

# 전기자극이 치조골 치유과정에 미치는 영향

양승한 · 이만섭 · 박준봉 · 허익

경희대학교 치과대학 치주과학교실

## I. 서론

치주조직은 치은, 치조골, 백악질 및 치주인대로 구성되며 형태학적 및 기능적으로 다양한 구조를 갖는 세포들의 집합체로 이루어져 있다. 치주치료의 궁극적 목표는 치주질환으로 인해 소실된 치주조직을 정상적 구조로 만들며 기능을 회복하도록 재생하는 것이나, 치주조직을 구성하고 있는 여러 가지 세포 및 요소들의 복잡다양성때문에 상실된 치주조직을 재생시키기 위한 조건 및 환경부여에 많은 어려움이 있어 임상적으로 용이하지는 않다.

치주질환으로 파괴된 치주조직을 재생시키려는 여러 가지 시술방법이 연구되어 왔으며 이에 대한 임상적용도 다양하게 시도되어 왔다. 치주조직의 재생을 위하여 사용하였던 술식에는 골이식술<sup>1-2)</sup>, 치근면 치치술<sup>3-5)</sup>, 조직유도 재생술<sup>6-8)</sup>, 성장인자를 이용하는 방법<sup>9-10)</sup> 등이 있다. 치주조직의 재생 중에 치조골 형성이 가장 어려우며, 중요한 요소이다. 골형성을 촉진할 수 있는 방법에는 차폐막을 이용한 골유도 재생술, BMP-2, BMP-4, TGF- $\beta$ , IGF-II 등과 같은 성장인자의 이용, 골유도 재생술과 성장인자의 복합적용 및 전기자극 등이 있으며 지금까지도 이에 대한 여러 가지 실험들이 이루어지고 있다.

Volta전자가 발명된 이후로 전기를 의약적인 목적으로 이용하려는 많은 시도들이 있었다. 그 중에서도 골과 관련된 전기자극의 이용에 대한 최초의 임상시도는 19세기에 비유합성 경골 골절에 이용하여 성공적인 치료 결과가 보고된 바 있다<sup>11)</sup>. 그러나, 이 시기의 전기자극의 임상적 이용은 과학적인 기초 하에서 이루어진 접근이라기보다는 다소 비과학적 측면이 더 강하였다.

Yasuda 등(1953)<sup>12)</sup>이 전기자극을 이용하여 실험적으로 골이 형성됨을 보고하였고, 이후에 장골에 외력을 기해 쪼을 때, piezoelectrical current가 발생한다는 것이 발견되면서<sup>13-14)</sup> 정형외과 영역에서 치료의 한 방법으로 전기자극을 이용하게 되었다. Bassett 등(1964)<sup>15)</sup>은 비글견의 대퇴골 골절실험모델에서 전기자극을 가하였을 때 음극에서 골형성이 촉진된다고 보고하였다. 인간을 대상으로 한 임상 연구들에서는 기존의 방법으로 치료되지 않은 비유합성 골절부의 치료나 가관절증의 치료를 위해 전기자극을 적용하여 치유촉진 및 골설희화가 촉진된다고 하였다<sup>16-20)</sup>.

전기자극이 골형성과 연관되어 세포에 미치는 영향으로는 첫째, DNA, RNA, 단백질 합성증가, 둘째, 세포증식 셋째, 칼슘 이온의 결합, 넷째, 면역 반응, 다섯째, 호르몬, 효소, neurotransmitter 같은 mem-

brane signal transduction 등을 들 수 있다<sup>21)</sup>. 또한 전기자극이 골막세포에서 골전구세포로 증식을 촉진시키고, 골전구세포가 골아세포를 거쳐 골세포로 분화하는 것을 촉진한다는 연구들이 보고되었다<sup>22)</sup>.

한편 치과영역에서 piezoelectrical current가 개의 하악골<sup>23)</sup>과 인간의 하악골<sup>24)</sup>에서 각각 발견되었는데 골에 기계적 부하가 가해지면 전위가 형성되어 골대사와 골형성을 변화, 촉진시킨다는 가설을 뒷받침해 주었다. 치조골도 전기자극에 의해 장골에서와 동일한 양상으로 반응한다고 보고되었고 전기자극이 치아이동을 촉진시킬 수 있으며<sup>25-27)</sup> 구개열 수술 후 치유를 촉진시킨다는 보고도 있었다<sup>25)</sup>. 김과 정(1997)은 3급 분지부 골결손부에 골이식후 전기자극시 치조골 재생의 증진을 보고 하였다<sup>28)</sup>. 최근에 이등(1999)<sup>29)</sup>의 세포실험모델에서 치주인대세포에 0.25, 1.0, 2.5 $\mu$ A의 전기자극을 12시간 동안 가한 군을 실험군으로, 전기 자극을 하지 않고 표준 배양액에서 배양시킨 군을 대조군으로 하여 세포 분주 후 24시간 뒤에 실험군에 전기자극을 가하고, 분주 후 4일째에 세포를 처리하여 알칼리성 인산분해효소 활성도를 측정한 결과 활성도가 증가함을 보여줌으로써 전기자극이 조직의 치유와 재생에 영향을 줄 수 있음을 보고하였다.

반면 Jacobs와 Norton(1976)<sup>30)</sup>은 비글견에서 치조골 결손부에 전기자극을 가하고 조직학적으로 계측하였을 때 골수강내로의 골침착이 증가되었으나, 임상적, 방사선학적으로는 유의성 있는 결손부 감소는 없었다고 보고하였다. Steffensen 등(1988)<sup>31)</sup>은 23명의 치주수술환자를 대상으로 8주간 코일이 들어있는 bite plane splint를 이용하여 전기자극을 주어 12개월, 18개월 후 부착수준, 치주낭 깊이, 방사선상의 치조골 높이 등을 측정한 결과 유의성 있는 차이를 발견하지 못하였다. Harris 등(1979)<sup>32)</sup>도 개와 토끼를 이용하여 20 $\mu$ A 전기자극을 medullary canal에 적용한 결과 골형성효과를 발견하지 못하였다.

전기자극에 대한 이상의 상반된 결과를 토대로 본 연구에서는 백서의 상악 제1대구치 발치와 모델을 이용하여 여러 가지 전기자극의 유무 및 양에 따른 치조골 치유과정을 조직학적으로 분석하여 전기자

극이 골형성에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보고자 본 실험을 실시하였다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

실험대상으로는 100gm전후의 웅성백서 40마리를 이용하였고 이들은 모두 임상적으로 염증이 없는 건강한 치주조직을 가지고 있었다.

본 실험에 이용된 전기자극기는 Acutron Multi-wave 911 기기 (Micro-current Research, INC., USA)가 이용되었다. 본 기기는 0.1 $\mu$ A에서 60mA까지의 전류강도 및 0.1-990Hz의 주파수 크기를 조절할 수 있으며, 4개의 독립된 출력채널을 가지고 있다.

### 2. 실험방법

#### 1) 치아의 발거

대부분의 치주인대를 발치와 내의 치조골에 균일한 넓이로 잔존시키고 발치를 용이하게 하기 위해서 치아의 발거 전 5일 동안  $\beta$ -aminopropionitrile (Sigma Chemical Co., USA)을 중류수에 0.4% 혼합하여 수분으로 섭취시켰다. 실험동물에 pentobarbital sodium(東京化成工業株式會社, 日本) 30mg/kg을 복강내 주사하여 전신마취 시킨 후, 상악 좌, 우측 제1대구치를 발거하였다. 발치시에는 치아 주위의 치은에 대한 손상을 최소화하기 위하여 탐침등을 이용하여 치관으로부터 치은을 분리시키고, tissue forceps를 이용하여 치근 파절이 없도록 치아를 발거하였다.

#### 2) 전기자극

발치 다음날, 전기자극을 하지 않은 10마리를 대조군으로 하고, 실험군은 상악 전치에는 음극을, 하악 전치에는 양극을 각각 연결하고 1mA(Test-1), 10mA (Test-2), 25mA(Test-3)의 전류로 매일 10분씩 가한 후 각 군에서 2마리씩 1, 3, 5, 7일 후에 pentobarbital sodium을 과량 복강주사하여 희생시킨 후, 상악을

적출하여 10% neutral formalin에 고정하였다.

### 3) 조직절편 제작

1주간 조직을 추가고정후 불필요한 부위는 제거하여 제1대구치 발치와 및 인접 조직만 남기고, Rapid-Decal (Calci-Clear Rapid™, National Diagnostics, Georgia, USA)로 탈회하였다. 탈회 후 통법에 따라 조직을 0.1M 인산완충액에서 수세하고, 에틸알콜에서 단계별로 탈수한 후, 파라핀에서 포매하였다. 그리고, 협설축 방향으로 5-8 $\mu\text{m}$  두께의 조직박편을 만들어 Hematoxylin-Eosin 중염색을 시행한 후 광학현미경으로 검경하여 비교 관찰하였다.

## III. 실험성적

### 1. 대조군

#### 1) 1일째 소견

발치와는 염증세포가 전체적으로 침윤되어 있는 육아조직으로 채워져 있으며, 발치와 벽에 치주인대가 잔존하여 있는 것이 잘 관찰되었다(Fig 1). 고배율로 확대하여 관찰하면 발치와 최심부까지 염증세포가 침윤되어 있고 잔존 치주인대가 명확히 관찰되었다(Fig. 1a).

#### 2) 3일째 소견

전체적으로 침윤된 염증세포가 부분적으로 침윤된 양상을 보이며 치주인대로부터 교원질이 육아조직내로 뻗기 시작하는 양상이 관찰되었다(Fig 2, 2a).

#### 3) 5일째 소견

발치와 기저부까지 침윤되어 있던 염증세포가 치주인대로부터 증식되어 자라는 교원질에 의해 그 분포가 축소되어 관찰되었고(Fig. 3), 고배율로 관찰시 교원질이 육아조직내로 자라고 있는 양상을 보였다 (Fig 3a).

#### 4) 7일째 소견

발치와가 소주골과 치밀 결체조직으로 채워져 있

으며 고배율로 관찰시 소주골이 발치와 근첨부로부터 발치와 중심 쪽으로 자라고 있는 양상이 관찰되었다(Fig 4, 4a).

## 2. 실험 제1군

#### 1) 1일째 소견

발치와는 육아조직으로 채워져 있으며, 고배율로 관찰시 염증세포의 침윤이 관찰되고 발치와 밖에 치주인대가 잔존하고 있는 것이 관찰되었다(Fig 5, 5a).

#### 2) 3일째 소견

염증세포의 침윤이 감소하고 결체조직이 발치와 중간부까지 채워져 있었으며(Fig. 6), 고배율로 관찰시 치주인대로부터 유래된 교원질이 관찰되나 치밀도는 매우 미약하였다(Fig 6a).

#### 3) 5일째 소견

발치와의 1/2정도가 소주골로 채워져 있으며 소주골 상방에는 치밀결체조직이 위치하였고(Fig 7, 7a), 고배율로 관찰시 치밀결합조직 직상방에서 염증세포가 보였다(Fig 7a).

#### 4) 7일째 소견

발치와의 대부분이 소주골로 채워져 있는 것이 관찰되나 결체조직내에 염증세포도 관찰되었다(Fig. 8). 고배율로 관찰시 소주골이 서로 융합되는 양상을 보였다(Fig 8a).

## 3. 실험 제2군

#### 1) 1일째 소견

발치와는 소성결체조직과 중등도의 염증세포침윤으로 구성된 육아조직으로 채워져 있으며(Fig 9), 고배율로 관찰시 염증세포와 잔존치주인대에서 증식된 교원섬유가 뚜렷이 관찰되었다(Fig 9a).

#### 2) 3일째 소견

발치와의 기저부에서 소주골 형성이 관찰되며 고

배울로 관찰시 상방부에서는 염증세포가 관찰되었다(Fig. 10).

### 3) 5일째 소견

발치와의 대부분은 소주골이 채우고 있으나 골의 성숙도는 미약하였다(Fig. 11, 11a).

### 4) 7일째 소견

발치와의 대부분은 소주골이 채우고 있으며(Fig. 12), 소주골이 서로 융합되어 있는 양상이 뚜렷하였다(Fig. 12a).

## 4. 실험 제3군

### 1) 1일째 소견

발치와는 소주골, 소성결체조직, 염증세포로 구성된 조직으로 채워져 있으며 염증세포의 침윤은 미약하였다(Fig. 13). 고배율로 관찰시 발치와 기저부에 소주골의 형성이 뚜렷하게 관찰되었다(Fig. 13a).

### 2) 3일째 소견

발치와는 소주골, 치밀결체조직과 염증세포로 채워져 있으며(Fig. 14), 고배율로 관찰시 치밀결체조직이 뚜렷하게 관찰되었다(Fig. 14a).

### 3) 5일째 소견

발치와의 대부분은 소주골이 채우고 있으며 소주골 사이사이에서 결체조직이 관찰되었다(Fig. 15, 15a).

### 4) 7일째 소견

발치와의 기저부는 소주골이 서로 융합된 치밀한 골로 채워져 있으며 상방부는 고배율로 관찰시 소주골과 치밀결체조직이 관찰되었다(Fig. 16, 16a).

## IV. 총괄 및 고찰

세포실험모델을 이용하여 치주인대세포에 전기자극을 가한 경우에 알칼리성 인산분해효소의 활성도가 증가하였음이 증명되었다<sup>29)</sup>. 본 실험에서 전기자

극이 백서의 발치와 모델에서 치조골의 치유과정에 긍정적 효과를 보였으며 10mA와 25mA의 전기량을 가한 실험군에서 골형성량이 다른 군에 비하여 우수하였다.

본 실험의 목적은 치과영역에서 응용한 전기자극에 대한 상반된 실험결과에 대하여 백서의 발치와 모델을 이용하여 치조골 치유과정에 어떠한 영향을 미치는지를 조직학적으로 검사하고, 전기량이 골형성에 미치는 영향을 알아보고자 시행하였다. 백서의 발치와 모델을 형성하기 위하여  $\beta$ -aminopropionitrile을 중류수에 0.4% 혼합하여 백서에 섭취시킴으로써 치주인대내 교원질의 인장강도를 감소시켜 치근이 5개인 상악 제 1 대구치의 발거를 용이하게 하였으며, 발치중 일어날 수 있는 치근이나 치조골의 파절가능성을 최소화시켰다. 골절모델을 이용하여 골절된 부위의 치유과정을 알아보고자 하는 실험<sup>16-20)</sup>에서보다 본 실험의 발치와 모델에서는 전기자극을 발치와 부근에 주기가 용이하지 않았다. 예비실험에서 전기자극을 상악전치와 꼬리에 주었을 경우 전기자극에 의한 스트레스 때문인지 실험기간동안 많은 백서들이 죽음으로서 실험이 매우 어려웠으며 조직학적 검사시 결과가 일정하지 않아 결론을 내릴 수 없었다. 따라서 가능하면 전기자극을 신체의 일부분에만 줌으로 해서 백서에 가해지는 스트레스를 감소시키고 일정한 실험결과를 얻기 위하여 발치와 와 가장 가까운 곳에 전기자극을 주기 위하여 상하악 전치를 이용하게 되었다.

치주조직 재생 중 치조골형성에 대한 관심은 임플란트 술식이 대중화 되면서 더욱 증가하게 되었다. 골형성을 촉진시키고자 하는 다양한 시술 방법에 대한 여러 가지 연구가 꾸준히 이루어져 왔으며 대표적으로 골이식술<sup>1-2)</sup>, 골유도재생술<sup>6-8)</sup>, 성장인자를 이용한 골형성술<sup>9-10)</sup>, 차폐막과 성장인자를 복합적으로 이용한 술식<sup>33)</sup> 등이 있다. 인간의 생명력 유지에 전기가 가장 기본적 요소라는 “Animal Electricity” 개념은 18세기 Galvani에 의해 제창된 이후 많은 이론의 발전을 이루었으며 그 후 많은 학자들이 생체에서의 전기적 활동을 임상에 응용할 수 있는 방법을 연구하여 왔다. 전기자극에 의해 골형성이 관찰되었다는

1950년대 Yasuda 등(1953)<sup>12)</sup>의 보고 이후 여러학자<sup>34-40)</sup>들에 의하여 골조직이 내포하고 있는 전기적 성질이 골대사나 골형성에 관계가 있다고 보고하였으며, 전기자극에 의한 수족의 부분적 재생<sup>41-42)</sup>, 인공적으로 형성한 골결손부의 골형성<sup>43-44)</sup> 및 골절치유의 촉진<sup>16-20,45-47)</sup> 등과 같은 좋은 결과 등이 보고되었다. 본 실험에서도 치조골 형성이 전기자극에 매우 긍정적 효과가 있는 것이 조직학적으로 입증되었다.

그러나 전기자극의 긍정적 효과에 대한 상반된 보고<sup>30,31)</sup>들도 있다. Jacobs와 Norton (1976)<sup>30)</sup>은 비글 견의 골결손부에 전류를 가한 결과 임상적, 방사선학적으로 유의성 있는 결손부의 깊이감소는 없었다고 하였고, Steffensen 등 (1988)<sup>31)</sup>은 환자를 대상으로 치주수술후 전기자극을 가한 실험군과 자극을 가하지 않은 대조군을 비교시 부착수준, 치주낭 깊이, 방사선상 치조골 높이등에 차이가 없다고 하였다.

본 실험에서 발치후 1일째 소견으로 발치와 내벽에 치주인대가 균일한 두께로 매우 잘 유지되어 있는 양상이 대조군, 실험군 모두에서 관찰되었으며, 이는 조동(1995)<sup>48)</sup> 및 Lin 등(1994)<sup>49)</sup>의 보고와 일치하였다.

발치후 1일째의 발치와는 염증세포가 전체적으로 침윤되어 있는 육아조직으로 채워져 있는 것이 특징이었다. 실험군에서 전기량이 10mA 이상일 때 염증세포가 감소된 양상을 보였으며, 발치와의 근첨부에 소주골의 형성이 관찰되었다. 이는 조동(1995)<sup>48)</sup> 보고와는 다르게 전기자극이 소주골형성에 촉진효과가 있는 소견을 보여주었다. 발치후 3일째에서는 대조군 및 실험군 공히 잔존치주인대로부터 교원질의 합성이 일어나 육아조직쪽으로 침투하듯이 형성되는 것이 관찰되었고 이는 Lin 등(1994)<sup>49)</sup>의 보고와 일치하였다. 대조군에서 발치후 1일째 소견에 비하여 염증세포가 많이 감소된 것이 관찰되며 실험군에서는 대조군에 비하여 염증세포가 월등히 감소되어 보이며 육아조직단계에서 결체조직단계로 이행되는 양상을 보여 주었다. 10mA 이상을 준 실험군에서는 발치와의 상당부위에서 소주골의 형성이 관찰되었다. 발치후 5일째에서는 대조군도 육아조직단계를 지나 결체조직단계를 보여 주었으며, 실험군 모두에

서 소주골의 형성이 뚜렷하게 관찰되었고 10mA 및 25mA를 가한 실험군에서는 골형성이 다른 군에 비하여 월등히 많은 것이 관찰되었다. 발치후 7일째에서는 대조군에서도 소주골의 형성이 관찰되었다. 이는 조동(1995)<sup>48)</sup> 및 Lin 등(1994)<sup>49)</sup>의 실험결과와 일치하였다. 전 실험군에서 소주골의 형성이 관찰되었다. 10mA 이상의 전기를 가한 실험군에서는 소주골이 서로 융합하여 골이 매우 성숙되고 있는 과정임을 알 수 있었고 특히 25mA를 가한 실험군 그 특징이 뚜렷하였다. 이번 실험의 결과로부터 10mA 와 25mA의 전기량을 준 경우, 발치후 5, 7 일째에 다른 군에 비하여 월등하게 골형성이 많음을 알 수 있었다.

전기자극이 골형성에 관여하는 기전에 관한 연구를 살펴보면 Black(1987)<sup>50)</sup>은 message, hormone, substrate 3가지 양식으로 설명하였다. 첫째, 전기가 이온채널같은 생물학적 감지기에 의하여 인식되는 기전으로 기계적 힘이나 전기자극이 가해지면 생물학적 감지기가 반응을 시작하는 기전이다. 둘째, 호르몬 양식으로 전기자극이 호르몬이 수용기에 결합하는 것을 조정하거나, 수용기에 바로 작용한다는 기전이고, 셋째, substrate mode는 막투과성을 변화시켜 효소를 바꾸어 작용한다는 기전이다. Brighton 등(1975)<sup>51)</sup>은 전기자극이 pO<sub>2</sub>를 떨어트려 골형성에 증가시킨다고 하였고, Inoue 등(1980)<sup>52)</sup>은 미분화 간엽세포가 전기자극 후 폴아세포로 분화하는 것을 증명하였으며 Matsunga 등(1988)<sup>53)</sup>은 전기자극 후 alkaline phosphatase activity가 증가하므로 폴아세포의 분화와 증식에 연관이 있다고 보고하였다. Fitzsimmons 등(1989, 1992)<sup>54-55)</sup>은 전기자극이 IGF-II의 분비를 증가시켜 폴아세포의 증식을 유도한다고 보고하였다. 특히 Wang 등(1994, 1998)<sup>56-57)</sup>은 전기자극을 통해 배양액 혹은 조직환경에서 전기 화학적 반응이 일어나게 되고, 전극 중 음극에서의 전기분해로 인해 OH<sup>-</sup>기 등의 전기화학반응 부산물의 생성 및 그에 따른 pH의 증가가 일어나게 되며, 그러한 반응 부산물들이 세포의 trans-membrane potential의 탈분극을 직접적으로 유도한다고 제시하였다. 그리고, 탈분극된 세포막에서는 calcium ion channel이 개방되어 외부의 Ca<sup>2+</sup>이온이 세포 내로 유입되고, 이

러한  $\text{Ca}^{2+}$ 이온은 세포 내에서 trigger effect로 작용하여 세포내의 내형질 세망의 free calcium ion을 유리시킨다고 보고하였다. 한편, 전기자극을 받은 세포내의 증가된  $\text{Ca}^{2+}$ 이온은 의해 세포 내의 일련의 반응이 야기되어 ATP생성이 증가되고 세포내로의 아미노산 유입이 촉진된다고 보고된 바 있으며, 이러한 반응을 통해 결과적으로 DNA 합성의 증가 및 교원질 합성의 증가, 그리고 비교원성 단백질의 합성 증가 등이 세포 활성이 야기된다고 알려져 있다.

위에서 살펴보았듯이 전기자극의 골 재생효과 전이 아직 확실히 밝혀지지 않았고 전기자극에 대한 반응도 상반된 결과가 나오고 있다. 전기 자극이 가해지는 방법에는 여러 방법이 있지만 중요한 것은 원하는 세포에 얼마만큼의 전기가 가해지는 것이다. 특히 세포실험과는 달리 동물이나 사람을 대상으로 한 실험에서는 더욱 복잡한 관계로 이루어진 세포들에 대해 전기가 가해지므로 그 결과는 다양하게 나타날 수밖에 없다. 전기를 이용하는 방법 중 직접 전극을 조직에 삽입할 경우 생기는 감염의 위험을 줄이기 위해 Brighton과 Pollack (1984)<sup>58)</sup>은 비유합성 골절부의 피부에 금속판을 위치시켜 전기자극을 줌으로 해서 골절을 치유시켰고, Bassett(1982)<sup>59)</sup>은 골절부위에 한 쌍의 Helmholtz coil을 이용하여 magnetic field를 유도시켜 골형성을 증가시켰다. 본 연구에서는 백서의 상하악 전치에 전극을 연결하여 전기 자극을 가하였는데 직접 조직에 삽입하지 않아 감염의 위험성을 줄였으나 원하는 부위에 가해지는 전기량의 측정 및 조절이 힘들고 치아를 통해서 전기를 가하므로 실험하고자 하는 부위에 전달되는 전기량이 감소되는 단점이 있었다. 예비실험의 결과에서도 전기자극을 발치와에서 먼 꼬리를 이용하였을 경우 일정한 실험결과를 얻기 어려웠다. 본 실험에서 백서의 구강 크기의 제한으로 상하악 전치에 전기를 가하는 간접 방법을 사용하였으나 임상에서는 치료부위에 직접 가할 수 있는 침 등을 이용한 방법의 연구가 필요하리라 생각된다. 또한 몇 일 간격으로 전기를 가했을 경우보다 매일 조사를 했을 경우 축적효과가 나타나 골재생효과가 극대화 될 수 있다. 이것은 Zhao(1994)<sup>60)</sup>의 연구결과와 일치하였다.

본 실험의 결과를 토대로 전기자극의 골형성효과에 대한 정확한 기전을 밝히는 연구가 필요하리라 생각되고 골재생술이나 임플란트 치료시에 부가적으로 사용할 수 있는 장치나 방법의 개발이 필요하리라 사료된다.

## V. 결론

전기자극이 골조직의 치유 및 형성을 촉진시킬 수 있다는 많은 실험적 증거와 이론에 근거하여, 백서를 이용하여 발치 후 전기자극을 가하여 발치와의 치조골 치유과정 중에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보자 본 실험을 실시하였다.

치주질환이 없는 웅성 백서 40마리를 이용하여 전기자극을 주지 않은 대조군과, 1(실험 1군), 10(실험 2군), 25mA(실험 3군)의 전류로 매일 10분씩 전기자극을 준 실험군으로 분류하고, 각각 1, 3, 5, 7일후 백서를 회생시켜 조직표본 만들어 검경 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 실험후 1일에는 대조군 및 각각의 실험군 모두 발치와는 육아조직으로 채워져 있었으며 치유양상은 유사하였으나 실험 2군과 3군에서 발치와 기저부에서 미약한 소주골의 형성이 있었다.
2. 실험후 3일에는 대조군 및 실험 1, 2군에서는 치유양상이 결체조직단계에 있었으며 실험 3군에서는 소주골 및 치밀결체조직이 발치와의 대부분을 채우고 있었다.
3. 실험후 5일에는 대조군 및 실험 1군에서 더욱 성숙된 결체조직단계에 있었으며 실험 2, 3군에서는 발치와의 상당부분을 소주골로 채우고 있었다.
4. 실험후 7일에는 대조군 및 각각의 실험군 공히 소주골이 발치와를 채우고 있었으며 실험 3군에서 골의 성숙도가 우수하였다.
5. 10mA, 25mA의 전기량을 준 실험후 5, 7일의 발치와에서 골형성이 다른 군에 비하여 우수하였다.

이상의 결론으로부터 전기자극이 발치와의 골형

성을 촉진시켰으며 궁극적으로 치조제 골재생의 임상적용에 활용할 수 있으리라 생각된다.

## VI. 참고문헌

- 성을 촉진시켰으며 궁극적으로 치조제 골재생의 임상적용에 활용할 수 있으리라 생각된다.

## VI. 참고문헌

  1. Stahl, S. S., and Froum, S. J. : Histologic and clinical response to porous hydroxylapatite implants in human periodontal defects. *J. Periodontol.*, 58 : 689-695, 1987.
  2. Meffert, R. M., Thomas, J. R., Hamilton, K. M., and Brownstein, C. N. : Hydroxylapatite as an alloplastic graft in the treatment of human periodontal osseous defects. *J. Peiodontol.*, 56 : 63-74, 1985.
  3. Isidor, F., Karring, T., Nyman, S., and Lindhe, J. : New attachment formation on citric acid treated roots. *J. Peiodont. Res.*, 20 : 421-430, 1985.
  4. Nilv  us, R., and Egelberg, J. : The effect of topical citrical acid application of the healing of experimental furcation defects in dogs. III. the relative importance of coagulum support, flap design and systemic antibiotics. *J. Periodont. Res.*, 15 : 551-560, 1980.
  5. Wiks  j  , U. M. E., Claffey, N., Nilv  us, R., and Egelberg, J. : Periodontal repair in dogs: Effect of root surface treatment with stannous fluoride or citric acid on root resorption. *J. Periodontol.*, 62 : 180-184, 1991.
  6. Blumenthal, N. M. : The use of collagen membranes to guide regeneration of new connective tissue attachment in dogs. *J. Periodontol.*, 59 : 830-836, 1988.
  7. Pontoriero, R., Nyman, S., Ericsson, I., and Lindhe, J. : Guided tissue regeneration in surgically-produced furcation defects. An experimental study in the beagle dog. *J. Clin. Periodontol.*, 19 : 159-163, 1992.
  8. Caffesse, R. G., Smith, B. A., Castelli, W. A., and Nasletti, C. E. : New attachment achieved by guided tissue regeneration in beagle dogs. *J. Periodontol.*, 59 : 589-594, 1988.
  9. Lynch, S. E., Williams, R. C., Polson, A. M., Reddy, M. S., Zappa, U. E., and Antoniades, H. N. : A combination of platelet- derived growth factor and insulin- like growth factors enhances periodontal regeneration. *J. Clin. Periodontol.*, 16 : 545-548, 1989.
  10. Lynch, S. E. de Castilla, G. R., Williams, R. C., Kiritsy, C. P., Howell, T. H., Reddy, M. S., and Antoniades, H. N. : The effects of short-term application of a combination of a platelet-derived and insulin-like growth factors on periodontal wound healing. *J. Periodontol.*, 62 : 458-467, 1991.
  11. Brighton, C. T., and Magnusson, P. B. : Electrically induced osteogenesis. Its clinical use in treating nonunion. In: Fukuda, E., et al. eds. Bioelectrical Repair and Growth. Niigata: Misimura, 3-19, 1985.
  12. Yasuda, I., Nagayama, H., and Kato, T. : Fundamental problems in the treatment of fracture. *J. Kyoto Med. Soc.*, 4 : 395-406, 1953.
  13. Fukuda, E., and Yasuda, I. : On the piezoelectric effect of bone. *J. Physiol. Soc. Jpn.*, 12 : 1158-1162, 1958.
  14. Yasuda, I., Noguchi, K., and Sata, T. : Dynamic callus and electrical callus. *J. Bone Joint Surg.*, 27A : 1292-1297, 1955.
  15. Bassett, C. A. L., Pawluk, R. J., and Becker, R. O. : Effects of electrical currents on bone in vivo. *Nature*, 204 : 652-658, 1964.
  16. Bassett, C. A. L., Pawluk, R. J., and Pilla, A. A. : Acceleration of fracture repair by electro-magnetic fields ; A surgically non-invasive method. *Ann., N.Y. Acad. Sic.*, 238-243, 1974.
  17. Bassett, C. A. L., Pawluk, R. J., and Pilla, A. A. : Augmentation of bone repair by inductively coupled electromagnetic fields. *Science*, 184 : 575-

- 577, 1977.
18. Bassett, C. A. L., Pilla, A. A., and Pawluk, R. J. : A non-operative salvage of surgically resistant pseudoarthroses and non-unions by pulsing electro-magnetic fields ; A preliminary report. *Clin. Orthop.*, 124 : 128-142, 1977.
19. Brighton, C. T., Friedenberg, Z. B., Mitchell, E. L., and Booth, R. E. : Treatment of non-union with constant current. *Clin. Orthop.*, 124 : 106-123, 1977.
20. Spadaro, J. P. : Electrically stimulated bone growth in animals and man. *Clin. Orthop.*, 122 : 325-332, 1977.
21. Cleary, S. F. : A review of in vitro studies: low-frequency electromagnetic the rate of differentiation. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 54 : 178-185, 1993.
22. Landry, P. S., Sadasivan, K. K., Marino, A. A., and Albright, J. A. : Electromagnetic the rate of differentiation. *Clin. Orthop.*, 338 : 262-270, 1997.
23. Zengo, A. N., Bassett, C. A. L., Pawluk, R. J., and Prountzos, G. : In vivo bioelectric potentials in the dentoalveolar complex. *Am. J. Orthod.*, 66 : 130-138, 1974.
24. Cochran, G. V. B., Pawluk, R. J., and Bassett, C. A. L. : Stress generated electric potential mandible and teeth. *Arch. Oral Biol.*, 12 : 917-922, 1967.
25. Norton, L. A. : Implications of bioelectric growth control in orthodontics and dentistry. *Angle Orthod.*, 45 : 34-45, 1975.
26. Davidovitch, Z., Shanfeld, J., Iannacone, W., and Korostoff, E. : Enhancement of orthodontic tooth movement in cats by locally applied electric currents. *J. Dent. Res.*, 56 : 588-592, 1977.
27. Bassett, C. L. A. : Biophysical principles affecting bone structure. In : Bourne, G. H., ed. *The Biochemistry and Physiology of bone*, 2nd ed. New York: Academic Press, 1-76, 1971.
28. 김영준, 정현주 : 3급 치근분지부 골결손에서 미세전류자극이 치주조직의 재생에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한치주과학회지*, 27 : 845-866, 1997.
29. 이옥, 박준봉, 이만섭, 권영혁 : 전기자극이 치주 인대세포와 치은섬유아세포에 미치는 영향. *대한치주과학회지*, 29 : 821-835, 1999.
30. Jacobs, J. D., and Norton, L. A. : Electrical stimulation of osteogenesis in pathological osseous defects. *J. Periodontol.*, 47 : 311-319, 1976.
31. Steffensen, B., Caffesse, R. G., Hanks, C. T., Avery, J. K., and Wright, N. : Clinical effects of electromagnetic stimulation as an adjunct to periodontal therapy. *J. Periodontol.*, 59 : 46-52, 1988.
32. Harris, W. H., Moyen, B., Lahey, P., and Weinberg, E. : The influence of direct electric current on bone formation. *Rev. Chir. Orthop. Reparatrice Appar. Mot.*, 65 : 311-316, 1979.
33. 임상철, 권영혁, 이만섭, 박준봉 : 골형태형성단백질과 흡수성차폐막이 치주조직 재생에 미치는 영향. *대한치주과학회지*, 30 : 757-777, 2000.
34. Bassett, C. A. L. : Current concepts of bone formation. *J. Bonejoint surg.*, 44A : 1217-1244, 1962.
35. Brighton, C. T., Friedenberg, Z. B., Zemsky L. M., and Pollis R. P. : Direct current stimulation of nonunion and congenital pseudoarthrosis. Exploration of the clinical application. *J. Bone Joint Surg.*, 57A : 368, 1975.
36. Friedenberg, Z. B., Andrews E. T., Smolenski, B. I., Pearl, B. W., and Brighton, C. T. : Bone reaction to varying amounts of direct current. *Surg. Gyn. Obs.*, 131 : 894, 1970.
37. Shamos, M. H., and Lavine L. S. : Piezoelectricity as a functional property biological tissues. *Nature (Lond.)* 213 : 267-269, 1967.
38. Paterson, D. C., Carter, R. F., Maxwell, G. M.,

- Hillier, T. M., Ludbrook, J., and Savage, J. P. : Electrical bone-growth stimulation in an experimental model of delayed union. *Lancet.*, 18 : 1278- 1281, 1977.
39. Mikhailova, L. N., and Landa, V. A. : Electron microscopic study of reparative osteogenesis following electric stimulation of bony tissue regeneration. *Biull. Eksp. Biol. Med.*, 91 : 719-722, 1981.
40. Hamanishi, C., Kawabata, T., Yoshii T., and Tanaka, S. : Bone mineral density changes in distracted callus stimulated by pulsed direct electrical current., *Clin. Orthop.*, 312 : 247-252, 1995.
41. Smith, S. D. : Effects of electrode placement on stimulation of adult frog limb regeneration. *Ann. NY Acad. Sci.*, 238 : 500-507, 1974.
42. Becker, R. O. : Electrical osteogenesis-pro and con. *Calcif. Tissue. Res.*, 26 : 93-97, 1978.
43. Kubota, K. : Effect of electrical currents on alveolar bone defects. *J. Kyushu. Dent. Soc.*, 32 : 590- 608, 1982.
44. Lavine, L. S., Lustrin, I., Shamos. M. H., and Moss, M. L., : The influence of electric current on bone regeneration in vivo. *Acta. Orthop. Scand.*, 42 : 305-314, 1971.
45. Brighton, C. T., Friedenberg, Z. B., Mitchell, E. L., and Booth, R. E. : Treatment of nonunion with constant direct current., *Clin. Orthop.*, 124 : 106-123, 1977.
46. Becker, R. O., Spadaro, J. A., and Marino, A. A. : Clinical experiences with low intensity direct current stimulation of bone growth. *Clin. Orthop.*, 124 : 75-83, 1977.
47. Kleczynski, S. : Electrical stimulation to promote the union of fractures. *Int. Orthop.*, 12 : 83-87, 1988.
48. 조성훈, 허익, 박준봉, 이만섭, 권영혁 : 백서 치아 발거후 잔존 치주인대 가 발치와의 치조골 재건 예 미치는 영향. *경희치대논문집*, 17:777-789, 1995.
49. Lin, W. L., McCulloch, C. A. G., A., and Cho, M. I. : Differentiation of periodontal ligament fibroblasts into osteoblasts during socket healing after tooth extraction in the rat. *Anat. Rec.*, 240:492-506, 1994.
50. Black, J. : Electrical stimulation. Its growth, repair, and remodeling of the musculoskeletal system. New York: Praeger., 2-3, 1987.
51. Brighton, C. T., Adler, S., and Blank, J. : Cathodic oxygen consumption and electrically induced osteogenesis. *Clin. Orthop.* 107 : 277- 289, 1975.
52. Inoue, S., Ohashi, S., and Kajikawa : The effects of electric stimulation on the differentiation to the bone. *Orthop. Res. Sci.*, 7 : 501-507, 1980.
53. Matsunaga, S., Sakou, T., and Yoshikuni, N. : Intramedullary callus induced by weak direct current stimulation: Serial changes in the alkaline phosphatase activity at the site of electricity induced callus formation. *J. Japan Bioelect. Res. Soc.*, 2 : 67-71, 1988.
54. Fitzsimmons, R. J., Farley, J. R., Adey, W. R., and Baylink, D. J. : Frequency dependence of increased cell proliferation, *in vitro*, in exposures to a low-amplitude, low- frequency electric field: Evidence for dependence on increased mitogen activity released into culture medium. *J. Cell. Physiol.*, 139 : 586-591, 1989.
55. Fitzsimmons, R. J., Strong, D. D., Mohan, S., and Baylink, D. J. : Low-amplitude, low-frequency electric field-stimulated bone cell proliferation may in part be mediated by increased IGF-II release. *J. Cell. Physiol.*, 150 : 84 -89, 1992.
56. Wang, Q., Xie, Y., Zhong, S. Z., and Zhang, Z. Q. : The electrochemical reaction in tissue culture medium under direct current stimulation,

- Chin. J. Bioeng., 11 : 143-146, 1994.
57. Wang, Q., Zhong, S., Ouyang, J., Jiang, L., Zhang, Z. Q., Xie, Y., and Luo, S. : Osteogenesis of electrically stimulated bone cells mediated in part by calcium ions. Clin. Orthop., 348 : 259-268, 1998.
58. Brighton, C. T., and Pollack, S. R. : Treatment of nonunion of the tibia with a capacitively coupled electrical field. J. Trauma., 24 : 153-155,
- 1984.
59. Bassett, C. A. L. : Pulsing electromagnetic fields. A new method to modify cell behavior in calcified and noncalcified tissues. Calcif. Tissue Int., 34 : 1-8, 1982.
60. Zhao, G. Z. : Effects of permanent magnetic field on DNA metabolism of human periodontal ligament fibroblasts in vitro. Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi., 29 : 75-58, 1994.

## 사진부도 설명

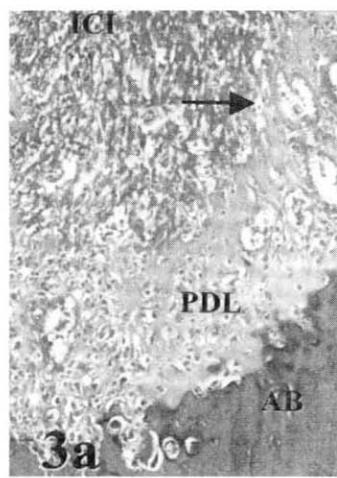
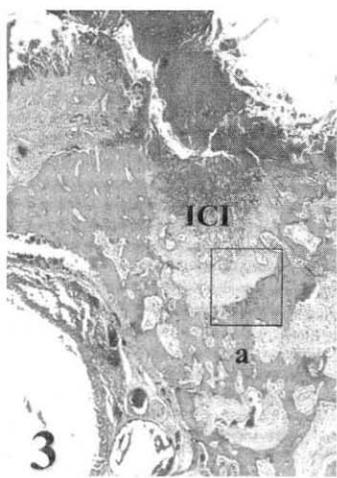
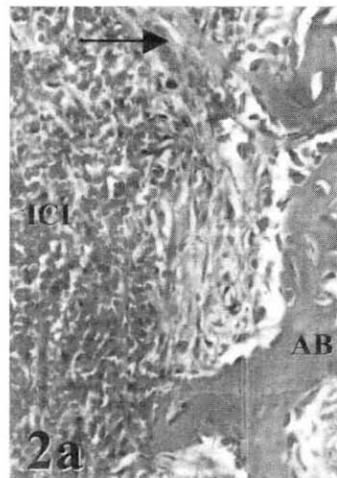
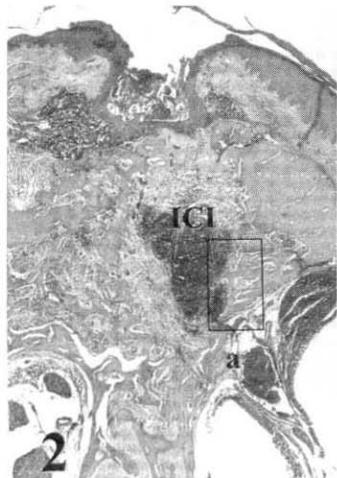
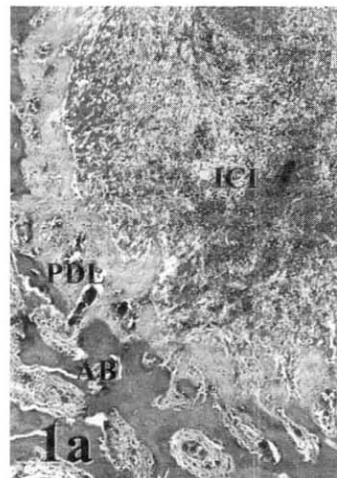
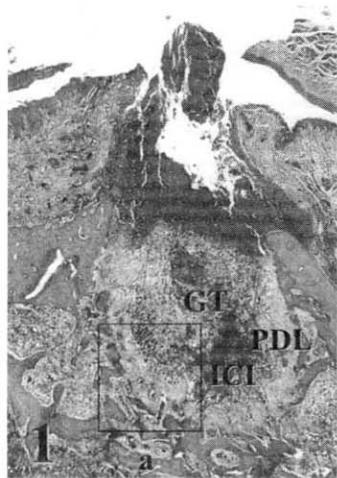
- Figure 1 Control site (1 day after extraction)  
1 The extraction socket filled with granulation tissue.  
Inflammatory cells scattered in the extraction area. Periodontal ligaments remained along the wall of the socket. x40, H&E stain.  
1a Higher magnification of the area "a" shown in Figure 1. Note the infiltration of inflammatory cells at the apical base of the socket. x100, H&E stain.
- Figure 2 Control site (3 days after extraction)  
2, 2a Inflammatory cells aggregated in the center of the socket. x40, H&E stain ; Note extension of collagen fibers (arrow) into the granulation tissue. x400, H&E stain.
- Figure 3 Control site (5 days after extraction)  
3,3a Number of inflammatory cells decreased. x40, H&E stain ; Note growth of collagen fibers (arrow) into the granulation tissue. x200, H&E stain.
- Figure 4 Control site (7 days after extraction)  
4,4a The extraction socket filled with trabecular bone and dense connective tissue. x40, H&E stain ; Trabecular bone grew from the base of the extraction socket. x100, H&E stain.
- Figure 5 Test-1 (1 day after extraction)  
5 The extraction socket filled with granulation tissue. x40, H&E stain.  
5a Higher magnification of the area "a" shown in Figure 5. Note the infiltration of inflammatory cells and residual periodontal ligaments along the wall of the socket. x200, H&E stain.
- Figure 6 Test-1 (3 days after extraction)  
6 Inflammatory cells decreased. Connective tissue grew into the middle of the socket. x40, H&E stain.  
6a Higher magnification of the area of "a" shown in Figure 6. Note the loose connective tissue. x100, H&E stain.
- Figure 7 Test-1 (5 days after extraction)  
7 The extraction socket filled in half with trabecular bone. x40, H&E stain.  
7a Higher magnification of the area of "a" shown in Figure 7. Note the inflammatory cells above the dense connective tissue. x100, H&E stain.
- Figure 8 Test-1 (7 days after extraction)  
8 The extraction socket almost filled with the trabecular bone.  
8a Higher magnification of the area "a" shown in Figure 8. Note the junction of the trabecular bone. x100, H&E stain.
- Figure 9 Test-2 (1 day after extraction)  
9 The extraction socket filled with moderate infiltration of inflammatory cells and loose connective tissue. x40, H&E stain.  
9a Higher magnification of the area "a" shown in Figure 9. Note the collagen fibers originated from the residual periodontal ligaments. x100, H&E stain.

- Figure 10 Test-2 (3 days after extraction)  
10, 10a Note the trabecular bone at the base of socket, x40, x100, H&E stain.
- Figure 11 Test-2 (5 days after extraction)  
11,11a The extraction socket almost filled with trabecular bone, x40, x100, H&E stain.
- Figure 12 Test-2 (7 days after extraction)  
12,12a The extraction socket almost filled with trabecular bone. Note the junction of trabecular bone, x40, x100, H&E stain.
- Figure 13 Test-3 (1 day after extraction)  
13 The extraction socket filled with trabecular bone, loose connective tissue, and slight infiltration of inflammatory cells, x40, H&E stain.  
13a Higher magnification of the area "a" shown in Figure 13. Note the trabecular bone at the base of the socket, x200, H&E stain.
- Figure 14 Test-3 (3 days after extraction)  
14 The extraction socket filled with dense connective tissue and trabecular bone, x40, H&E stain.  
14a Note the dense connective tissue, x200, H&E stain.
- Figure 15 Test-3 (5 days after extraction)  
15, 15a The extraction socket almost filled with trabecular bone, x40, x200, H&E stain.
- Figure 16 Test-3 (7 days after extraction)  
16, 16a Note the mature trabecular bone at the base of the socket, x40, x200, H&E stain.

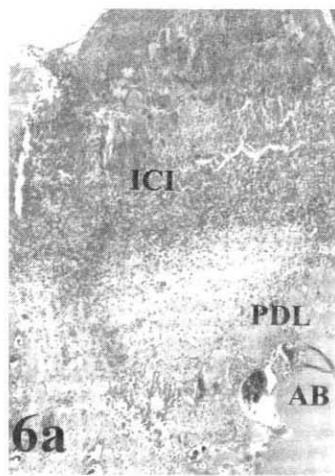
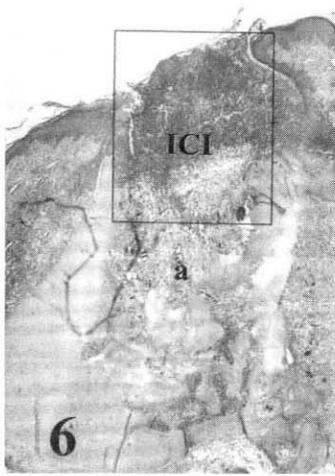
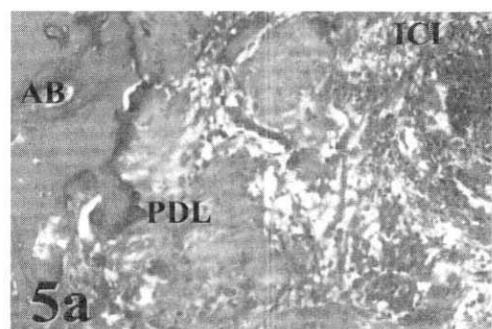
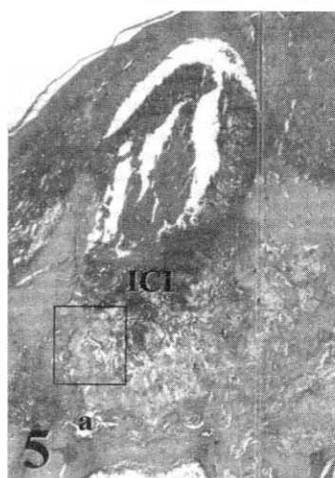
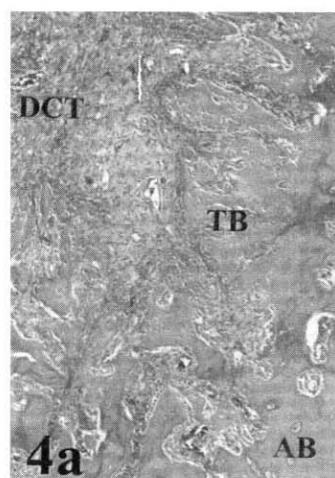
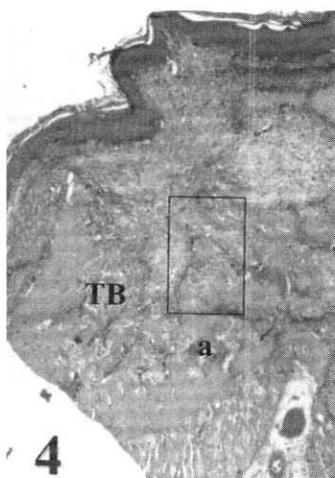
#### Abbreviation

AB : alveolar bone, DCT : dense connective tissue: Inflammatory cells infiltration, PDL : periodontal ligaments,  
TB : trabecular bone

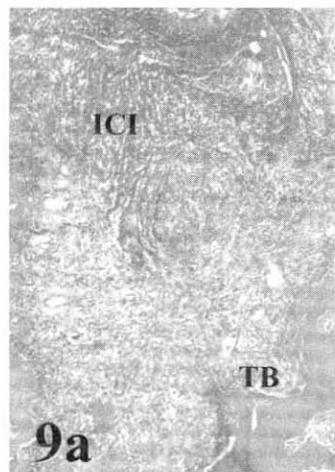
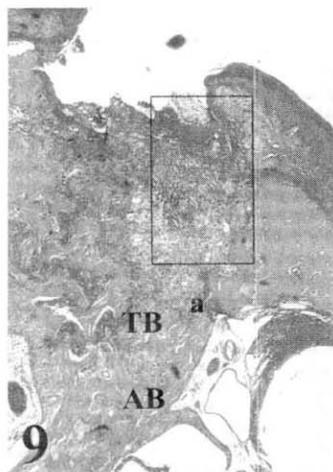
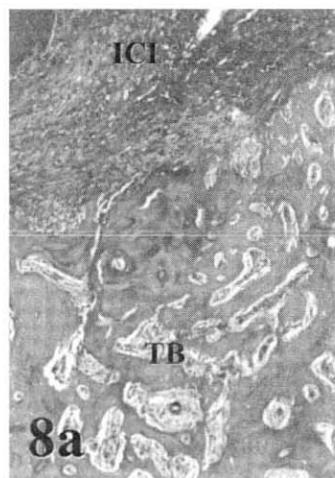
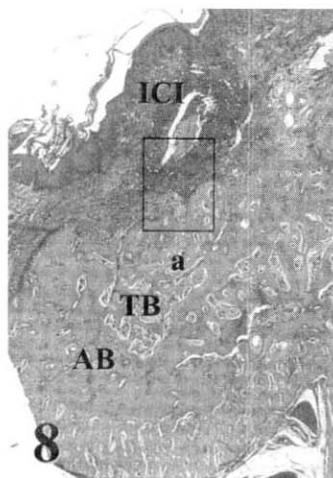
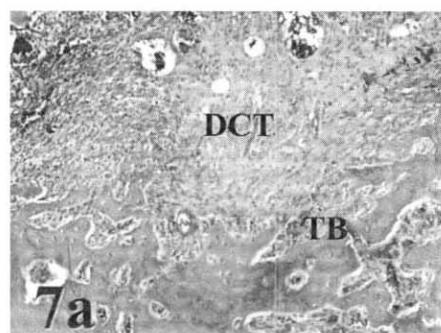
사진부도(1)



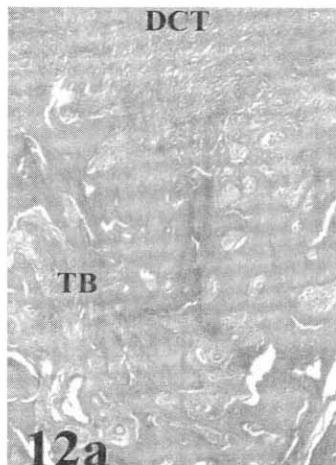
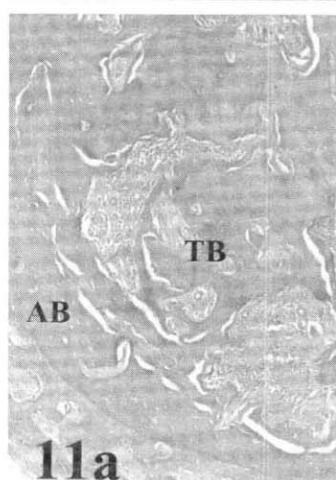
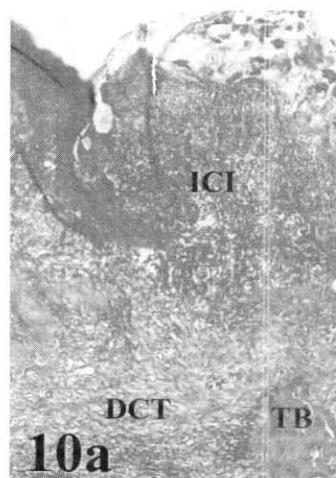
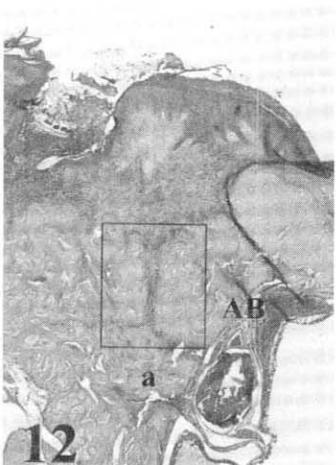
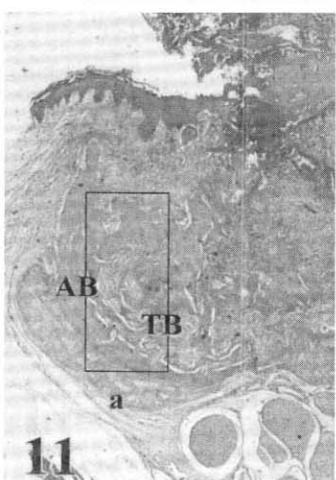
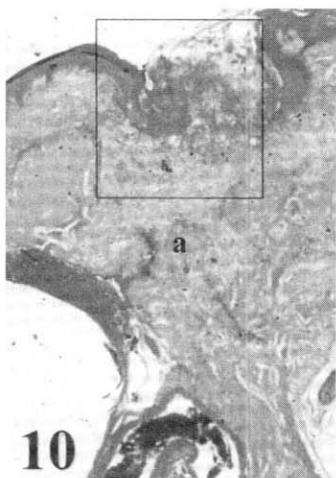
사진부도 (II)



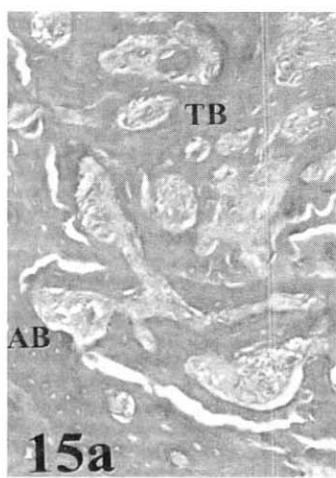
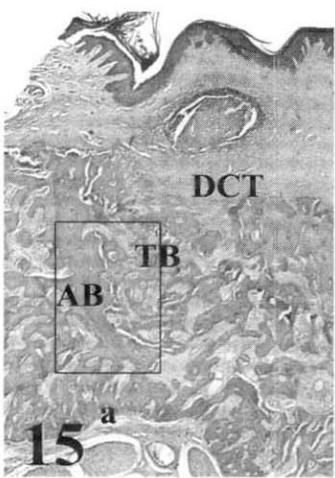
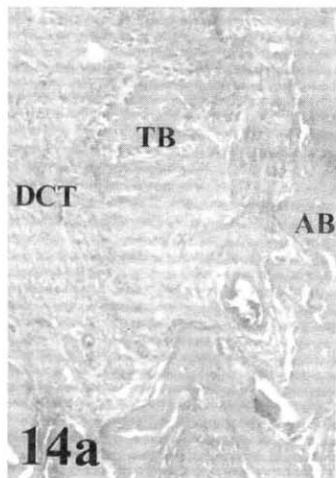
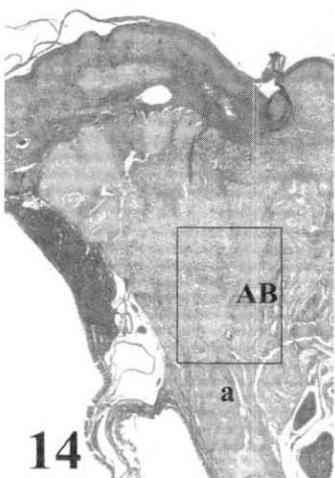
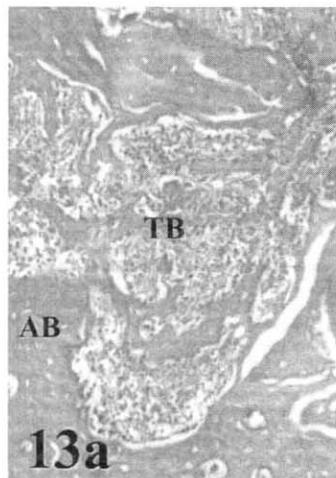
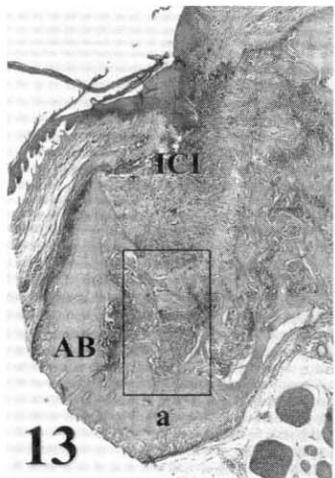
사진부도 ( III )



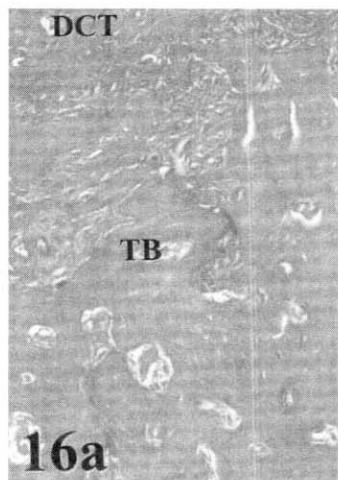
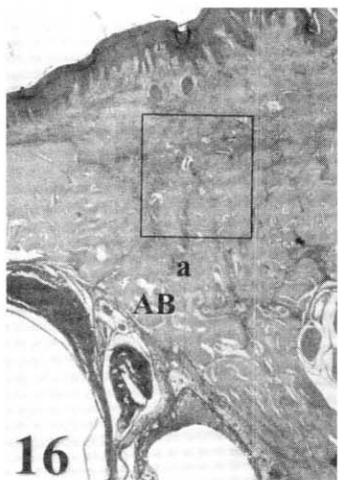
사진부도(IV)



사진부도(V)



사진부도 (VI)



-Abstract-

## EFFECT OF ELECTRICAL STIMULATION ON BONE FORMATION IN THE EXTRACTION SOCKET OF RAT

Seung-Han Yang, Man-sup Lee, Joon-bong Park, Yeek Herr

Department of Periodontology, Division of Dentistry, Kyung Hee University

On the basis of the evidence that electrical stimulation could promote healing and regeneration of bone, this study was performed to investigate the effects of electrical stimulation on rat extraction socket, and to evaluate the potential of clinical application of electrical stimulation.

Forty rats were used and divided into control groups(10)and the experimental groups(30) in this study. The maxillary 1st molar were extracted in both groups. In experimental group, electrical stimulation was given at the current intensity of 1mA(Test-1), 10mA(Test-2), 25mA(Test-3) each day. At 1, 3, 5, 7 days after the tooth extraction, rats in both groups were serially sacrificed. And the specimens were prepared with Hematoxylin-Eosin stain for the light microscopic evaluation.

The results of this study were as follows;

1. At 1 day after the extraction, the periodontal ligament was found in the extraction socket wall. The formation of blood clot with dense infiltration of inflammatory cells in control group and there were less inflammatory cells in test group.
2. At 3 day after the extraction, the cells and collagen of the periodontal ligament were so actively proliferated and synthesized that invaded into the connective tissue of the extraction sockets in the control group. There were the formation of new bone in the basal & lateral portion of socket wall in test -2 and -3.
3. At 5 days after the extraction, there were no formation of new bone in control group. But the more electrical stimulation was applied, the more formation of new bone in test group.
4. At 7 days after the extraction, the extraction sockets were almost filled with trabecular bone in each group. Bone maturity was remarkable in test-3.
5. The electrical stimulation at 10mA and 25mA was more effective in the bone formation at 5 and 7 days after the extraction.

From the above results, electrical stimulation could promote the extraction socket wound healing, and be utilized in the clinical application of the residual ridge expansion.