점에서 직각으로 구부렸다.

3. 실험방법

Lamina flow안에서 3종류의 균주 현탁액 100 μ L를 취하여 한가지 자극조건 당 3개씩 Muller-Hinton Agar배지 (Muller-Hinton II Agar, BBL Microbiology Systems, Becton Dickinson and Co., Cockeysville, MD, 21030)에 각각 확산 도말 접종한 후 멸균된 전극을 petri dish안에 50mm의 거리를 두고 고정시켰다. 220V, 60Hz의 전원을 공급받고 최대출력이 100mA인 전기자극기 (EST 204 Multi-Stim, Escotek, Finland)의 양극에 은선을, 음극에 강철선을 연결하고 연속직류(constant direct current)로 15분 동안 통전시켰다. 0mA균은 전극만 고정시켰고, 1mA, 2mA, 4mA, 8mA균은 전기자극기에 장착된 전류제와 시계로 전류량과 시간을 정확하게 조절하여 통전시켰다.

전기자극 후 균주들을 37 $^{\circ}$ C의 incubator에서 24시간 배양한 후 0.05mm단위로 길이를 측정할 수 있는 캘리퍼(Mitutoyo, Japan)를 사용하여 육안적으로 관찰되는 세균 성장 억제대(inhibition zone)의 길이를 측정하였다.

4. 자료분석

전류량에 따라 세균의 성장 억제대가 차이 나는지 알아보기 위해 세균별로 일원 분산분석을 하였고, 균종에 따라 성장 억제대가 차이 나는지 알아보기 위해 균종간 세균 성장 억제대를 일원 분산분석하였다. 또한 전류량과 세균의 성장 억제대 상관계수가 있는지 알아보기 위해 균종을 무시하고 세균 성장 억제대를 회귀분석하였다. 모든 통계분석은 SPSS/PC+를 사용하였다.

III. 결 과

S. aureus, *E. coli* 및 *P. aeruginosa*의 전류량에 따른 성장 억제대는 Table 1 및 Fig. 1과 같았고, 전류량에 따른 성장 억제대를 일원 분산분석한 결과 모든 세균에서 성장 억제대가 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.001$) (Table 2).

*S. aureus*의 성장억제대를 Duncan 다중검정으로 사후 검정한 결과 1mA, 2mA, 4mA, 8mA균은 모두 0mA균보다 세균의 성장 억제대가 유의하게 증가하였으며 ($p < 0.05$), 8mA균은 1mA균보다 성장 억제대가 유의하게 증가하였다 ($p < 0.05$).

*E. coli*의 성장 억제대를 Duncan 다중검정으로 사후 검정한 결과 1mA, 2mA, 4mA, 8mA균은 모두 0mA균보다 성장 억제대가 유의하게 증가하였으며 ($p < 0.05$), 8mA균은 1mA균 및 2mA균보다 성장 억제대가 유의하게 증가하였다 ($p < 0.05$).

*P. aeruginosa*의 성장 억제대를 Duncan 다중검정으로 사후 검정한 결과 2mA, 4mA, 8mA균은 모두 0mA균보다 성장 억제대가 유의하게 증가하였으며 ($p < 0.05$). 4mA균은 1mA균 보다, 8mA균은 1mA균 및 2mA균보다 성장 억제대가 유의하게 증가하였다 ($p < 0.05$).

S. aureus, *E. coli* 및 *P. aeruginosa*의 3 균주의 성장 억제대를 일원 분산분석한 결과 균주간에는 유의한 차이가 없었다 (Table 3). 전류량에 따른 세균 성장 억제대를 회귀분석한 결과 양의 상관관계 (positive correlation)를 보여 전류량이 증가함에 따라 세균 성장 억제대가 유의하게 증가하였고 ($r = 0.79$, $p < 0.001$) (Table 4), 회귀방정식은 다음과 같았다.

$$\text{inhibition zone (mm)} = 3.631 + 1.03 \times \text{mA}$$

Table 1. Mean and standard deviation of inhibition zone (mm) of 3 species of microorganisms for different amperage.

	<i>S. aureus</i>	<i>E. Coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>
0 mA	1.70 \pm 0.75	1.51 \pm 1.57	1.17 \pm 1.39
1 mA	7.26 \pm 0.95	5.50 \pm 0.29	3.48 \pm 1.04
2 mA	9.24 \pm 1.55	6.71 \pm 1.02	5.96 \pm 0.84
4 mA	10.13 \pm 2.44	7.17 \pm 1.24	7.85 \pm 1.80
8 mA	11.28 \pm 2.63	8.89 \pm 0.61	13.04 \pm 2.79

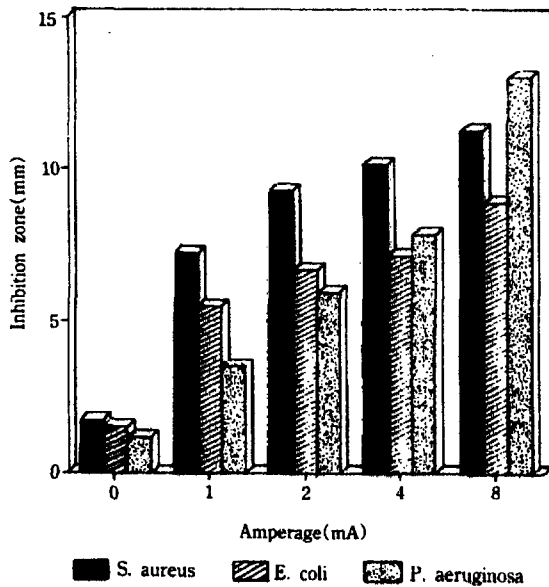


Fig. 1. Inhibition zone widths (mm) of *S. aureus*, *E. coli* and *P. aeruginosa* at anode after exposure to constant direct current at 0, 1, 2, 4 and 8 mA for 15 minutes. The zone was measured from the edge of the silver wire to the outer edge of the zone. Each measurement was a means of triplicated experiments.

Table 2. ANOVA summary of inhibition zone for 3 microorganisms according to amperage.

	DF	SS	MS	F	p
<i>S. aureus</i>	4	171.2041	42.8010	12.7831	0.0006
<i>E. coli</i>	4	91.8295	22.9574	20.8163	0.0001
<i>P. aeruginosa</i>	4	246.6535	61.6634	20.8257	0.0001

Table 3. One way ANOVA between 3 microorganisms.

Source	DF	SS	MS	F	p
Between Groups	2	33.1557	16.5778	1.1921	0.3136
Within Groups	42	584.0644	13.9063		
Total	44	617.2201			

Table 4. Results of multiple regression analysis for 3 microorganisms.

	B	SE B	Beta	T	p
0.94192	1.031083	0.123078	0.787454	8.378	0.0000
(constant)	3.631417	0.507462	7.156	0.0000	

IV. 고 찰

은 이온은 그람 양성균, 그람 음성균, 호기성 세균, 혐기성 세균, 녹농균, 진균 등 거의 모든 종류의 균에 광범위한 항균력이 있다. 전기적으로 활성화된 은 이온은 국소 조직에 독성 및 부작용이 없고, 혈관분포가 없는 조직에서도 침투 깊이가 약 1cm에 달하며, 국소 부위에 선택적으로 적용할 수 있어 최근 은 이온도입은 여러 임상분야에서 관심의 대상이 되고 있다 (Modak과 Fox, 1973; Spadaro 등, 1974; Berger 등, 1976A; Berger 등, 1976B; Spadaro와 Becker, 1976; Becker와 Spadaro, 1978; Spadaro 등, 1979; Falcone과 Spadaro, 1986).

Spadaro와 Becker(1976)는 *S. aureus*를 15 μ A의 직류전류로 4시간 자극한 후 전자현미경으로 관찰한 결과 음극쪽은 세균이 정상형태를 유지하였으나 은이 석출된 양극쪽에서는 세균의 세포에서 불규칙한 격막 (erratic septa)이 나타나고 mesosome이 치밀 비대 해지며 세포질막이 분리되는 등 세포가 불완전해짐을 관찰하였고, 0.04 μ A, 0.4 μ A, 4 μ A, 40 μ A의 직류 전류로 *E. coli*에 은 이온도입한 결과 다른 단백질의 억제와 마찬가지로 DNA로 부터의 전사 또는 번역 단계를 저해하여 β -galactosidase의 합성이 억제된다 하였다. 즉 전기적으로 활성화된 은 이온이 세균의 세포막 기능 및 DNA에 영향을 주어 단백질합성을 억제시켜 살균작용이 나타난다고 하였다.

전류로 활성화된 은 이온은 동물세포에 부작용을 일으키지 않고 전기화학작용으로 여러 종류의 세균에 살균작용을 하는 것으로 알려져 있다. Berger 등 (1976 A)은 전류로 활성화된 은 이온 4 μ g/cm²의 농도에서 생쥐의 골수세포를 세포배양한 결과 비정상적인 세포용해, 유착, 왜곡 등이 나타나지 않으며 세포막이 정상유지하여 은 이온도입은 포유동물세포에 부작용을 일으키지 않는다고 하였다.

Modak과 Fox(1973)는 화상 감염의 가장 흔한 원인균인 *P. aeruginosa*를 대상으로 AgSD의 최소억제농도(minimal inhibition concentration, MIC)를 조사한 결과 0.05~0.10 μ mol/mL에서 정균작용(bacteriostatic effect)이, 0.20 μ mol/mL에서는 살균작용이 나타남을 보고하여 농도가 높아질수록 살균효과가

잘 나타남을 보여주었다. 상온에서 AgSD는 물 100 mL당 0.5 μ mol이, 영양배지 100mL에서는 0.75~0.80 μ mol이 용해되기 때문에 AgSD용액 자체도 효과적으로 살균작용을 할 수 있다. 그러나 AgSD나 AgNO₃ 등은 쉽게 해리되지만 은 화합물을 사용하여 이온도입을 하면 nitrate이온을 비롯하여 다른 이온들도 함께 조직에 침투되어 조직경화와 같은 부작용이 유발될 수 있기 때문에 은 이온도입에서는 은 화합물을 사용하는 것 보다 순수한 은을 사용하는 것이 좋다.

은 자체는 용해도가 낮고 깊이 침투되지 못하지만 직류전류 통전으로 은 이온이 활성화되면 조직의 국소부위에 선택적으로 도달하며 특히 전기적으로 활성화된 은 이온은 AgSD를 비롯하여 다른 항생제보다 최소억제농도 (MIC)가 1~100배 정도 낮아서 효과적으로 살균작용을 할 수 있다 (Berger 등, 1976A, B).

Becker와 Spadaro(1978)는 *S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*, *Enterococci*, β -hemolytic streptococcus, *Streptococcus viridans*, *Acinobacter calcoaceticus*, *Proteus mirabilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Serratia liquifaciens* 등의 감염으로 인한 만성골수염 환자에게 silver wire 또는 silver nylon을 사용하여 1 μ A, 3 μ A, 3.5 μ A, 6.7 μ A, 8.3 μ A, 0.9V의 저항도 직류전류로 자극하여 양극에서 살균효과가 나타났고 음극에서 골형성이 일어나 만성 골수염이 치유되었음을 보고한 바 있다.

Spadaro와 Becker (1976)는 한천배지에 *S. aureus* 및 *E. coli*를 접종하고 직경 0.4mm, 길이 2cm의 99.99% pure silver wire를 사용하여 0.4 μ A, 4 μ A, 40 μ A의 저항도 직류전류로 자극한 결과 양극에서 살균효과가 나타났다고 하였고, 토끼의 경골을 *S. aureus*로 감염시키고 40 μ A 및 20 μ A의 직류전류로 1시간 동안 은 이온도입한 결과 73~83%에서 감염이 치유되었다고 하였다. Falcone과 Spadaro (1985)도 한천배지에 *S. aureus*, *S. epidermis*, *P. aeruginosa*, *E. coli*, *Streptococcus*, *Serratia marcescans*를 접종하고 silver nylon strip을 사용하여 4 μ A의 직류전류로 은 이온도입한 결과 세균 성장 억제대가 3.5~4.5 mm였다고 하였다.

본 실험에서 전류량에 따른 세균 성장 억제대를 회귀분석한 결과 유의한 선 상관관계를 보여 전류량이 증가함에 따라 세균 성장 억제대가 증가하여, 전류량이

증가함에 따라 살균효과의 정도가 증가하였다. Spadaro와 Becker(1976)도 전류량이 증가하면 은 이온농도가 증가하고 이에 따라 살균력이 증가한다고 하였다. 전기화학적 관점에서 전류량이 증가함에 따라 전류에 의해 석출되는 은 이온의 양이 증가되는 것은 잘 알려져 있다. 본 실험에서는 은 이온농도를 측정하지 않았지만 이들 견해를 종합하면 전류량이 증가함에 따라 은 이온농도가 높아져 세균 성장 억제대가 더 증가했다고 사료된다.

또한 *S. aureus*, *E. coli* 및 *P. aeruginosa*의 3 균주의 성장 억제대를 일원 분산분석한 결과 균주간에는 유의한 차이가 없어 은 이온도입으로 여러 종류의 세균 성장이 억제됨을 알 수 있었다. 이는 은 이온이 세균의 세포벽의 차이와는 큰 관계가 없고 주로 세포막에 결합하는 특성 때문인 것으로 생각된다.

본 실험에서 *S. aureus*, *E. coli* 및 *P. aeruginosa*를 한천배지에 접종한 후 99.99% pure silver wire를 양극에 연결하고 0mA, 1mA, 2mA, 4mA, 8mA의 직류전류를 통전시킨 결과 1~2 mA에서부터 8mA에 이르기 까지 3종의 세균 모두 성장 억제대가 증가하였으며 대체로 4mA와 8mA에서 세균성장 억제대가 두드러지게 나타나 mA단위를 사용한 은 이온도입이 세균 성장을 억제하고 있음을 보여주었다.

은의 이온도입에 대해서는 μ A 단위의 직류전류를 사용한 문헌이 주종을 이루고 있지만, Cornwell (1981)은 4~5mA의 직류전류로 zinc를 이온도입하여 궤양을 치료하였고, LaForrest와 Cofrancesco (1978)는 염증부위에 gentamicin sulphate를 1~5mA로 치료한 바 있고, Gangarosa (1989)는 대상포진에 0.5mA의 직류전류로 항바이러스제를 이온도입하였으며, 최근에 빈번히 사용하고 있는 국소마취제 이온도입도 1~5 mA의 직류전류를 사용하고 있다 (Russo 등, 1980; Zelter 등, 1991).

또한 Wieder (1992)는 화골성근염에 acetic acid를 4mA의 직류전류로, Kahn (1982)은 Peyronie's병에 hydrocortisone연고를 5mA의 직류전류로 이온도입하여 치료하였고, Martucci (1936)는 15~20mA의 전류로 mecholyl 이온도입을 하였으며, Kinnard와 Riemer (1958)는 copper 무기이온을 8~10mA의 전류량으로 이온도입하는 등 대부분의 이온도입은 mA 단위의 직류전류를 사용하고 있다.

μ A 단위의 직류전류를 사용한 Falcone과 Spadaro

(1985)의 *in vitro*에서 실험에서 세균 성장 억제대가 3.5~4.5mm였음에 비해, mA 단위의 직류전류를 사용한 본 실험에서 전류량과 균중에 따라 세균 성장 억제대가 최소 3.48mm에서 최대 13.04mm로 나타나, 실험조건이 달라 직접적인 비교는 할 수 없지만, mA 단위의 직류전류를 사용한 은 이온도입이 살균효과가 더 우수함을 보여주고 있다.

이러한 결과는 앞으로 *in vivo*에서 mA단위의 직류전류를 사용한 은 이온도입이 살균효과가 우수하고 생체조직에 부작용을 일으키지 않는다면 특히 항생제의 침투가 어려운 국소부위에 내성이 강한 세균 감염의 치료에 유용하게 활용될 수 있으리라 기대된다.

V. 결 론

본 연구는 mA 단위의 직류전류를 사용한 은 이온도입이 세균성장을 억제하는지의 여부와 세균의 종류에 따라 성장 억제도의 차이가 있는지 및 전류량과 세균 성장 억제도가 상관성이 있는지의 여부를 규명하고자 그람 양성균인 *Staphylococcus aureus*, 그람 음성균인 *Escherichia coli*와 *Pseudomonas aeruginosa*를 확산 도말 접종한 Muller-Hinton Agar배지에 연속직류전류가 발생되는 전기자극기의 양극에 온선을, 음극에 강철선을 연결하고 0 mA, 1 mA, 2 mA, 4 mA, 8 mA의 전류량으로 15분 동안 통전시킨 후 균주들을 37°C의 incubator에서 24시간 배양한 후 세균 성장 억제대의 길이를 측정하였다.

실험결과 *S. aureus*는 1mA, 2mA, 4mA, 8mA군 모두 0mA군보다 세균의 성장 억제대가 유의하게 증가하였으며 ($p < 0.05$), 8mA군은 1mA군보다 성장 억제대가 유의하게 증가하였다 ($p < 0.05$). *E. coli*는 1mA, 2mA, 4mA, 8mA군 모두 0mA군보다 세균의 성장 억제대가 유의하게 증가하였으며 ($p < 0.05$), 8mA군은 1mA군 및 2mA군보다 성장 억제대가 유의하게 증가하였다 ($p < 0.05$). *P. aeruginosa*는 2mA, 4mA, 8mA군 모두 0mA군보다 성장 억제대가 유의하게 증가하였으며 ($p < 0.05$), 4mA군은 1mA군보다, 8mA군은 1mA군 및 2mA군보다 성장 억제대가 유의하게 증가하였다($p < 0.05$).

S. aureus, *E. coli* 및 *P. aeruginosa*의 3 균주의 성장 억제대를 일원분산분석한 결과 균주간에는 유의한

차이가 없었다.

전류량에 따른 세균 성장 억제대의 회귀분석 결과 양의 상관관계 (positive correlation)를 보여 전류량이 증가함에 따라 세균 성장 억제대가 유의하게 증가하였다 ($r=0.79$, $p < 0.001$).

참 고 문 헌

- Barranco, S.D., Spadaro, J.A., Berger, T.J., & Becker, R.O. : In vitro effect of weak indirect current on *Staphylococcus aureus*. Clin. Orthop. 100 : 250-255, 1974.
- Becker, R.O., & Spadaro, J.A. : Treatment of orthopaedic infections with electrically generated silver ions. A preliminary report. J. Bone Joint Surg. 60A : 871-881, 1978.
- Berger, T.J., Spadaro, J.A., Chapin, S.E., & Becker, R.O. : Electrically generated silver ions : Quantitative effects of bacterial and mammalian cells. Antimicrob. Agents Chemother. 9 : 357-358, 1976A.
- Berger, T.J., Spadaro, J.A., Bierman, R., Chapin, S.E., & Becker, R.O. : Antifungal properties of electrically generated metallic ions. Antimicrob. Agents Chemother. 10 : 856-860, 1976B.
- Cornwell, M.W. : Zinc iontophoresis to treat ischemic skin ulcers. Phys. Ther. 61 : 359-360, 1981.
- Dueland, R., Spadaro, J.A., & Rahn, B.A. : Silver antibacterial bone cement. Comparison with gentamicin in experimental osteomyelitis. Clin. Orthop. 169 : 264-268, 1982.
- Falcone, A.E., & Spadaro, J.A. : Inhibitory effects of electrically activated silver material on cutaneous wound bacteria. Plast. Reconstr. Surg. 77 : 455-458, 1986.
- Gangarosa, L.P. Sr., Payne, L.J., Hayakawa, K., McDaniel, W.J., Davis, R.E., & Thompson, B.M. : Iontophoretic treatment of herpetic whitlow. Arch. Phys. Med. Rehabil. 70 : 336-340, 1989.
- Goodmann, L.S., & Gilman, A. : The Pharmacological Basis of Therapeutics. 5th ed., Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 930-931, 1975.
- Greminger, R.F., Elliott, R.A. Jr., & Rapperport, A. : Antibiotic iontophoresis for the management of burned ear chondritis. Plast. Reconstr. Surg. 66 : 356-360, 1980.
- Grossman, R.E., Chu, D.F., & Lee, D.A. : Regional ocular gentamicin levels after transcorneal and transscleral iontophoresis. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 31 : 909-916, 1990.

- Harrison, H.N. : Pharmacology of sulfadiazine silver. Its attachment to burned human and rat skin and studies of gastrointestinal absorption and extension. Arch. Surg. 114(3) : 281-285, 1979.
- Hellier, M., Boersm P., & Lambert, G.A. : Regional ocular gentamicin levels after transcorneal and transscleral iontophoresis. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 31 : 909-916, 1990.
- Hobden, J.A., O'Callaghan, R.J., Hill, J.M., Reidy, J.J., Rootman, D.S., & Thompson, H.W. : Tobramycin iontophoresis into corneas infected with drug-resistant. Curr. Eye. Res. 8 : 1163-1169, 1989.
- Kahn, J. : Use of iontophoresis in Peyronie's disease : A case report. Phys. Ther. 62 : 995-996, 1982.
- Kincaid, C.B., & Lavoie, K.H. : Inhibition of bacterial growth in vitro following stimulation with high voltage, monophasic, pulsed current. Phys. Ther. 69 : 651-654, 1989.
- Kinnard, C.M., Riemer D : Five-year study of treatment of bromidrosis and epidermophytosis with copper iontophoresis. Phys. Ther. 38 : 412-417, 1958.
- Kramer, S.J., Spadaro, J.A., & Webster, D.A. : Antibacterial and osteoinductive properties of demineralized bone matrix treated with silver. Clin. Orthop. 161 : 154-162, 1981.
- LaForrest, N.T., & Cofrancesco, C. : Antibiotic iontophoresis in the treatment of ear chondritis. Phys. Ther. 58 : 32-34, 1978.
- Martucci, A.A. : Glycocol-Mecholyl iontophoresis in the treatment of muscular dystrophy. Phys. Ther. 16 : 242-243, 1936.
- Modak, S.M., & Fox, CL Jr. : Binding of silver sulfadiazine to the cellular components of *Pseudomonas aeruginosa*. Biochem. Pharmacol. 22 : 2391-2404, 1973.
- Rowley, B.A. : Electrical current effects on *E. coli* growth rates. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 139 : 929-934, 1972.
- Russo, J., Lipman, A.G., Comstock, T.J., Page, B.C., & Stephen, R.L. : Lidocaine anesthesia : comparison of iontophoresis, injection, and swabbing. Am. J. Hosp. Pharm. 37 : 843-847, 1980.
- Spadaro, J.A., & Becker, R.O. : Some specific cellular effects of electrically injected silver and gold ions. Biogeochem. Bioenerget. 3 : 49-57, 1976.
- Spadaro, J.A., Berger, T.J., Barranco, S.D., Chapin, S.E., & Becker, R.O. : Antibacterial effects of silver electrodes with weak direct currents. Antimicrob. Agents Chemother. 6 : 637-642, 1974.
- Spadaro, J.A., Webster, D.A., & Becker, R.O. : Silver polymethyl methacrylate antibacterial bone cement. Clin. Orthop. 143 : 266-270, 1979.
- Webster, D.A., Spadaro, J.A., Becker, R.O., & Kramer, S. : Silver anode treatment of chronic osteomyelitis. Clin. Orthop. 161 : 105-114, 1981.
- Wieder, D.L. : Treatment of traumatic myositis ossificans with acetic acid iontophoresis. Phys. Ther. 72 : 133-137, 1992.
- Zeltzer, L., Regalado, M., Nichter, L.S., Barton, D., Jennings, S., & Pitt, L. : Iontophoresis versus subcutaneous injection : a comparison of two methods of local anesthesia delivery in children. Pain 44 : 73-78, 1991.