

전기자극이 정상 치주조직에 미치는 영향

임경석 · 권영혁 · 이만섭 · 박준봉

경희대학교 치과대학 치주과학교실

I. 서론

치주조직은 치은, 치조골, 치주인대, 백악질로 구성되어 있으며, 주요 기능은 치아를 악골내에 연결하는 것과 저작점막의 형태를 유지하는 것으로 부착장치 혹은 치아의 지지조직이라고 하며 생리적으로 변화를 하게되며, 형태학적으로나 기능적인 변화를 하게 된다.

치조골은 치아의 발생 및 맹출과 함께 발생하고 치아가 상실되면 점차적으로 흡수된다. 백악질 및 치주인대와 함께 치조골은 부착 기구를 형성하고 저작 등 외력을 분산 흡수시키는 중요한 기능을 갖는다.

치주 치료는 질환의 진행으로 인해 소실된 치주조직을 정상적인 구조와 기능을 가지도록 재생시키는 것이 그 목적이다. 치주 조직의 재생은 치조골의 형성과 치아에 부착되는 결체조직의 형성을 의미한다. 하지만 치주조직은 치은, 치조골, 치주인대 및 백악질 등 서로 다른 세포들의 집합체로 치주조직을 효과적으로 재생시키는데 많은 어려움이 있는 것으로 알려져 있다.

수많은 임상가와 연구가들은 부착 기구의 재생과 골형성을 위하여 절제 수술, 치조골 이식재의 사용, 차폐막을 이용한 조직 재생을 유도하는 방법을 고안

하여 사용하고 있으며, 부가적인 골재생을 위하여 각종 생약제 추출물과 성장인자의 임상적 응용을 위하여 연구하고 있다. 그러나 몇몇 임상 술식을 적용하여 부착 기구의 재생을 얻는데 많은 발전을 하였으나 치조골의 재생은 지속적이지 못한 상태이다. 또한 수술적인 방법은 임상 적응증이 비교적 제한적이며, 성장인자 등의 사용은 인체 내에서 안정성이 검증되지 못해 임상 적용이 어려워 보다 안정성이 높고 임상 적용이 용이한 치료법을 개발해야 하는 필요성이 있다.

19세기 비유합성 경골 골절 환자를 전기 자극을 이용하여 성공적으로 치료한 이래로 자연 발생적으로 형성되는 생체 전기를 이용하는 시도를 하고 있다.^{1,2)} 골 성장과 골절 치유에 전기적 자극은 동물 실험에서 다양하게 나타나고 있으며 정형 외과 분야에서 사용이 증가하고 있다.

그동안 외부 전자기장의 자극을 이용하여 비유합 골절 치료나 장골의 결손부 처치는 보편화된 술식이다. Yasuda(1953)³⁾와 Fukada (1958)⁴⁾는 압전기의 전기적 자극이 골조직 증식에 효과가 있다고 하였다. Basset등(1977)⁵⁾은 골성장이 전기적 조절에 의해 이루어진다고 하였으며 정형 외과 영역에서 임상적으로 사용되는 분야는 비유합, 지연 융합, 장골의 pseudoarthroses이며, 한편으로 양극부위의 부식으로 인한

조직반응이나 감염발생이 부작용으로 보고되기도 하였다.

한편 전기 자극이 치아 이동을 촉진시킬 가능성을 확인하기 위하여 Davidovitch등(1980)^{6,7}과 Hashimoto (1990)⁸는 전기 자극이 치조골 생성을 증가시키는 잠재적인 것임을 시사한 바 있으며 Kubota(1995)¹¹ 등은 골은 cytokines이나 growth factor에 치유나 재생이 촉진되는 것과 마찬가지로 자연 발생되는 전기 자극에 감수성이 높은 조직임을 밝혀 치주 재생에 전기적 자극이 유용한 방법이라고 보고하였다.

Jacobs와 Norton(1976)⁹ 등은 비글견의 병적 골 결손부에 nanoampere 단위의 전류를 가한 결과 임상적으로 유의성 있는 감소는 없었지만 골수강 내로 골 침착이 증가되었다고 보고하였다. Karaki(1979)¹⁰는 10A의 전기 자극을 통해 개의 하악골에서 골개조가 증가하였고 수평골 결손부에서 치조골 재생을 보고하였다. Ortman등(1992)¹¹은 개를 이용하여 치아 발거 후 전자기장 자극을 가했을 때 잔존 치조제의 흡수율이 적었음을 보고하면서 잔존 치조제의 흡수율과 치아 상실로 인한 내인성 생체 전기 신호의 변화에 관한 상관 관계를 제시한 바 있다. 하지만 전자기적 자극의 치료 효과는 명확하게 입증된 바는 없으며 전자기적인 자극이 실제로 임상적인 부착 수준의 개선이나 치조골 재생을 야기하지는 못하리라고 보고하는 경우도 있어, 보편화한 치주 치료와 함께 사용하였을 때 보다 양호한 임상적인 결과를 얻을 수 있는 방법이 되리라는 가능성은 있다고 생각한다.

Narkhede(1998)¹²는 골형성은 어떤 생전기적 현상과 관련이 있다는 생각에 전기 자극으로 인한 임플란트 주위의 골형성의 변화를 관찰한 바 임플란트 지지골이 전기 자극에 의하여 광화를 일으키는 시간이 빠르다는 것을 밝혀낸 바 있다.

교정적인 치아 이동의 개념은 치아에 가해진 기계적인 힘에 대한 치주조직의 생물학적인 반응의 결과에 기인하는데, 기계적인 힘을 가한 골에서 전기적 신호를 양산하여 골성장과 골개조를 유도한다는 가설은 널리 받아들여진다. 외부에서 음전하 자극이 가해지면 내부에서 골형성능이 생성된다고 보고하고 있다. 이는 적절한 전기 자극을 가했을 때 칼슘 이

온의 흡수가 증가한다는 실험 보고가 뒷받침하고 있으며 조골세포에 작용하여 세포의 증식과 호르몬의 반응을 조절한다고 하였다.

이와 같이 전기적 변화가 골조직 치유에 긍정적인 효과를 야기할 수 있다는 보고를 근거로 치아를 통한 전기 자극이 치아의 지지조직에도 동일한 효과가 나타날 수 있는 가를 구명하고 아울러 정상적인 치주조직 및 인접한 조직에 치료 목적의 전기적 자극을 가했을 때 나타날 수 있는 유해성 여부를 알아보고자 본 연구를 실시하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

실험 대상으로는 생후 4주 내의이며 체중이 평균 100gm 전후의 웅성 백서 40 마리를 사용하였다. 실험에 사용한 전기 자극기는 직류전기로 전류강도, 주파수 및 시간조절이 가능한 Microcurrent device (Acutron Multiwave 911, Microcurrent Research, INC., USA)을 이용하였다.

2. 실험방법

1) 전기자극 방법

백서 40 마리를 대조군과 3단계 다른 량의 전류를 가한 3종류의 실험군으로 구분하여 각 10마리씩 배정하여 실험하였다. 즉 대조군은 전기를 가하지 않은 군이며 상악 절치와 꼬리에 전극만을 연결하고 전기자극을 가하지 않았다. 실험군은 각각 10마리씩으로 대조군과 동일한 전극을 연결하고 하악 절치에는 음극을, 꼬리에는 양극을 연결하여 각각 10mA, 25mA, 50mA의 전류를 하루에 10분씩 가하였다. 이때 전기의 전달을 용이하게 하기 위해 상악 전치와 꼬리를 생리 식염수로 젖게 하였다.

2) 조직 절편의 제작

실험기간동안 계속해서 전기를 가한 후 5, 15일에 각 군으로부터 5마리씩 pentobarbital sodium을 복강

에 과량 주사하여 희생시킨 후, 상악을 적출하여 10% neutral formalin에 고정하였다.

1주일 동안 조직을 고정한 후, Planko- Rycho solution에서 2일간 탈회한 다음 인산 완충액에 수세하고, 탈수한 다음 파라핀에 포매하였다. 조직절편 제작은 상악 구치중 가장 길고 굵기 때문에 근심치근과 평행하게 절편제작하여 Hematoxylin-Eosin 염색을 시행한 후 광학 현미경으로 검경하여 치주 조직 및 치수에서 일어난 변화를 관찰하였다.

III. 실험 성적

1. 치조골

1) 대조군 소견

5일째 소견에서는 대조군과 실험군의 초기 변화의 차이는 없었다.

15일째 소견에서 절치부에서 나타난 변화는 순측과 설측에서 치조골의 변화를 비교 관찰하였는데, 조직의 특성상 순측의 치조골이 설측의 치조골에 비하여 얇고 설측 치조골판이 훨씬 더 비후되게 나타났다. 모세혈관의 분포 정도는 치은결체조직이나 치주인대내에서 유사하게 나타났다. 순-설측 치조골에 대해서 전체적으로 뚜렷한 변화는 관찰되지 않았다. (사진 1, 1a, 2, 3, 4, 4a 참조)

2) 25mA 실험군 소견

실험 전과정 동안 골소주나 골밀도등에서 커다란 차이가 발견되지 않았으나 설측 치조골에서 치근측에는 골세포가 풍부한 골조직이 관찰되고 결체조직측에는 골세포가 빈약하게 나타나 양측의 경계가 형성되었다. (사진 5, 5a, 6, 6a 참조)

3) 50mA 실험군 소견

각각의 실험군에서 공통적으로 설측 치조골에서 신생골의 형성을 관찰할 수 있었다. 5일째 소견에서 순측의 일부에서 골양조직이 형성된 것을 관찰하였다. 5일째 표본에서 치주인대 내의 모세혈관의 증식이 많이 나타났으며, Sharpey's fiber를 관찰 할 수 있

었다. 15일째 소견에서 치주인대 측으로 신생골이 형성되는 것을 관찰하였다. 소성의 골소주는 시간이 경과할수록 발달하는 양상을 보였다. (사진 7, 7a, 7b, 8, 9 참조)

2. 치근단

1) 대조군 소견

전치부의 치근단 부위에서는 Hertwig epithelial root sheath가 발달하면서 하방에 치밀한 결체 조직이 형성되는 양상을 보였다. 대조군의 구치부를 관찰한 결과 과백악질의 형성은 15일째 소견에서도 발견되지 않았고 울혈현상이 심한 모세관이 다량 발견되었다. (사진 10, 10a, 11, 11a, 11b 참조)

2) 10mA 실험군 소견

구치부에서 과백악질형성이 종단면과 횡단면 조직절편에서 관찰되었고 많은 모세관침입과 아울러 골소주는 소성상태를 보였다. (사진 12, 13 참조)

3) 25mA 실험군 소견

전치부 근첨단부에서는 치주인대내 모세관이 확장되었으나 조상아세포의 배열은 정상으로 나타났다. 구치부에서는 치주인대는 정상으로 관찰되었고 일부의 결체조직은 치밀상을 보였으며 모세관이 확장되는 점을 제외하고는 치수는 정상으로 보였다. (사진 14, 14a, 14b, 15, 15a 참조)

4) 50mA 실험군 소견

구치부 치근단 부위에서 과백악질의 형성이 두드러진 것을 관찰할 수 있었고 하방부 치조와의 치조골에 골소주가 발달하고 모세혈관의 증식과 울혈상을 관찰하였다. 치근단부의 조상아세포의 배열상은 정상으로 나타났다. (사진 16, 16a, 16b, 16c 참조)

3. 치주인대

1) 대조군 소견

전기 자극을 가하지 않은 대조군에서는 치주인대

섬유들이 치근면에 근접하여 정상적으로 배열되어 있었다. (사진 17, 17a, 18, 18a 참조)

2) 10mA 실험군 소견

실험 15일째 소견에서 순측보다 설측의 치주인대 내의 혈관 증식이 발달하였고, 치주인대내에 혈관증식이 발달한 것을 볼수 있었으며 치조골 측으로의 모세혈관이 발달하였다. 자극이 강해질수록 혈관이 확장하고 내부에 울혈 양상이 심하게 나타났다. (사진 19, 20, 21 참조)

3) 25mA 실험군 소견

치주인대와의 접촉 배열 양상은 정상적으로 보였다. 대조군에 비교하여 치주인대의 폭경은 유사하였으나 치조골 측면으로 수많은 모세혈관이 발달하였다. 인접한 치조골은 reversal line이 뚜렷하게 나타나 기존골과 신생골의 경계를 명확히 구분하였다. (사진 22, 23, 24, 24a 참조)

4) 50mA 실험군 소견

치주인대 내 모세혈관의 증식이 발달하고 치주인대 외부에 섬유세포가 집결하고 있었다. 기존 골측으로 모세혈관이 확장되고 내부에 울혈 양상이 심하게 나타났으나 치근면측의 치주인대는 정상적인 배열을 보였다. (사진 25, 25a 참조)

4. 치수

1) 대조군 소견

대조군에서는 15일째에 조상아세포의 배열이 비교적 규칙적이고 치수내 다량의 섬유형성을 관찰하였다. (사진 26, 26a 참조)

2) 10mA 실험군 소견

실험 15일째에 10mA의 자극을 가한 실험군에서는 치수내에 모세 혈관 수가 증가하고 혈관내에 울혈상이 나타났으며 조상아세포의 배열은 비교적 규칙적이나 공포가 관찰되기 시작하였다. (사진 27, 27a 참조)

3) 25mA 실험군 소견

치수내에 혈관 증식과 울혈상을 관찰하였다. 이는 25mA의 전기 자극을 가한 실험군에서 두드러져있는데, 25mA의 자극을 가한 실험군에서는 조상아세포 사이의 공포가 증가되고 부분적으로 변형되었으며, 치수내 혈관은 확장되었다. 치수내 균질화된 구형 무정형 물질을 관찰하였다. (사진 28, 28a 참조)

4) 50mA 실험군 소견

실험이 진행됨에 따라 50mA의 자극을 가한 실험군에서는 치수내 모세혈관의 수가 두드러지게 증가하였고 울혈상도 관찰하였고 변성화된 조상아세포의 배열도 불규칙적으로 손상되었다. (사진 29, 29a 참조)

IV. 총괄 및 고찰

치주조직은 치은, 치조골, 치주인대, 백악질로 구성되어 있으며, 주요 기능은 치아를 악골내에 연결하는 것과 저작점막의 형태를 유지하는 것으로 부착장 치 혹은 치아의 지지조직이라고 하며 생리적으로 변화를 하게되며, 형태학적으로나 기능적인 변화를 하게 된다.

인간의 생명력을 유지하는데 있어서 전기가 가장 기본적인 요소라는 개념이 성립된 이래로 많은 의학 분야에서 전기적인 활동을 임상에 응용하고자하는 방법을 연구하고 있다. 1812년 비융합성 골절의 치료를 성공한 이후 현재는 전자기적인 자극을 보편적으로 이용하고 있다. 하지만 아직 전기적 자극을 치과 분야에 응용하는 방법은 그 가능성을 검증하는 단계이고, 그나마 주로 골형성과 관련하여 골세포에 미치는 영향에 대하여 연구가 이루어졌으며, 대체적으로 전기적 자극은 골세포의 분화와 증식을 촉진한다는 것이 사실로 입증되고 있으며, 치조골에서도 장골에서와 유사한 반응은 일으킨다는 보고가 있다. 전기적 자극은 치아의 이동을 촉진하고, 구개열의 외과적인 치료후에 치유를 보완하며, 치주 치료에 전기적인 자극을 이용한 동물실험에서 보고한 바에 의하면, 유의성이 있는 않았지만 골조직의 침착이 일어났

다고 하였다.

상기 결과에 근거하여 치주질환으로 인하여 파괴된 치조골의 효과적인 재생을 위하여 실험적으로나 임상적으로 전기적인 자극을 이용한 연구가 있었다. Jacobs 와 Norton(1976)은 자연 발생한 병적 골 결손 부에서 골수강 내로의 골 침착을 보고하였고⁹⁾, Kubota(1982)는 실험적으로 형성된 수평 골 결손부에서 치조골이 재생되었음을 보고하였으며²²⁾, 신생 백악질의 형성이 촉진되었다고 보고한 바있다²³⁾. 치주조직의 재생을 위해서는 치조골의 재생뿐 아니라 치주인대를 비롯한 구성하고 있는 조직이 재생되어야 진정한 의미의 조직 재생이 이루어지는 바, *in vivo*에서 전기적인 자극이 치조골을 포함한 치주 조직에 어떠한 영향을 주는가를 알아보기 위하여 본 연구를 실시하였다. 그 결과 세포 실험에서 얻은 결과를 토대로 예상한 바와 같이 골조직의 형성이 증가한 경향을 보였으며, 치근 백악질의 과형성도 나타났는데, 이는 치주인대내의 세포의 활성도가 증가하여 나타난 것으로 생각된다.

치주인대는 치근 부위를 둘러싸고 있는 조직으로 사피스씨 섬유가 매입되어 치조골과 백악질이 연결되며, 치은 결합조직과도 연결되어 있다. 섬유아세포, 조골세포, 조백악세포, 상피세포 등 다양한 이종성 세포군으로 구성되어 치주 조직의 형성 및 분해 등을 직접, 간접적으로 조절하는 역할을 수행하고 있다. 쥐의 치주인대내에서 혈관망의 형성은 치근이 만들어지면서 형성된다. 치주 인대 내의 혈관들은 치배에서 유도되어 치아의 장축과 평행하게 주행하여 치정부의 법랑기관의 혈관망과 연결된다. 즉 치주 인대의 혈관은 치배와 치조골에서 유래한 혈관으로 나뉘며, 치근이 형성되면서 그 밀도가 감소하는데 특히 치근의 중앙부에서는 많이 감소한다.⁷⁾ 전기 자극을 가한 결과 이러한 치주 인대 내에 혈관이 증식되고 치조골 측으로의 혈관이 늘어나며, 혈관 내에 울혈 현상이 관찰 된 것은 적절한 전기적 자극은 치조골 형성을 증가시키는 역할을 한다고 생각된다.

백악질은 치근을 덮고 있으며 치주인대가 부착하는 석회화된 조직이다. 백악질은 세포의 물질이 골조직과 아주 흡사하지만 생리적인 흡수와 재형성은

하지 않는 조직으로 아직 백악질의 형성 기전에 대한 생물학적인 기전은 명확하지는 않다. 결체 조직의 성공적인 부착은 백악질의 재생이 있어야 한다. 조직 유도 재생술과 함께 전기적 자극을 가한 실험 표본에서 조직유도재생술만을 시행한 경우보다 백악질 재생이 증가하였다는 보고가 있다.¹⁾

최근에 쥐의 백악질 두께는 치주인대내에 존재하는 alkaline phosphatase의 활성도와 밀접한 관련이 있음을 보여 주는 실험 보고가 있었다²⁾. Alkaline phosphatase의 활성도가 치은 섬유아 세포에서 보다 치주인대 세포에서 더 높게 나타나는데, 이는 치주인대 세포가 조골세포와 조백악세포로 분화하는 기능이 있어 전기적인 자극은 치조골의 증가와 더불어 백악질의 증가를 촉진한다고 보여진다. 전기 자극에 대한 세포 반응을 연구한 실험에서 밝혀 낸 바에 의하면, 세포막의 transmembrane potential의 탈분극이 일어난다고 하였다.

Wang 등^{27,28)}은 전기 자극을 통하여 전기 화학적 반응이 일어나게 되고 음극에서의 전기 분해로 인한 수산기의 부산물의 생성과 이에 따르는 pH의 증가가 일어나게 되며, 이들 일련의 반응 부산물들이 세포의 transmembrane potential의 탈분극을 직접적으로 일으킨다고 하였다. 그리고 탈분극된 세포막에서는 calcium ion channel이 개방되어 외부의 칼슘 이온이 세포내로 유입되고, 세포 내에서 trigger effect로 내형질세망의 유리 칼슘 이온을 유리시킨다고 보고하였다. 결과적으로 전기 자극으로 세포내에 증가된 칼슘 이온에 의하여 세포 내의 일련의 반응이 야기되어 ATP의 생성이 증가되고 세포 내로의 아미노산 유입이 촉진된다고 보고된 바 있으며, 이러한 반응을 통하여 DNA의 합성 증가, 교원질 합성 증가 및 비교원성 단백질의 합성이 증가되는 등 세포가 활성화된다고 알려져 있다.

이 실험에서 전기 자극을 가한 실험군에 있어서 과백악질증이 나타나는 양상이 전기 자극의 강도와 시간에 비례하여 나타나는 경향이 있는데, 이는 치주인대내의 alkaline phosphatase의 활성도가 증가하는 것을 의미한다고 생각된다. Alkaline phosphatase는 골화과정을 나타내는 표식인자로 유기 인산 에스테

르를 가수 분해하여 석회화 부위에서 국소적으로 인산이온의 농도를 증가시키는 효소로 calcium phosphate를 세포 기질에 침착시켜 석회화를 유도하는 기능을 갖는다. Van den Bos와 Beersten(1999)²⁶⁾에 의하면 사람의 치주 인대 내의 alkaline phosphatase의 활성도를 검사한 실험 결과에 의하면 사춘기 이후에 절반 이하로 감소하는 것으로 나타난다.

전기적 자극은 치조골 등 치주 조직에 긍정적인 변화를 기대하는데, 본 실험에서 나타난 바, 치수에 손상을 야기 할 수 있음을 확인하였다. 따라서 치조골의 증가와 이에 반하는 치수를 포함하는 연조직의 손상을 방지하는 적정 전기량의 설정과 적용 방법을 연구 할 필요가 있다고 생각된다. Kerezoudis 등(1993)³⁹⁾은 쥐의 하치조신경에 전기적 자극을 가한 후 하순, 치은, 하악 절치의 치수내에 혈관의 일혈 현상을 실험한 보고를 하였는데, 전기 자극을 가하면 기초 혈류량의 172%까지 증가하는데 반하여, capsaicin을 정맥 내 주사한 경우에는 치수내의 혈관 확장은 억제되고 하순의 혈류량도 58%까지 감소한다고 보고한 바 있다.

전기적 자극을 적용할 때, 조직 치유부대로 직접적인 전극을 삽입할 경우 전극의 부식이나 조직의 감염 등 이차적인 조직 위해성이 또한 문제가 된다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 비침투성 생체전기치료(non-invasive bioelectrical therapy)에 대한 연구가 있었다.

Bassett(1974, 1977, 1982)은³¹⁾⁻³⁴⁾ 한쌍의 전기선을 이용하여 자기장을 형성하여 전자기장을 유도하는 유도된 전자장을 이용하여 골절부를 치료하였고, Brighton(1977)³⁵⁾은 비융합성 골절부의 피부에 금속 전극판을 위치시킴으로써 형성되는 쌍자장을 고안하여 전기 자극으로 이용한 방법을 보고하였다. Steffensen 등(1987)¹⁴⁾은 교합교정장치에 전선을 연결하여 치주치료에 부가적인 효과가 있는가를 실험하였다.

본 연구에서는 실험 동물의 하악 절치와 꼬리에 전극을 연결하여 전기 자극을 가하였는데, 적용하기에 용이하고 전극이 연결되는 조직에 위해성이 적은 방법에 대한 연구도 필요하리라고 판단된다. 자극을

가하는 전극이 접촉되는 부위의 생체 친화적인 면에서 고려할 점은 전극과 조직의 접촉 형태, 전극의 형태, 전위차, 재료의 종류와 조공성(porosity), 조직내의 전해질에 대한 이해, 전류밀도와 염증반응이다.

논란의 요점은 먼저 전극을 적용하는 상피의 각화도이며, 다음은 전류의 강도와 조직의 pH와 전극의 생체 친화성, 전극의 기하학적인 형태와 조공성, 소공 크기, 전극을 매식할 경우 생체의 방어 기전과 전극 주변에 혈전의 형성, 마지막으로 생체 친화성을 증진시킬 수 있는 전극의 멸균이다³⁶⁾.

이 실험에서 치수내 혈관의 유허현상이 증가됨이 발견되었다. 이는 Kerezoudis등(1993)³⁹⁾의 백서 절치에 치조신경에 전극자극을 가했을 때 치수내 혈장 단백질의 유출량 측정에서 치은과 치수내의 혈관투과성이 증가하는 현상과 동일한 자극을 받는다는 사실과 일치하였다. 이러한 결과는 Yoshimura 등(2000)⁴⁰⁾이 백서를 이용한 실험에서 좌골신경에 capsaicin cream도포후 연속적인 전기자극 결과 신경계 염증에 초기적으로 작용하고 동통 전달기전을 차단한다는 것을 제시한 바와 같이 전기자극이 신경조직에서도 작용이 된다는 사실이 입증되었다.

따라서 전기자극이 치수내의 신경조직과 혈관에 영향이 미친다는 사실을 확인하게 되었다.

이 실험에서 Vass 등 (2001)⁴¹⁾은 capsaicin과 전기 자극은 두 개기저부 동맥과 소뇌동맥으로부터 용량 의존형 또는 시간의존형의 혈관의 혈장유리 양상이 발생됨을 보고하였다. 이 실험에서 Ross 등 (1989)⁴²⁾은 균일한 전기장을 치은섬유아세포에 적용하였을 경우 세포배열은 한결같은 비율로 형성됨을 관찰하고 직접 세포에 영향을 관찰하였다.

또한 Boucher 등(2001)⁴³⁾은 하악절치에 전기자극을 가한 후 laser Doppler flowmetry를 이용하여 치수내 혈류변화를 관찰한 결과 혈관의 투과성이 증가된다는 보고와도 일치하고 있다.

이 실험의 50mA의 전기자극을 가한 경우 각각의 실험군에서 공통적으로 설측 치조골에서 신생골의 형성을 관찰할 수 있었다. 이런 경과는 전치의 경우 순측보다 설측의 골변화가 크다는 사실을 발견할 수 있었다. 그리고 표본에서 치주인대 내의 모세혈관의

증식이 많이 나타난 것은 선행들의 연구와 동일한 경향이 있음이 확인되었다.³⁹⁻⁴³⁾

또한 Sharpey's fiber의 뚜렷한 형성과 치주인대 측으로 신생골이 형성되는 것을 관찰되었고 소성 골소주가 시간이 경과할수록 발달하는 양상을 보였다. 이는 Kobayashi(2000)⁴⁴⁾가 가토 대퇴부와 경골을 대상으로 전기적으로 극성화된 수산화인회석의 신생골형성능 평가연구에서 발견한 음전하를 띤 수산화인회석표면에 초기단계에서 골조직과 직접 접촉되는 골화과정이 나타난 보고와 일치하며 초기단계의 음전하가 있는 표면에는 현저한 골형성능의 치과영역 응용 가능성을 강하게 암시한다.

따라서 향후 전기자극을 임상에 적용하는데 생체공학적인 면을 다각도로 고려하여 적절한 적용 방법 구현을 위한 연구가 필요하다고 판단된다.

V. 결론

전기자극이 치주조직에 미치는 영향을 구명하기 위하여 생후 4주 평균 100gm 전후의 웅성 백서 40마리를 대상으로 전기를 자극하고 치아를 중심으로 조직을 절취하여 탈회하고 통법에 의한 조직처리후 광학현미경으로 검경하여 치주조직의 변화를 비교하였다.

1. 순측 치조정의 변화는 실험에 소요된 기간과 가한 전류량의 차이에 따른 변화는 그다지 관찰할 수 없었고, 이에 반하여 설측 치조정에서는 선명한 reversal line을 관찰 할 수 있었으며, 시간이 경과 할 수록 골조직의 두께가 다소 두꺼워지는 양상을 발견하였다.
2. 전치 치근단부에서는 50mA의 전기량을 적용한 실험군에서 세포가 농축된 것을 볼 수 있었고, 일부에서는 괴사된 양상을 관찰 하였다. 구치 치근단부에서는 과백악질이 형성되어 있었는데, 실험 기간이 경과하면서 백악질도 증가한 것을 관찰하였다.
3. 치주인대와 Sharpey's fiber의 배열은 대체적으로 규칙적이었으며, 실험을 진행할수록 골소

주가 증가하였는데, 상대적으로 골수가 감소하였다.

4. 치수 내에서는 대조군에 비하여 실험군에서 모세 혈관의 증식과 울혈 양상이 두드러졌고, 일부에서는 상아 세관의 폐쇄 현상도 발견하였다.
5. 치조와의 골아세포는 시간이 경과함에 따라 전반적으로 활성도가 높은 것을 알 수 있었고, 부분적으로 골소주가 형성되는 것도 관찰하였다.

이상의 결과를 종합하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

전기 자극은 치아 주위 조직과 치수에 영향이 있음을 확인하였다. 그러나 전기 자극이 생체 내에서 기타 유해한 반응을 일으키는지 대한 유해성 여부를 검증하는 실험 연구를 비롯하여 개체 및 적용 부위에 따른 적정 전기량의 조절 및 적용 방법에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

VI. 참고문헌

1. Kubota, K., Yoshimura, N., Yokota, M., and Wikesjo, M. E. : Overview of effects of electrical stimulation on osteogenesis and alveolar bone, J. Periodontol., 66(1):2-6, 1995.
2. Spadaro, J. A. : Electrically stimulated bone growth in animals and man., Clin. Orthop. Res., 122: 325-332., 1977.
3. Yasuda, I., Nagayama, H., and Kato, T. : Fundamental problems in the treatment of fracture., J. Kyoto. Med. Soc., 4:395-406., 1953.
4. Fukuda, E. and Yasuda, I. : On the piezoelectric effect of bone., J. Physiol. Soc. Jpn., 12:1158-1162, 1958.
5. Bassett, C. A. L., Pilla, A. A., and Pawluk, R. J. : A non-operative salvage of surgically-resistant pseudoarthroses and non-unions by pulsing electromagnetic fields. ; A preliminary report, Clin. Orthop., 124 : 128-142, 1977
6. Davidovitch, Z., Shanfield, 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.
7. Davidovitch, Z., Finkelson, M. D., Steigman, S., Shanfeld, J. L., and Montgomery, P. C. : Electric currents, bone remodelling, and orthodontic tooth movement. The effect of electric currents on periodontal cyclic nucleotides., *Am. J. Orthod.*, 77:14-32, 1980.
8. Hashimoto, H. : Effect of micro- pulsed electricity on experimental tooth movement., *Nippon Kyosei Shika Gak kai Zasshi.*, 49:352-361. 1990.
9. Jacobs, J. D. and Norton, L. A. : Electrical stimulation of osteogenesis in pathological osseous defects, *J. Periodontol.*, 47(6):311-319, 1976.
10. Karaki, R. : Experimental study of internal remodelling and callus formation in mandible by electrical stimulation., *J. Kyushu. Dent. Soc.*, 32:590-608, 1979.
11. Ortman, L. F., Casey, D. M., and Deers, M. : Bioelectric stimulation and residual ridge resorption., *J. Prosthet. Dent.*, 67(1):67-71, 1992.
12. Narkhede, P. R. : A histological evaluation of the effect of electrical stimulation on osteogenic changes following placement blade-vent implants in the mandible of rabbits., *J. Oral Implantol.*, 24(4): 185-195. 1998.
13. Roberts, W. E., Smith, R. K., and Cohen, J. A. : change in electrical potential within periodontal ligament of a tooth to osteogenic loading., *Prog. Clin. Biol. Res.*, 101:527-534, 1982.
14. Stefensen, 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. 1987.
15. Kagayama, M., Sasano, Y. : Cementum formation in rat molar roots. *Kaibokaku Zasshi.* 75:365- 369. 2000.
16. Islam, M. N., Yamamoto, T., and Wakita, M. : Light and electron microscopic study of the initial attachment of principal fibers to the alveolar bone surface in rat molars. *J. Periodontal. Res.*, 35: 344-351. 2000.
17. Brighton, C. T., Friedenber, Z. B., Mitchell, E. I., Booth, R. E. : Treatment of nonunion with constant direct current., *Clin. Orthop.*, 124 : 106-123, 1977.
18. Caton, J. G., and Greenstein, G. : Factors related to periodontal regeneration., *periodontology* 2000., 1:9-15, 1993.
19. Melcher, A. H. : On the repair potential of periodontal tissue., *J. Periodontol.* 47:256-260., 1976.
20. Satake, T., Yasu, N., Kakai, Y., Kawamura, T., Sato, T., Nakano, T. Amino, S., Ishiwata, Y., and Saito, S. : Effect of pulsed electromagnetic fields on human periodontal ligament in vitro. Alterations of intracellular Ca^{2+} ., *Kanagawa Shigaku.* 24:735-742., 1990.
21. 박준봉, 허인식, 이해자, 최영철 : 전기적 자극이 배양 두 개관 골세포의 석회화에 미치는 영향에 관한 연구. *대한치주과학회지.*, 27(4):949-961. 1997.
22. Kubota, K. : Effect fo electrical currents on alveolar bone defects. *J. Kyushu. Dent. Soc.*, 36:64-81, 1982.
23. Karaki, R., Kubota, K., Hitaka, M., Yamaji, S., and Yamamoto, H. : The effect of currents on new cementum formation during periodontal wound healing., *J. Kyushu. Dent. Soc.*, 23:598-609, 1981.
24. Tsukada, H., Ishigawa, H, Nakamura, S., and Yoshida, S. : Developmental changes of the vasculature in the periodontal ligament of rat molars., *J. Periodontal. Res.* 35(4):201-207. 2000.
25. Kim, K. T. ; Biochemical study of human peri-

- odontal ligament : preparation of cell attachment materials induced by pulsed electromagnetic fields., Bull Kanagawa Dent Coll., 18:89-98, 1990.
26. van den Bos, T, and Beersten, W. : Alkaline phosphatase activity in human periodontal ligament : age effect and relation to cementum growth rate. J. Periodontal Res., 34(1):1-6, 1999.
 27. Wang, Q., Xie, Y., Zhong, S., Z., and Zhang, Z. Q. : The electrochemical reactions in tissue culture medium under direct current stimulation. Chin. J. Bioeng., 11:143-146, 1994.
 28. Wang, Q., Zhong, S. Z., 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.
 29. Cheng, N., van Hoof, H., Bocks, E., Hoogmartens, M. J., Mulier, J. C., de Dijkker, F. J., Sansen, W. M., and de Loeker, W. : The effect of electric currents on ATP generation, protein synthesis and membrane transport of rat skin. Clin. Orthop., 171:264-272, 1982.
 30. Ozawa, H., Abe, E., Shibasaki, Y., Fukuhara, T., and Suda, T. : Electric fields stimulate DNA synthesis of mouse osteoblast-like cell by a mechanism involving calcium ions. J. Cell. Physiol., 138:447-483, 1989.
 31. Basset, C. A. L., Pawluk, R. J., and Pilla, A. A. : Acceleration of fracture repair by electromagnetic fields ; A surgically non-invasive method., Ann. N.Y. Acad. Sci., 238-243, 1974.
 32. Basset, C. A. L., Pawluk, R. J., and Pilla, A. A. : Augmentation of bone repair by inductively coupled electromagnetic fields., Science, 184 : 575-577, 1977.
 33. Basset, C. A. L., Pawluk, R. J., and Pilla, A. A. : A non-operative salvage of surgically resistance pseudoarthroses and nn-unions by pulsing electromagnetic fields : A preliminary report., Clin. Orthop., 124:128-142, 1977.
 34. Basset, C. A. L. : Pulsing electromagnetic fields ; A method to modify cell behavior in calcified and non-calcified tissues., Calcif. Tissue Int., 34 :1982.
 35. Brighton, C. T., Friendenberg, Z. B., Mitchell, E. I., and Booth, R. E. : Treatment of non-union with constant direct current., Clin. Orthop., 124:106-123, 1977.
 36. Beard, R. B., Hung, B. N., and Schmukler, R. : Biocompatibility considerations at stimulating electrodes interfaces. Ann. Biomed. Eng. 20:395-410, 1992.
 37. 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., 29:75-78, 127, 1994.
 38. Cerny, R. : The reaction of dental tissues to magnetic fields., Aust. Dent. J. 25:264-268, 1980.
 39. Kerezoudis, N. P., Olgart, L., and Edwall, L. : Evans blue extravasation in rat dental pulp and oral tissues induced by electrical stimulation of the inferior alveolar nerve., Arch. Oral. Biol., 38(10): 893-901, 1993.
 40. Yoshimura, M., Yonehara, N., Ito, T., Kawai, Y., and Tamura, T. : Effects of topically applied capsaicin cream on neurogenic inflammation and thermal sensitivity in rats. Jpn. J. Pharmacol. 82:116-121, 2000.
 41. Vass, Z., Steyger, P. S., Hordichok, A. J., Trune, D. R., Jancso, G., and Nuttall, A. L. : Capsaicin stimulation of cochlea and electrical stimulation of trigeminal ganglion mediate vascular permeability in cochlea and vertebro-basilar arteries: potential cause of inner ear dysfunction in headache., Neuroscience., 103:189- 201, 2001.
 42. Ross, S. M., Ferrier, J. M., and Aubin, J. E. : Studies on the alignment of fibroblasts in uni-

- form applied electrical fields., Bioelectromagnetics, 10:371-384, 1989.
43. Boucher, Y., Hofman, S., Joulin, Y., and Azerad, J. : Effects of BP 2-94, a selective H(3)-receptor agonist, on blood flow vascular permeability of rat mandibular incisor pulp., Arch. Oral. Biol., 46:83-92, 2001.
44. Kobayashi, T. : Physicochemical characterization and histological bone-formability evaluation of electrically polarized hydroxyapatite., Kokubyo Gakkai Zasshi., 67:264- 271, 2000.

사진부도 설명

- Figure 1. Labial plate of alveolar bone of the control site (5day)
Photomicrographs showed distinguished reversal line between pre-existed bone and dense connective tissue, and numerous capillary dilatation were observed not only in the gingival connective tissue but in the periodontal ligament (H-E stain x40 and x100).
- Figure 2. Lingual plate of alveolar bone of the control site (5day)
Photomicrographs showed the well organized gingival connective tissue. Many capillary were arranged along the root surface closer to bone surface in the periodontal ligament. There are no dense connective tissue covering the bone surface (H-E stain x40).
- Figure 3. Labial plate of alveolar bone of the control site (15day)
Normal trabecular pattern and thin layer of dense connective tissue were observed over the alveolar bone plate (H-E stain x40).
- Figure 4. Lingual plate of alveolar bone of the control site (15day)
Photomicrographs revealed thickening of connective tissue in periodontal ligament on the side of alveolar bone to compare root surface. No significant change is observed (H-E stain x40 and x100).
- Figure 5. Labial plate of alveolar bone of the 25mA at applied site (15day)
Trabecular pattern and bone density showed normal appearance and no remarkable change was observed around bone surface (H-E stain x40 and x100).
- Figure 6. Lingual plate of alveolar bone of the 25mA at applied site (15day)
Osteocyte abundant bone which is located toward root surface was separated from osteocyte poor bone toward connective tissue (Dot line and arrowhead band) (H-E stain x40 and x100).
- Figure 7. Lingual plate of alveolar bone of the 50mA at applied site (5day)
Numerous osteocytes and new sharpey's fibers which invaded into alveolar bone are observed. Capillaries in the periodontal ligament arranged along the bone surface, and new bone formation were remarked from pre-existed bone as dot line (H-E stain x40, x100 and x200).
- Figure 8. Labial plate of alveolar bone of the 50mA at applied site. (15day)
Photomicrograph showed unclear boundary line between old and new bone. The loose trabecular pattern are revealed whole of alveolar bone (H-E stain x40).
- Figure 9. Lingual plate of alveolar bone of the 50mA at applied site (15day)
The thickness of new bone which were inserted by sharpey's fibers increased gradually from root apex toward alveolar crest (H-E stain x40).
- Figure 10. Root apex of the control site (15day)
The number of capillary were increased, and the capillaries were dilated with RBC congested. Well formed Hertwig's epithelial sheath revealed on the root apex (H-E stain x40 and x100).
- Figure 11. Root apex of the control site (15day)
Root are well formed their original shape capillary dilation filled with RBC Apical area of peri-

odontal ligament area had dense collagenous fiber and enough space for fiber arrangement (H-E stain x40 and x100).

Figure 12, 13. Root apex of the 10mA at applied site on posterior tooth (15day)

The hypercementosis phenomenon was observed on longitudinal section (Figure 12) and cross section (Figure 13). The trabecular pattern of alveolar bone showed loose state and many capillary invaded (H-E stain x40 and x100).

Figure 14. Anterior root apex of the 25mA at applied site (15day)

Capillary in the periodontal ligament revealed more dilatated condition with fill with RBC but arrangement of odontoblasts showed normal state. Loose connective tissue were observed in some area of periodontal ligament (H-E stain x40, x100 and x200).

Figure 15. Posterior root apex of the 25mA applied site (15day)

Capillary in the periodontal ligament revealed showed normal state. Connective tissue in some area of periodontal ligament are dense, and pulpal tissue revealed healthy condition except capillary dilatation (H-E stain x40 and x100).

Figure 16. Root apex of the 50mA applied site (15day)

Photomicrography showed remarkable dilation of capillary in the periodontal ligament. Inflammatory cell infiltration in the pulp tissue and loose connective tissue in periodontal ligament, but normal odontoblast arrangement were observed (H-E stain x40, x100 and x200).

Figure 17. Labial side of periodontal ligament of the control site (15day)

Photomicrograph showed the normal arrangement condition of periodontal ligament which highly close to the tooth surface (H-E stain x40 and x100).

Figure 18. Lingual side of periodontal ligament of the control site (15day)

It was observed reversal line of alveolar bone on the periodontal ligament side including obvious sharpey's fiber embedded into bone. The width of periodontal ligament revealed more wider than labial side as dotted line (H-E stain x40 and x100).

Figure 19, 20. Labial & lingual side of periodontal ligament of the 10mA applied site (15day)

There were no obvious different points with control site except capillary dilatation on the lingual side of periodontal ligament (H-E stain x40).

Figure 21, 22. Periodontal ligament of the control site and of the 25mA at applied site (15day)

Numerous capillaries were arranged along the bone side in the periodontal ligament. The well distinguished reversal line was clearly between new bone and pre-existing bone. The width of periodontal ligament was almost same thickness (H-E stain x100).

Figure 23, 24. Periodontal ligament of the 25mA at applied site (15day)

Photomicrography showed unclear remarkable points compare with other group (H-E stain x40 and x100).

Figure 25. Periodontal ligament of the 50mA applied site (15day)

Highly stained dense connective tissue was well contacted to tooth surface, and many capillary dilatated on the side of pre-existed bone in the periodontal ligament (H-E stain x40 and x100).

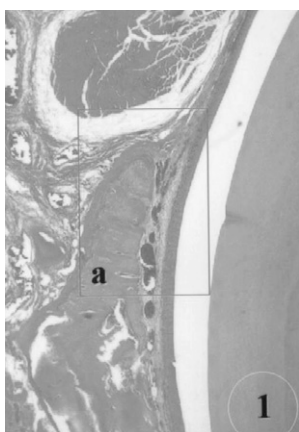
Figure 26. Pulp tissue of the control site (15day)

- The shape and arrangement of odontoblast revealed normal condition (H-E stain x40 and x100).
- Figure 27. Pulp tissue of the 10mA at applied site (15day)
Many capillaries were proliferated and were dilated condition filled with RBC, and dense arrangement of odontoblast were observed (H-E stain x40 and x100).
- Figure 28. Pulp tissue of the 25mA at applied site (15day)
Degenerated odontoblasts such as large vacuole were located on the whole areas of pulp tissue. Numerous capillary dilatation were observed on the center portion of pulp (H-E stain x40 and x100).
- Figure 29. Pulp tissue of the 50mA applied site (15day)
Photomicrography showed degenerated odontoblasts located on the whole areas of pulp tissue. Numerous capillary dilatation which were fulfilled with inflammatory cells were observed on the center portion of pulp (H-E stain x40 and x100).

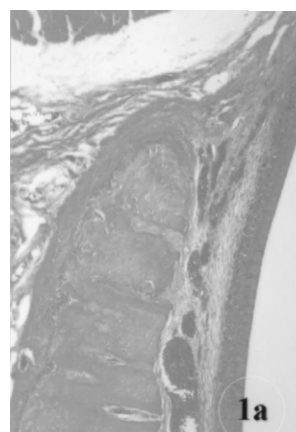
사진부도 (1)



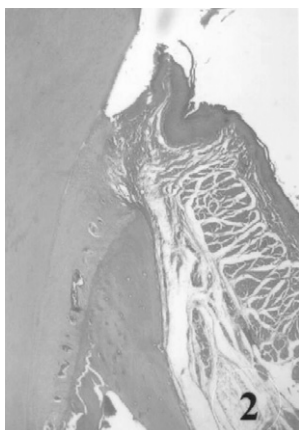
Acutron multiwave 911



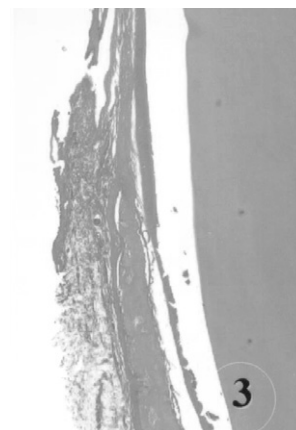
X40



X100



X40

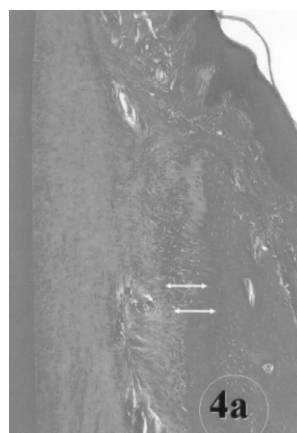


X40

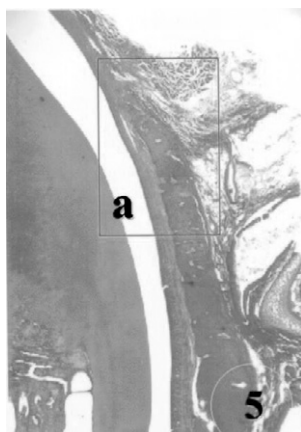
사진부도 (Ⅱ)



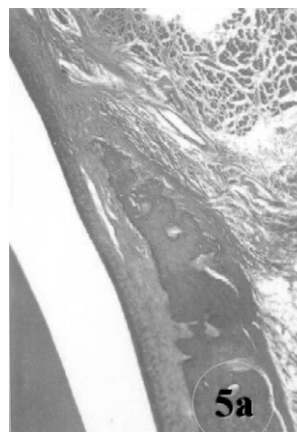
X40



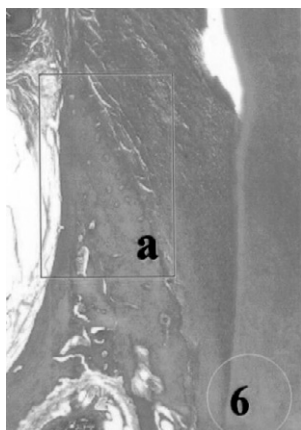
X100



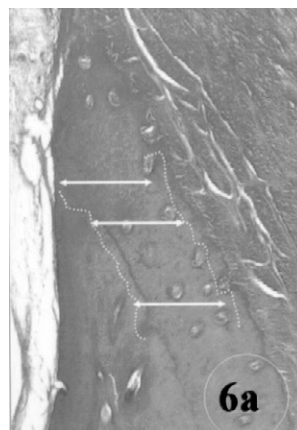
X40



X100

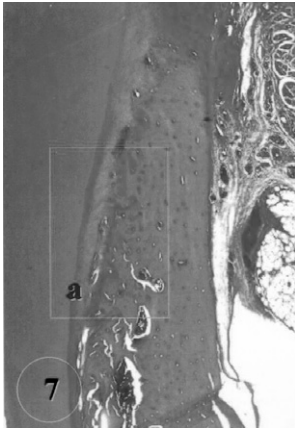


X40

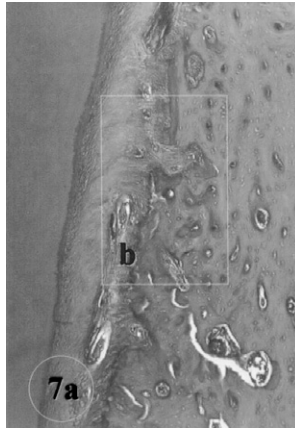


X100

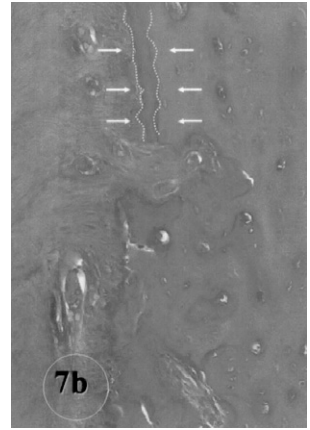
사진부도 (Ⅲ)



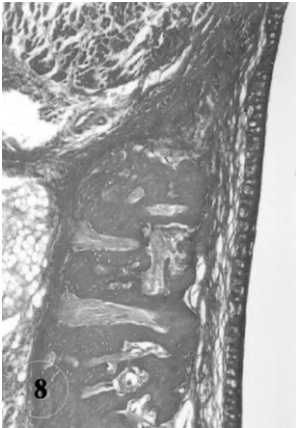
X40



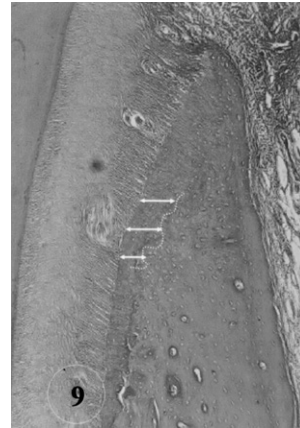
X100



X200



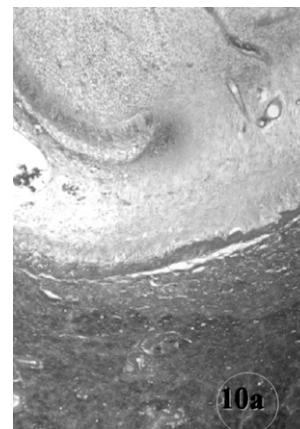
X40



X40

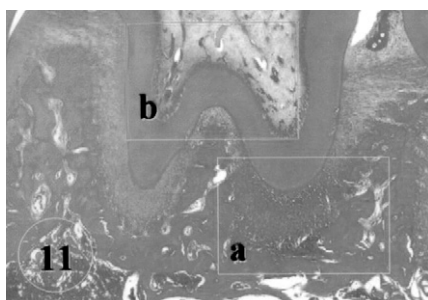


X40

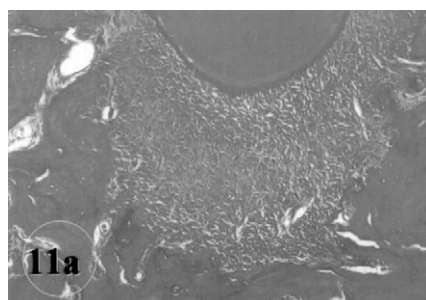


X100

사진부도 (Ⅳ)



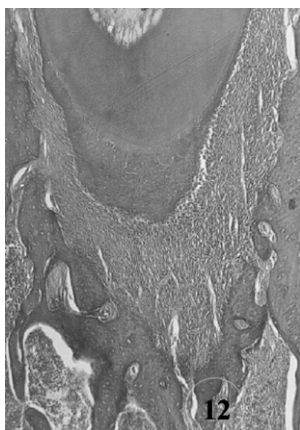
X40



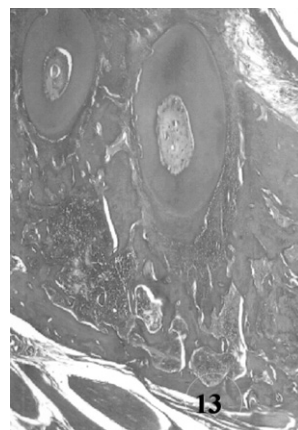
X100



X100

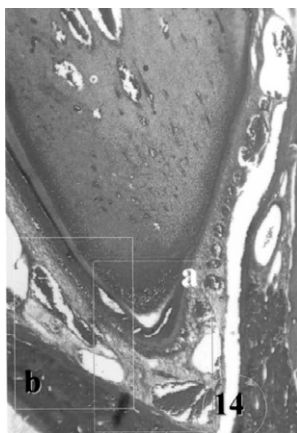


X100

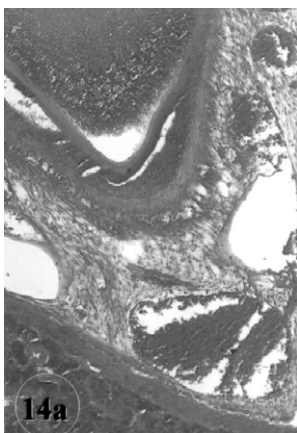


X40

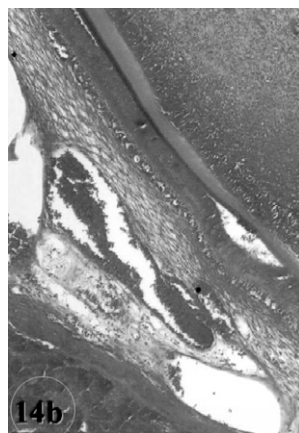
사진부도 (V)



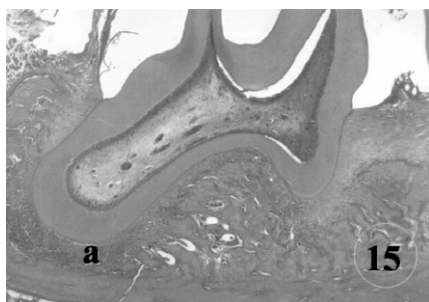
X40



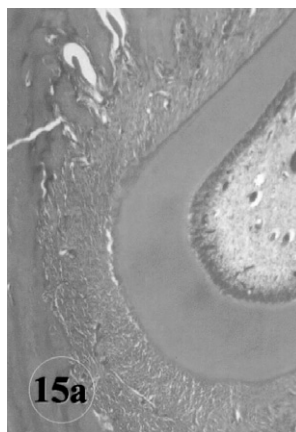
X100



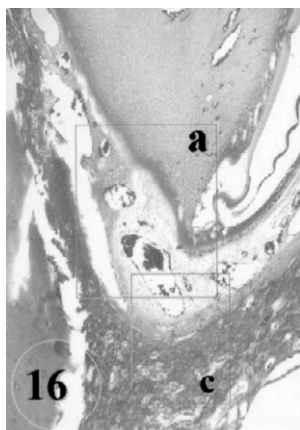
X200



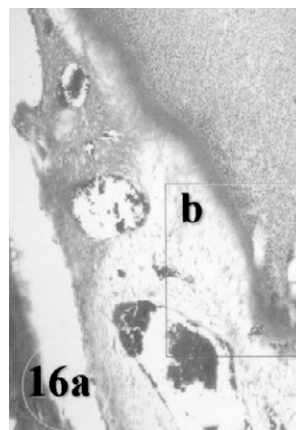
X40



X40

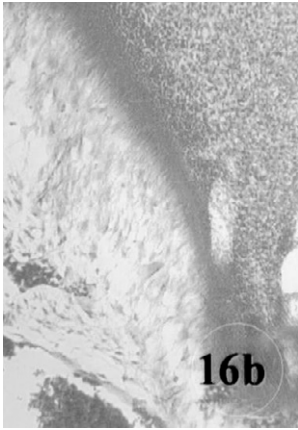


X40

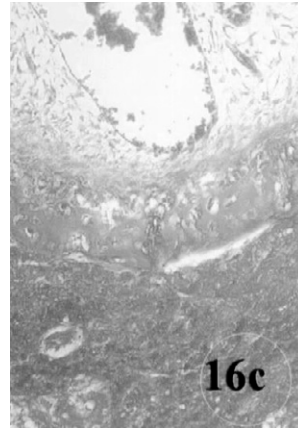


X100

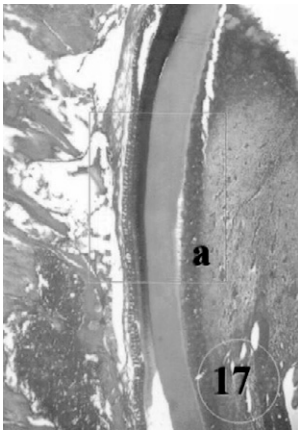
사진부도 (VI)



X200



X200



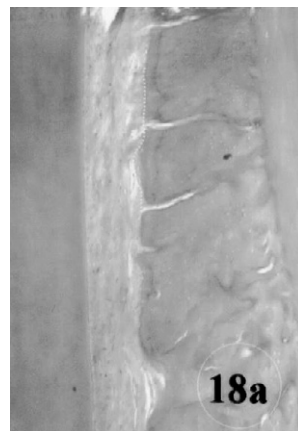
X40



X100

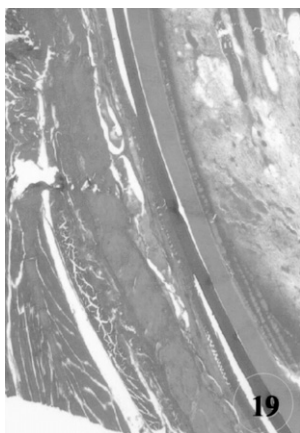


X40

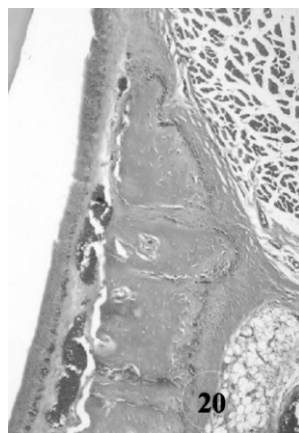


X100

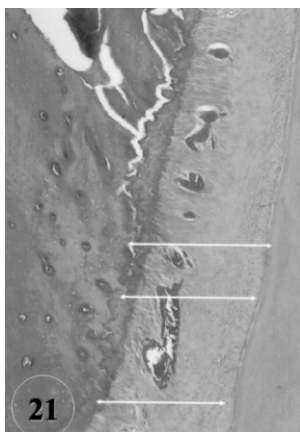
사진부도 (VII)



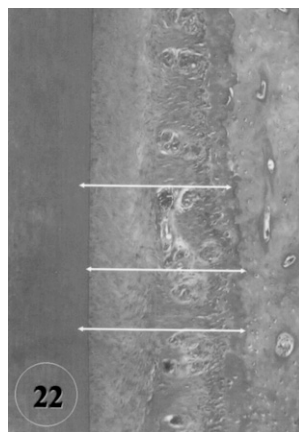
X40



X40



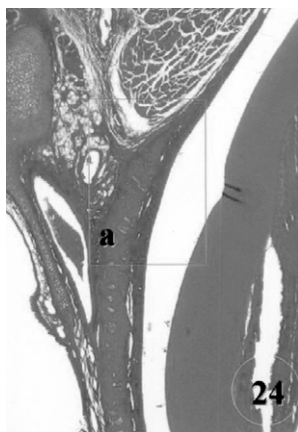
X100



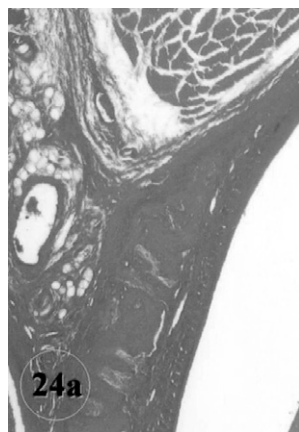
X100



X40

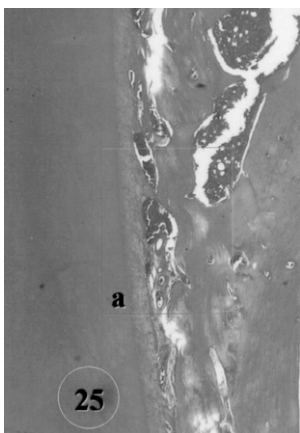


X40

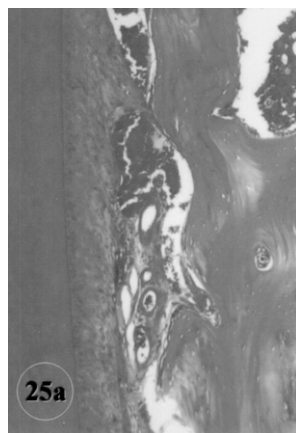


X100

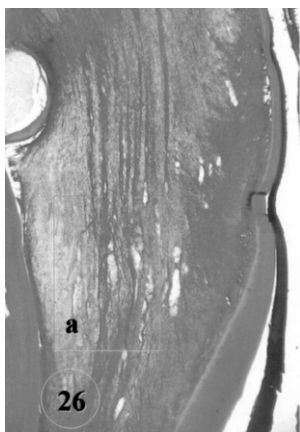
사진부도 (VIII)



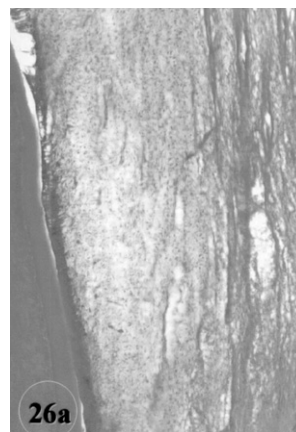
X40



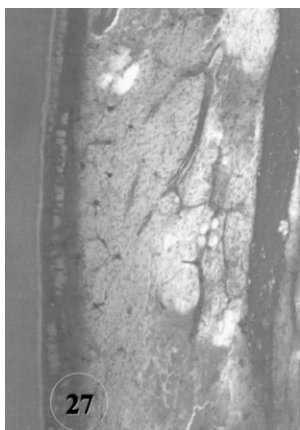
X100



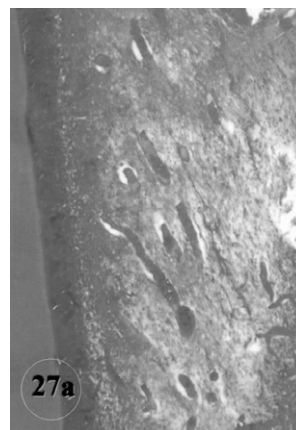
X40



X100

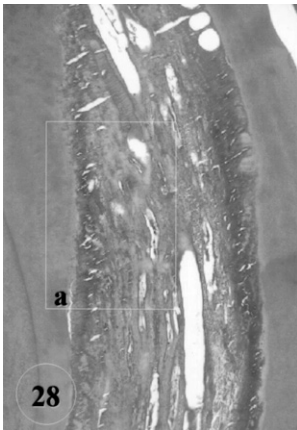


X40

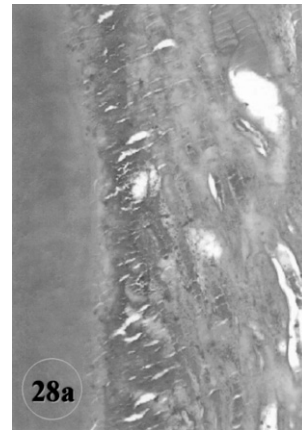


X100

사진부도 (IX)



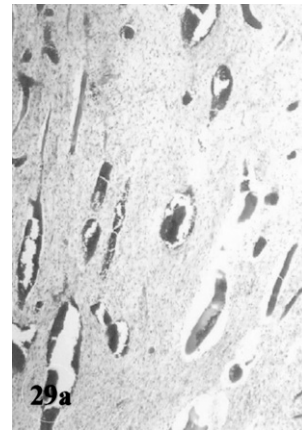
X40



X100



X40



X100

EFFECTS OF ELECTRICAL STIMULATION ON THE NORMAL PERIODONTIUM

Kyung Seok Lim, Young-Hyuk Kwon, Man-sup Lee, Joon-bong Park

Department of Periodontology, Division of Dentistry, KyungHee University

The earliest reports of the use of electrical energy to directly stimulate bone healing seem to be in 1853 from England, the techniques involved the introduction of direct current into the non-united fracture site percutaneously via metallic needles, with subsequent healing of the defect.

One endpoint of the periodontal therapy is to generate structure lost by periodontal diseases. Several procedural advances may support regeneration of attachment, however, regeneration of alveolar bone does not occur consistently. Therefore, factors which stimulate bone repair are areas for research in periodontal reconstructive therapy. Effects of cytokines or growth factors on bone repair are examples of such areas. Another one is electrical current which occurs in bone naturally, so that such bone may be particularly susceptible to electrical therapy.

The purposes of this study were to observe the effects of electrical stimulation on the normal periodontium, to determine whether the electricity is the useful means for periodontal regeneration or not. Forty rats weighted about 100 gram were used and divided into 4 groups, the first group, there was no electrical stimulation with the connection of electrodes only. In the second group, there was stimulated by the 10 mA during 10 minutes per a day, in the third group was stimulated by the 25 mA, and the fourth by the 50 mA. At 3, 5, 10 and 15 days post-appliance, two rats in each group were serially sacrificed, and the maxillae and the mandible processed to paraffin, and the specimens were prepared with Hematoxylin-Eosin stain for the light microscopic evaluation.

The results of this study were as follows :

1. There was the distinct reversal line on the lingual alveolar crest, whereas a little changes in the labial alveolar crest to the duration and amount of currents.
2. In 50 mA group, the cells were highly concentrated at the apex of anterior teeth, and was observed the necrotic tissue. In posterior root apex, the hypercementosis was appeared, and newly formed cementum layer has been increased continuously with the time.
3. The periodontal ligament fiber and Sharpey's fiber were arranged in order, and the bone trabeculae were increased as the experiment proceeded by, relatively the bone marrows were decreased.
4. In the pulp tissue, the blood vessels were increased with blood congestion in the experimental specimens

remarkably, and the dentinal tubules were obstructed .

5. The osteoblasts in alveolar bone proper had been showed highly activity, and also observed the formation of bone trabeculea.

In the conclusion, it was suggested that the electrical stimulation has influence on the periodontium and the pulp tissue. However, there might be the injurious effects.