

Half-sine Wave Pulsed Electromagnetic Fields가 교정적 치아 이동에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

김 영 준¹⁾

본 연구의 목적은 교정적 치아 이동시 교정력과 Half sine-wave pulsed electromagnetic field (HSPPEMF)를 함께 적용한 경우 교정력 만을 적용한 경우보다 치아 이동량이 증가한다는 가설을 확인하고, HSPPEMF의 적용 시간을 다양하게 적용하여 치아 이동이 일어나는 적용 시간의 역치와 적용 시간과 치아 이동량과의 관계를 밝히는데 있다. Hartley guinea pig를 실험 대상으로 하여 상악 좌우측 중절치에 12g의 이개력을 발휘하는 스프링을 장착하여 실험군에 각각 4시간, 8시간 및 12시간 동안 HSPPEMF를 적용한 후 치아 이동량을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 10 일간의 실험 기간 동안 하루 4시간의 HSPPEMF를 적용한 경우 실험군과 대조군에서 치아 이동량이 유의성 있는 차이를 보이지 않았다.
2. 10 일간의 실험 기간 동안 발생한 치아 이동량에 있어서, 하루 8시간 및 12시간의 HSPPEMF를 적용한 경우 각각 실험 8일 및 6일 이후부터 실험군이 대조군보다 더 큰 유의성 있는 증가를 보였다.
3. 10 일간의 실험 기간 동안 발생한 치아 이동량에 있어서, HSPPEMF를 하루 12시간씩 적용한 경우가 8시간씩 적용한 경우보다 실험 후 7일과 8일에서 더 큰 유의성 있는 증가를 보였다.

(주요단어 : 치아 이동량, 생물학적 전기학설, Half sine-wave pulsed electromagnetic field)

I. 서 론

부정교합을 개선하기 위한 교정적인 치아 이동의 목표는 치아 및 주위 조직의 손상 없이 변위된 치아를 이상적인 위치에 최단 기간 내 위치시키는 것이다. 이 같은 목표를 달성하기 위해서는 교정적인 치아 이동에 대한 생물학적 이론 배경을 이해하고, 이에 적합한 물리적 기전을 적용해야만 한다.

교정적인 치아 이동을 설명하는 학설로 고전적인 학설인 치주인대의 압박-신장설과 비교적 최근의 학설인 생물학적 전기학설의 두가지 학설이 있으나, 아직 어느 한가지 학설도 완벽하게 설명하고 있지는 못하다.^{1,2,3,4,5)} 따라서 보다 이상적인 교정적 치아 이동을 위한 생물학적 이론을 규명하기 위해서는 여러 가지

방법으로 접근하여 더 많은 사실들을 규명할 필요가 있다.

교정적 치아 이동에 대한 생물학적 이론 배경은 치아에 적용된 물리적인 힘에 대한 치주 인대와 치조골의 생물학적인 반응의 결과라고 하는 가설을 전제로 하고 있다.⁶⁾ 골 흡수, 골 생성 과정과 치주인대의 퇴행성 및 재형성 변화 등을 확인하기 위한 실험적 치아 이동에 관한 연구들을 통하여 이같은 가설에 대한 과학적 근거가 입증되어 왔다.^{7,8,9,10,11)}

교정적 치아 이동에 대한 생물학적 연구는 초기 Oppenheim⁷⁾과 Story¹²⁾, Reitan^{11,13)} 등에 의해 교정적 치아 이동시 압박측과 인장측에서 일어나는 일련의 과정 등을 조직학적으로 확인하는 과정에서부터 출발하였다. 그 이후 많은 연구들에 의해서 강한 힘이 적용되었을 때에는 압박측에서 초자양 조직이 발생하고, 이같은 조직이 제거되기 전에는 치아 이동이 일시적으로 정지되며, 이때 무리하게 교정력을 계속 적용한 경우 치아 이동은 일어나지 않고 오히려 치근의

¹⁾ 연세대학교 치과대학 교정학교실 조교수

* 이 연구는 1995년도 연세대학교 학술 연구비 지원에 의해 이루어졌음

흡수가 유발될 수 있다고 알려져 있다.^{13,14,15)} 이같은 간접적 골 흡수에 따르는 부작용을 줄이기 위해 초자양 조직의 발생을 최소화하거나 억제하는 직접적 골 흡수에 대한 연구에 초점이 맞추어져 많은 시도가 있어 왔다.¹¹⁾

동물 실험을 통해서 교정력을 약하게 적용하는 경우 초자양 조직이 발생하지 않는 직접적 골 흡수가 확인된 후, 최적의 교정력에 대한 연구가 활발히 일어났다.¹⁶⁾ 교정적 치아 이동을 위한 최적의 교정력은 치주 인대 내의 미세 혈관을 손상시키지 않으면서 골 흡수와 골 생성을 시킬수 있는 미분화 세포 활동도를 촉진시킬 수 있을 만큼 충분한 정도이어야 한다. 이같은 이론을 임상적으로 적용하기 위해서는 치아에 적용되는 교정력 뿐 아니라 교정력이 분포되는 치주인대 부위의 넓이 즉 치주인대의 단위 면적당 적용되는 교정력과 치아 이동 양태의 조절이 중요하다.¹⁶⁾

그러나 이같은 이론을 임상적으로 적용하는데 따르는 많은 어려움 때문에 생화학적 및 면역 체계적인 접근의 도움으로 직접적 골 흡수를 유발하거나 혹은 치아 이동 속도를 증가시키기 위한 다른 접근 방법에 대한 연구가 시도되었다.

Davidovitch와 Shanfeld는 치아에 교정력을 적용하면 치조골과 치주인대 세포내에서 cAMP와 cGMP의 수준이 높아진다고 하였으며, cAMP의 합성은 Prostaglandin 의존성이 있다고 하였으며, 고양이와 견치에 교정력을 가한후 압박측과 인장측의 치주인대 내에서 PGE₂의 수준이 증가한다는 것을 관찰하였다.¹⁷⁾ Yamasaki는 백서, 원숭이와 인간에서 교정적으로 치아를 이동시킬 때 이동시킬 치아 주변의 치은에 PGE를 주사한 시험을 통하여 PGE가 치아의 이동 속도를 빠르게 한다고 하였다.⁶⁾ Davidovitch와 Kvinnsland 등에 의하면, 치주인대 세포 내의 cAMP와 cGMP의 증가는 기계적 힘의 직접적인 효과에 의한 것만이 아니고 내인성 신호 인자에 대해서도 유발된다고 하였다.^{18,19)}

Rygh와 Khouw 등은 면역체계도 교정적 조직 반응에서 조절 역할을 한다고 하였으며, 치아 이동시 치주인대의 인장측은 물론 압박측의 주변에서도 혈관 확장이 현저히 일어나며, 혈관 근처에서는 대식 세포가 관찰되고, 이와 같은 세포 뿐만 아니라 cytokine이 생성되며, Interleukin-1 α 와 1 β 등은 백혈구의 유인, 섬유모세포의 증식 촉진, 골 흡수 촉진, PGE₂ 및 교원질 분해 효소의 생산 증가, 파골 세포 수를 증가시킨다고 하였다.^{20,21)}

그러나 교정적 치아 이동에 대한 생화학적 연구에 의해서 많은 사실들이 규명되었음에도 불구하고, 아직도 교정력에 의한 치아 이동 기전에 대한 완벽한 설명이 미흡한 실정이다. 이와 같은 상황을 극복하기 위해 또 하나의 다른 관점에서 접근이 시도되어, 생체계에 미치는 전기적인 영향에 대한 연구에서 기인하여 교정적인 치아 이동을 생물학적 전기학설로 설명하려는 연구가 진행되고 있다. Zengo 등은 교정적으로 이동된 치아의 각 부위에서 전위차를 측정하고, 법랑질에서 전위차가 가장 크고, 백아질과 상아질은 비교적 낮으며, 치조골이 가장 낮게 측정되었으며, 치은, 인접치 및 주변의 지지 조직에서도 생물학적 전기 효과가 있다고 하였다.²²⁾ Davidovitch는 고양이 치조골에 외인성 전류를 가한 경우 치조골의 Cyclic nucleotide가 증가하였고, 음극 근처에서 증가된 조골 세포에 의하여 골 첨가가 증가되었으며, 또한 교정력과 전류를 함께 가한 경우 교정력 만을 단독으로 가한 경우보다 치아 이동량이 증가하였다고 보고하였다.^{23,24)} Norton은 전기적 교란이 하전 분자의 집단으로 구성된 세포막 수용체에 영향을 주어 이온을 이동시키며 세포 증식과 관련된 수소 이온 농도의 변화와 산소 분압 변화 등을 초래한다고 하였다.⁴⁾ 교정적인 치아 이동의 기전을 설명하거나 혹은 치아 이동 속도를 증가시키는데 있어서 생물학적 전기학설로 설명되지 않는 부분이 아직도 많이 있으나, 새로운 관점에서 많은 관심을 불러일으키고 있다.

교정적 치아 이동 속도를 증가시키기 위한 전기적 접근 방법 중의 하나인 전자기장의 적용에 관한 Gerling²⁵⁾, Darendelier²⁶⁾와 김²⁷⁾ 등의 실험에 의하면 교정적 치아 이동시 전자기장을 적용한 경우 교정력 만을 적용한 경우에 비하여 치아 이동 속도가 증가하였다. 그러나 이들의 실험은 전자기장의 효과의 유무를 확인하기 위한 기초 실험으로, 과연 어느 기간만큼 전자기장을 적용하여야 하는가에 대한 기준에 대한 정보가 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 전자기장의 적용 시간을 다양하게 적용하여 전자기장 적용 시간의 역치를 규명하고, 전자기장 적용 시간과 치아 이동량과의 관계를 밝히고자 한다.

II. 실험 재료 및 방법

가. 실험 재료

본 연구의 대상으로 10일간 동일 조건에서 사육하

여 실험 시작시 연령 35일, 체중 약 260g의 건강한 음성 Hartley guinea pig 80 마리를 사용하였다. 대조군에 20 마리, 실험군에 60 마리를 배정하고, 실험군을 다시 Half sine-wave pulsed electromagnetic field(HSPEMF)를 하루에 4 시간, 8시간 및 12 시간을 적용한 군으로 재분류하여 각각의 군에 20 마리씩 배정하였다(표 1).

표 1. 전자기장 적용 시간에 따른 실험 동물의 분류

군	HSPPEMF 적용(시간)	숫자(마리)
대조군	0	20
실험군 I	4	20
II	8	20
III	12	20

나. 실험 장치

실험 동물은 HSPPEMF 적용 시간에 따라 하루 중 20 시간, 16 시간 및 12 시간씩 상온에서 금속으로 만든 30 cm x 50 cm의 쥐장에서 사육하고, 하루 중 4시간, 8 시간 및 12 시간씩 전자기장을 방해하지 않는 재질인 아크릴로 만든 쥐장에서 사육하였다. 본 실험에서 사용한 쥐장 및 HSPPEMF는 김에 의해 고안된 장치를 이용하였으며, 최대 전자기장력이 5.3milli Tesla가 되도록 하였다²⁷⁾(그림 1, 2).

다. 실험방법

Ketamin HCl을 5-10 mg/Kg 씩 근육 주사하여 마

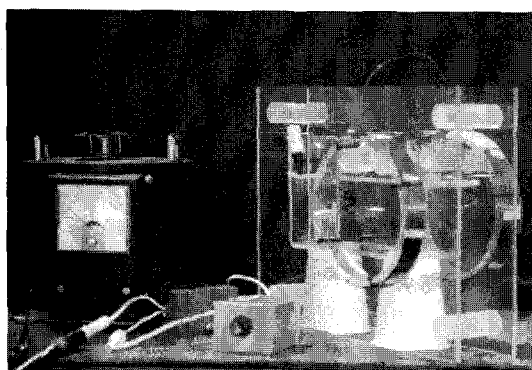


그림 1. HSPPEMF를 발생시키는 장치.

취한 후, 실험 동물의 좌우측 중절치의 절단면에서 2 mm 하방 부위에 이개 스프링을 장착할 수 있는 구멍을 형성한 후, 각각의 군에 12g의 이개력을 발휘하는 이개 스프링을 장착하였다. 10일간의 실험 기간 동안 실험군에 각각 하루에 4 시간, 8 시간 및 12 시간씩 HSPPEMF를 적용한 상태에서 아크릴장에 실험 동물을 넣었으며, 나머지 시간 동안은 금속 장에서 자유롭게 물과 연동식을 먹을 수 있도록 하였으며, 매일 상악 좌우측 중절치 사이의 이개된 거리를 디지털 캘리퍼*를 이용하여 1/100 mm까지 측정하였다.

통계 처리는 SPSS/PC Program을 이용하였으며, 각군에서의 치아 이동량에 대한 평균값과 표준 편차를 구하고, 각군에 대한 Student's t-test로 유의성 검증을 하였다.

III. 연구 결과

치아 이동량에 있어서 하루 4 시간 HSPPEMF를 적용한 경우 실험 시작 1일부터 10일까지 실험군과 대조군 사이에 유의성 있는 차이를 보이지 않았으나(표 2), 하루 8 시간 적용한 경우에는 실험 시작 8일 이후부터 실험군이 대조군보다 유의성 있게 크게 나타났으며($p < 0.001$) (표 3), 12 시간 적용한 경우에는 실험 시작 6일 이후부터 실험군이 대조군보다 유의성($p < 0.01$) 있게 더 크게 나타나기 시작하였고, 실험 시작 7일 이후부터는 차이가 더 크게 나타났다($p < 0.001$) (표 4). 또한 HSPPEMF를 8 시간과 12 시간 적용한 경우를 비교하면, 7 일과 8 일에서 12 시간 적용하였을 때 더 많은 양의 치아 이동이 있었다($p < 0.01$).

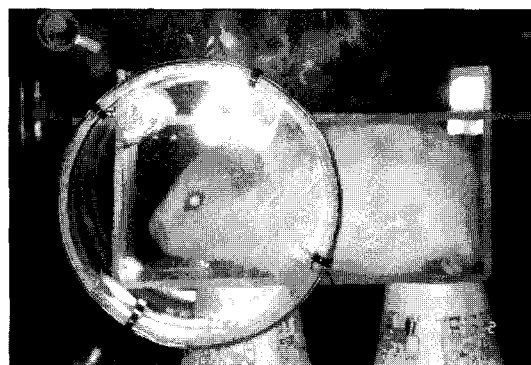


그림 2. 실험 기간 동안 HSPPEMF를 적용한 실험군 모습

* : Ultra-Cal II, Fred Fowler Corp., Newton, Mass

표 2. 하루 4 시간 HSPEMF를 적용한 경우에서의 치아 이동량(mm)

일	대 조 군 (Mean ± S.D.)	실 험 군 I (Mean ± S.D.)	유의수준
1	1.40±0.17	1.39±0.18	0.976
2	1.69±0.25	1.70±0.20	0.965
3	1.92±0.27	1.91±0.24	0.946
4	2.05±0.26	2.05±0.27	0.956
5	2.18±0.27	2.19±0.28	0.962
6	2.29±0.29	2.28±0.30	0.921
7	2.42±0.30	2.44±0.32	0.861
8	2.60±0.29	2.61±0.31	0.921
9	2.89±0.31	2.92±0.35	0.816
10	3.23±0.36	3.22±0.33	0.925

표 4. 하루 12 시간 HSPEMF를 적용한 경우에서의 총 치아 이동량(mm)

일	대 조 군 (Mean ± S.D.)	실 험 군 III (Mean ± S.D.)	유의수준
1	1.40±0.17	1.42±0.22	0.721
2	1.69±0.25	1.73±0.23	0.324
3	1.92±0.27	2.02±0.25	0.389
4	2.05±0.26	2.19±0.35	0.311
5	2.18±0.27	2.41±0.35	0.299
6	2.29±0.29	2.73±0.38	0.005**
7	2.42±0.30	3.18±0.35	0.001***
8	2.60±0.29	3.63±0.39	0.000***
9	2.89±0.31	4.01±0.38	0.000***
10	3.23±0.36	4.40±0.36	0.000***

*** : p < 0.001 ; ** : p < 0.01.

IV. 총괄 및 고찰

교정력에 의한 치아 이동의 생물학적 기전을 밝히기 위한 다양한 접근 방법 중에서 생물학적 전기학설은 비교적 최신의 학설로서, 동물 실험 및 임상 실험을 통해서 그 활용을 넓혀가고 있다.^{23,24,28,29,30)} 동물 실험에 의하면 교정력이 치아 주위 치조골의 전기적 교란을 야기하여 일시적 전하를 띠게 하며, 이것이 하전 분자의 집단으로 구성된 세포막 수용체에 전달되어 골개조에 관여한다고 알려져 있다.³¹⁾ Norton에 의

표 3. 하루 8 시간 HSPEMF를 적용한 경우에서의 치아 이동량(mm)

일	대 조 군 (Mean ± S.D.)	실 험 군 II (Mean ± S.D.)	유의수준
1	1.40±0.17	1.43±0.19	0.798
2	1.69±0.25	1.70±0.20	0.923
3	1.92±0.27	1.96±0.22	0.712
4	2.05±0.26	2.14±0.28	0.523
5	2.18±0.27	2.30±0.30	0.312
6	2.29±0.29	2.57±0.32	0.061
7	2.42±0.30	2.72±0.30	0.055
8	2.60±0.29	3.29±0.34	0.000***
9	2.89±0.31	3.68±0.32	0.000***
10	3.23±0.36	4.08±0.33	0.000***

*** : p < 0.001.

표 5. 하루 8시간 및 12 시간 HSPEMF를 적용한 경우 치아 이동량의 차이(mm)

일	실 험 군 II (Mean ± S.D.)	실 험 군 III (Mean ± S.D.)	유의수준
1	1.43±0.19	1.42±0.22	0.924
2	1.70±0.20	1.73±0.23	0.826
3	1.96±0.22	2.02±0.25	0.712
4	2.14±0.28	2.19±0.35	0.739
5	2.30±0.30	2.41±0.35	0.258
6	2.57±0.32	2.73±0.38	0.358
7	2.72±0.30	3.18±0.35	0.005**
8	3.29±0.34	3.63±0.39	0.009**
9	3.68±0.32	4.01±0.38	0.011
10	4.08±0.33	4.40±0.36	0.014

** : p < 0.01.

하면 음전하는 골침착을 촉진하는 반면 양전하는 골흡수 부위에서 관찰되고 있으며, 외인성 전류를 적용하거나 혹은 간접적으로 발생한 유도 전류를 적용하던 간에 골 또는 결합 조직의 세포에 영향을 미쳐 치조골의 골개조가 영향을 받는다고 하였다.^{4,5,32)} 외부 자극에 대한 조직과 그 세포 반응의 기계적, 화학적 및 전기적 성질 사이에 상호 관련성이 있다는 것이 입증되었으며, 이같은 현상이 세포막의 투과도를 변화시켜 칼슘, 나트륨과 칼륨 이온의 통과 속도를 증진하고, 증가된 이들 이온의 농도는 세포의 생화학적 진

행과 세포와 세포 간의 상호 작용을 조절한다.³¹⁾

외인성 전기 자극을 이용하여 직접 전류를 적용하는 방법은 전극을 외과적으로 수술하여 매식하는 번거로움 때문에 본 실험에서는 HSPPEMF를 이용하였다. Pulsed electromagnetic field(PEMF)를 이용한 Gerling, Darendeliler와 김 등에 의하면 교정력과 PEMF를 함께 적용한 경우가 교정력만을 적용한 경우보다 치아 이동량이 증가하였고, 압박측과 인장측에서 파골 세포와 조골 세포의 수가 증가하였다고 하였다.^{25,26,27)}

그러나 Gerling 과 김의 실험에서는 전자기장을 하루 8 시간 적용하여 얻은 결과로서, 압박측과 인장측에서 파골 세포와 조골 세포의 수를 증가시키기 위해서는 어느 정도 시간만큼 적용해야 하는가에 대한 정보가 부족한 실정이다.

본 실험에서의 결과에 의하면 HSPPEMF를 하루 4 시간을 적용한 경우 실험군과 대조군의 치아 이동량에서 유의성 있는 차이를 보이지 못하였다. 이같은 결과는 교정력의 기계적인 자극에 세포 변화가 야기되어 치아 이동이 일어나기 위해서는 역치 이상의 교정력과 일정 기간 이상 교정력이 지속되어야 하는 것처럼 일정 시간 이상 HSPPEMF가 적용되어야 한다는 것을 암시한다. HSPPEMF 적용 시간을 하루 8 시간으로 연장한 경우 실험군과 대조군에서는 유의할만한 수준으로 차이를 보였으며, 이는 Gerling과 김의 결과와 유사하다.

HSPPEMF 적용 시간을 연장하여 하루 12 시간 적용한 경우 비록 실험 7 일과 8 일에서 실험군과 대조군이 유의성 있는 차이를 보였지만, 나머지 기간에서는 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 이같은 결과의 해석을 위해서는 좀더 세밀한 추가적인 실험이 요구되고 있다.

또한 본 실험에서는 12 g의 이개력을 발휘하는 스프링을 장착하였지만, 교정력과 HSPPEMF 적용 시간과의 상호 관련성 여부를 확인하기 위해서는 추가적인 실험을 필요로 하고 있다.

V. 결 론

Half sine-wave pulsed electromagnetic field (HSPPEMF) 적용 시간이 교정적인 치아 이동에 미치는 영향을 알아보기 위하여, Hartley guinea pig를 실험 대상으로 하여 상악 좌우측 중절치에 12 g의 이개력을 발휘하는 스프링을 장착하여 실험군에 4 시간,

8시간과 12 시간 동안 HSPPEMF를 적용하여 치아 이동량을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 10 일간의 실험 기간 동안 하루 4 시간의 HSPPEMF를 적용한 경우 실험군과 대조군에서 치아 이동량이 유의성 있는 차이를 보이지 않았다.
2. 10 일간의 실험 기간 동안 발생한 치아 이동량에 있어서, 하루 8 시간 및 12 시간의 HSPPEMF를 적용한 경우 각각 실험 8 일 및 6 일 이후부터 실험군이 대조군보다 더 큰 유의성 있는 증가를 보였다.
3. 10 일간의 실험 기간 동안 발생한 치아 이동량에 있어서, HSPPEMF를 하루 12 시간씩 적용한 경우가 8 시간씩 적용한 경우보다 실험 후 7 일과 8 일에서 더 큰 유의성 있는 증가를 보였다.

REFERENCE

1. Baumrind, S.A. : Reconsideration of property of the "Pressure-tension" hypothesis, *Am. J. Orthod.*, 55 : 12-22, 1969.
2. Mostafa, Y.A., Weaks-Dybvig, M., and Osdoby, P. : Orchestration of tooth movement, *Am. J. Orthod.*, 83 : 245-250, 1983.
3. Moyer, R.E. : *Handbook of orthodontics*, 4th ed. : 306-331, Year Book Medical Publisher, Inc., Chicago, 1988.
4. Norton, L.A., Moore, R.E. : Bone growth in organ culture modified by an electric field, *J. Dent. Res.*, 51 : 1491-1499, 1972.
5. Norton, L.A. : Implications of bioelectric growth control in orthodontics and dentistry, *Angle Orthod.*, 45 : 35-42, 1975.
6. Yamasaki, K., Miura, F. and Suda, T. : Prostaglandin as a mediator of bone resorption induced by experimental tooth movement in rats, *J. Dent. Res.*, 59 : 1635-1642, 1980.
7. Oppenheim, A. : A possibility for physiologic orthodontic tooth movement, *Am. J. Orthod. and Oral Surg.*, : 277-328, 1944.
8. Reitan, K. : Tissue rearrangement during retention of orthodontically rotated teeth, *Angle Orthod.*, 29 : 105-113, 1959.
9. Reitan, K. : Tissue behavior during orthodontic tooth movement, *Am J. Orthod.*, 46 : 881-900, 1960.
10. Reitan, K. : Comparative behavior of human and animal tissue during experimental tooth movement, *Angle Orthod.*, 41 : 1-14, 1971.

11. Reitan, K. : Biomechanical principles and reactions, In Graber, T.M., Swain, B.D., ed. : Current orthodontic concepts and techniques, ed. 2nd, W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1975.
12. Storey, E. : Bone changes associated with tooth movement. A histological study of the effect of force in the rabbit, guinea pig, and rat, Aust. J. Dent., 59 : 147-161, 1955a.
13. Rygh, P., Reitan, K. : Ultrastructural changes in the periodontal ligament incident to orthodontic tooth movement, Europ. Orthod. Soc. Trans., 48 : 393-405, 1972.
14. Rygh, P. : Ultrastructural vascular changes in pressure zones of rat molar periodontium incident to orthodontic tooth movement, Scand. Dent. Res., 80 : 307-321, 1972.
15. Rygh, P. : Ultrastructural changes in pressure zones of human periodontium incident orthodontic tooth movement, Acta Odont. Scand. 31 : 109-122, 1973.
16. Proffit, W.R. : Contemporary orthodontics, 2nd ed., 266-288, Mosby Co., St. Louis, 1993.
17. Davidovitch, Z. and Shanfeld, J.L. : Cyclic AMP levels in alveolar bone of orthodontically treated cats, Arch. Oral Biol., 20 : 567-574, 1975.
18. Davidovitch, Z., Nicolay O.F., Ngan, P.W. and Shanfeld, J.L. : Neurotransmitters, cytokines and the control of alveolar bone remodeling in orthodontics, Adult Orthod. Dent. Clin. North Am., 32(3) : 411-435, 1988.
19. Kvinnsland, I., Kvinnsland, S. : Changes in CGRP-immunoreactive nerve fibers during experimental tooth movement in rats, Euro. J. Orthod., 12 : 320-329, 1990.
20. Rygh, P., Bowling, K., Hovlandsdal L and Williams, S. : Activation of the vascular system: a main mediator of periodontal fiber remodeling in orthodontic tooth movement, Am. J. Orthod., 89 : 453-468, 1986.
21. Khouw, F.E. and Goldhaber, P. : Changes in vasculature of the periodontium associated with tooth movement in the rhesus monkey and dog, Arch. Oral Biol., 15 : 1125, 1970.
22. Zengo, A.N., Pawluk, R.J. and Proutzos, nG. : Stress-induced bioelectric potentials in dentoalveolar complex, Am. J. Orthod., 74 : 17-27, 1973.
23. Davidovitch, Z. : Electrical currents, bone remodeling and orthodontic tooth movement. I. the effect of electric currents on periodontal cyclic nucleotides, Am. J. Orthod., 77 : 14-32, 1980.
24. Davidovitch, Z. : Electric currents, bone remodeling and orthodontic tooth movement. II. Increase in rate of tooth movement and periodontal cyclic nucleotides levels by combined force and electric currents, Am. J. Orthod., 77 : 33-47, 1980.
25. Gerling, J.A. Sinclair, P.M. and Roa, R.L. : The effect of electromagnetic fields on condylar growth in guinea pig, Am. J. Orthod., 87 : 211-223, 1985.
26. Darendeliler, M.A., Sinclair, P.M. and Kusy, R.P. : The effect of samarium-cobalt magnets and pulsed electromagnetic fields on tooth movement, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 107 : 578-588, 1995.
27. 김영준, 유영규 : Half sine-wave pulsed electromagnetic fields 내에서 교정력에 의한 치아 이동에 대한 연구, 대한치과교정학회지, 24 : 897-916, 1994.
28. 김영복, 양원식, 이종훈 : 외인성 전류가 고양이 치조골의 cyclic nucleotides 에 미치는 영향에 관한 연구, 대한치과교정학회지, 14 : 187-202, 1984.
29. 손홍범, 박영철 : 성견에서 전자력을 이용한 간헐적 교정력에 의한 치아 이동시 초기 조직학적 변화에 관한 연구, 대한치과교정학회지, 20 : 463-498, 1990.
30. Shapiro, E. : Orthodontic movement using pulsating force-induced piezoelectricity, Am. J. Orthod., 73 : 59-66, 1979.
31. Becker, R.O. : The bioelectric factors in amphibian limb regeneration, J. Bone Jt. Surg., 43A, 643, 1961.
32. Norton, L.A. : Stress-generated potentials and bioelectric effects : Their possible relationship to tooth movement. In Norton, L.A., Burstone, C.J., ed. : The biology of orthodontic tooth movement, CRC Press, Boca Raton, Fla, 1989.

-ABSTRACT-

An Experimental Study on the Effect of Half Sine-Wave Pulsed Electromagnetic Field in Orthodontic Tooth Movement

Young-Joon Kim

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Yonsei University

The purpose of this study was to investigate the effect of electromagnetic field in orthodontic tooth movement, and the optimal application period of electromagnetic field to initiate tooth movement.

Eighty male Hartley guinea pigs were utilized in this study. Laterally directed orthodontic force was applied to the maxillary central incisors. Half sine-wave pulsed electromagnetic field(HSPEMP) was applied to experimental group during 10 days. According to the period of application of HSPEMP(4 hours, 8 hours, 12 hours a day), they were divided into the three sub-groups.

The obtained results were as follows;

1. In case of application of HSPEMF during 4 hours a day, there was no significant difference in the final amount of orthodontic tooth movement between the experimental and the control group.
2. In case of application of HSPEMF during 8 and 12 hours a day, there was a significant increase in the final amount of orthodontic tooth movement since the eighth day, the sixth day respectively.
3. In comparison with the case of application of HSPEMF during 8 hours a day, there was a significant increase in the final amount of orthodontic tooth movement at the seventh day and the eighth day in case of application of HSDEMF during 12 hours a day.

KOREA. J. ORTHOD. 1998 ; 29 : 157-163

※ **Key words** : a amount of orthodontic tooth movement, biologic electricity theory, half sine-wave electromagnetic field