

교정력 및 외인성 전류가 고양이 치조골의 prostaglandin E₂에 미치는 영향에 관한 연구

서울대학교 치과대학

* 교정학교실

** 생리학교실

김종태* · 김중수** · 양원식*

— 목 차 —

- I. 서 론
- II. 실험재료 및 방법
- III. 실험결과
- IV. 고
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록

I. 서 론

종래의 교정치료는 기계적인 힘에 의하여 치주조직 세포들을 활성화시켜, 악골 개조를 통하여, 새로운 위치로 치아를 이동시킨다는데 이론적 근거를 두고 있다. 그러나, 기계적인 힘만으로는 치근의 인접 치주조직에만 영향이 미치고, 힘을 받은 압박측에서는 흔히 초자양 변성(hyalinization)과 잠행성 골흡수(undermining resorption)가 야기되어(Macapanpan 등 1954) 치아이동이 지연되므로, 생물학적인 한계 내에서 최적의 기계적인 힘으로 세포활성을 극대화시키는 것이 당면과제로 대두되고 있다.

세포 생물학적인 견지에서 교정적 치아 이동시에 기계적인 힘 이외에 치주조직의 골개조에 관여하는 세포들의 활성화에 영향을 미칠 수 있는 부갑상선 호르몬(Drazek 1968, Gianelly와 Schnur 1969, Midgett 등 1981), 비타민-D(Yamasaki 1976), 비타민-C(Litton 1974), 열(Tweedle 1965), prostaglandin

(이하 PG로 약칭)(강 1983, Yamasaki 등 1980, 1982), 전류(Davidovitch 등 1980a) 등을 보조적으로 사용하여 치아이동을 촉진시키려는 시도들이 있었다.

골세포들은 골조직에 부하되는 자극의 신호에 대하여 반응을 나타낸다. 1950년대 말과 1960년대 초에 이와같은 신호가 성질상 전기일지도 모른다는 가능성이 제시되었다. 시험관 실험에서 기계적 응력을 받은 골조직에서 전위차가 발생되며(Fukada와 Yasuda 1957, Bassett와 Becker 1962, Shamos 등 1963, Braden 등 1966), 미세량의 전류를 골조직에 가할때 음극부에서 골형성이, 양극부에서는 골흡수가 일어난다(Bassett 등 1964, Friedenber 등 1974, Lavine 등 1972, O'connor 등 1969). 1970년초 부터 정형외과학 분야를 중심으로 유착지연 골절부(Brighton 등 1977)와 선천형 가성관절증(Lavine 등 1972) 등의 임상치료에 응용하여 골형성을 촉진시키려는 시도를 했다. Norton (1975), Zengo 등 (1973, 1974), Davidovitch 등 (1977, 1980a, 1980b, 1980c) 등에 의해서 치과교정학 분야에 전류가 도입되어 교정적 치아 이동시에 세포활성기구를 규명함과 동시에 치아이동을 촉진시키려는 임상적 목적으로 연구가 시작 되었다.

전기적 자극과 기계적 교정력에 의한 자극으로 치조골 세포의 국소세포막에서 PG가 합성 분비되어 골개조의 생화학적 매개체로서 중요한 역할을 한다고 알려져왔다 (Binderman과 Cox 1977, Davidovitch 등 1980a, King과 Thiem 1979, Somjen 등 1980, Yamasaki 등 1980). Klein과 Raisz (1970)가 쥐의 배양장골에서 PG가 골흡수 과정에 미치는 영향에 관하여 처음으로 보고한 이래, 많은 연구자들이 PG

가 시험관 및 생체실험에서 파골세포를 활성화시켜서 골흡수를 촉진한다고 하였다(Holtrop 등 1978, Goodson 등 1974, 김 등 1983, 박과 고 1983, Raisz 등 1977). 교정적 치아 이동시에 외인성 PG를 국소적으로 투여하여 치아이동이 촉진되었다는 보고(강 1983, Yamasaki 등 1980, 1982)와 PG합성 억제제인 indomethacin을 치은에 국소적으로 투여하여 치아이동이 현저히 감소되었다는 결과는(강 1983, Yamasaki 등 1980, Chumbley와 Tuncay 1981) 교정력에 의한 골개조 과정에 내인성 PG의 관련성에 대한 관심을 높였다.

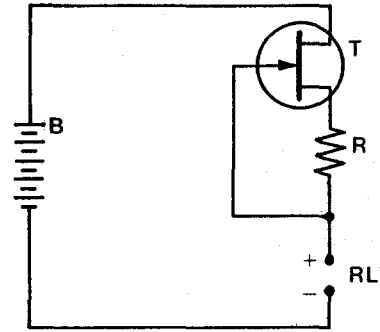
Davidovitch 등(1980a)에 의해서 기계적 교정력을 고양이 치조골에 가했을 경우 PG의 합성이 증가됨이 보고된 바 있으나, 전기적 자극에 의한 PG 변동량 및 기계적 교정력과 전기적 자극을 병용했을 경우의 PG변동량은 국내외에 보고된 바가 없다는 점에 착안하여 치아이동시의 골개조 과정에 PG의 관련성의 일면을 연구하고 기계적 치아이동을 촉진시키는데 전기적 자극의 유용성을 관찰하고자 본 실험을 착수하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험장치의 제작

1) 제 1 실험

고양이의 견치는 크고 소구치와의 사이에 넓은 공간이 있어 원심 경사 이동이 용이하여 실험동물로 적당하다. 체중 2.0kg 이상되는 성숙한 집 고양이를 성의 구별없이 영구치열이 완성된 것을 선택하였다. 체중 kg당 35mg의 nembutal을 복강내 주사하여 전신마취를 한 후에 합성수지(Ostron 100, G-C Co.)로 제작한 tray와 인상재(Palgat, G-C Co.)로 상악의 인상을 채득한 후 경석고 모형을 제작하였다. 모형상에서 Davidovitch(1980b)가 고안한 장치를 참고로 하여 가철성 교정상장치 모양으로 전기장치를 만들었다. 5개의 소형 산화은 전지(1.5volt Union Carbide Co.)를 직렬로 연결하여 약 7volts의 전압이 형성되게 하였으며, 1개의 transistor(2SK 41FET, Sony Co.)와 1개의 저항기(150K Ω , K41E8L, Sony Co.)를 이용하여 전류가 10 \pm 2microamperes(μ A)로 제한되게 정전류 회로도를 제작하였다(Fig. 1). 직경 0.3mm의 stainless steel wire(Rocky Mountain Orthodontic Co.)로 제작한 전극을 견치 근원심부의 치은 외형에 맞도록 형태를 부여하여 치은조직이 압박으로 인한



T : Transistor, 2 SK41 FET
R : Resistor (150K Ω)
RL : Tissue impedance (0~250 K Ω)
B : Silver-oxide battery (1.5V) X5

Fig. 1. Wiring Diagram for electrical appliance.

손상을 받지 않도록 하여 치은에 접촉시켰다. 반대측 견치부에는 가전극(sham electrodes)을 설치하고 대조군으로 하였다. 전기장치의 본체는 교정용 합성수지(Caulk Co.)로 제작하였다.

2) 제 2 실험

제 1 실험과 같은 조건 하에서 상악 좌우측 견치에 동일한 양의 교정력을 가하고 우측 견치에는 전류를 동시에 가하였다. 교정력은 closed coil spring(0.010"×0.036", Rocky Mountain Orthodontic Co.)을 사용하여 견치의 원심 방향으로 장착시 80g의 힘이 발휘되도록 하였으며, 힘의 측정은 교정용 탄력 측정기(산포제작소, 일본)로 하였다. spring의 고정원은 견치 치관의 근원심에 low speed handpiece로 홈을 파서 결찰선으로 묶고 다른 한쪽은 장치에 미리 부착된 고리에 걸었다. 견치의 절단면과 제 3 소구치의 중앙교두정 간의 거리를 실험 시작과 종료시에 각각 Vernier caliper로 측정하여 그 차이를 치아이동 거리로 하였다.

제 1, 2 실험 모두 실험동물을 마취시킨 상태에서 장치를 장착하여 1일, 3일, 7일 경과군으로 구분하였고 각 실험군에 3마리씩 배정하였다.

실험 전후의 전압, 전류량은 digital multimeter(Fluke 8010A)로 일정한 전류가 방전되는지를 측정하였다. 실험기간 동안 장치탈락 여부를 관찰하였고, 사로는 정상 집고양이에 준하였다.

2. 시료채취 및 PGE₂ 추출

실험동물을 마취한 후에 희생시키고, 상악 좌우측 견치를 포함한 상악골을 즉시 절단하여 액체질소로 급속 냉동시켰다. 냉각된 상악골의 연조직을 제거하고 치과용 끌과 골점자로 견치 치근의 치경

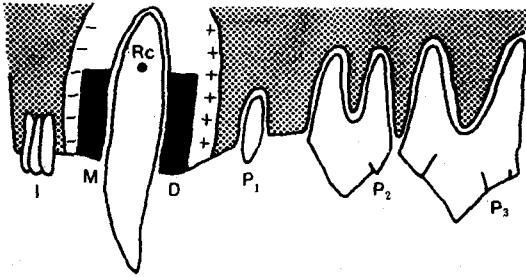


Fig. 2. Schematic drawing of sites of alveolar bone removed for assay of PGE₂ (Black)

M: Tension site
 D: Compression site
 Rc: Center of rotation
 +, -: Position of electrodes

부 반 이상에 위치한 치조골을 근원심측에서 각각 채취하여 (Fig. 2) 액체질소로 냉각되어있는 유발 (motar)에 넣고 분말화하였다. 분말 골조직의 습중량을 화학전기천평으로 측정하고, 냉각된 15ml용량의 polypropylene tube에 옮기고 -5°C의 40% ethanol과 5mM EDTA용액 2ml를 넣은 다음, -5°C의 얼음 냉탕에서 ultrashear (Virtis Co., model Virtis 45)로 균질화하였다. 골조직의 균질화는 ultrashear의 최대속도(45,000rpm)에서 약 10초씩 4회 반복 실시하였고, 2°C에서 X 10,000g로 20분 동안 원심분리하여 상청액을 유리마개가 있는 유리관에 옮겼다.

PGE₂를 추출하기 위해서 -5°C의 4ml petroleum ether (Merck Co.)로 두번 중성지질을 제거한 다음 물로 포화된 -5°C의 ethyl acetate (Merck Co.) 4ml를 가하여 진탕한 후에 ethyl acetate 분획을 분리하였다. 이 과정을 2회 반복하였다. 채취된 ethyl acetate 분획은 40°C에서 증발 건조시켰으며, 정량분석시까지 밀봉하여 -20°C에서 보관하였다.

3. PGE₂의 정량분석

건조된 ethyl acetate 분획에 PG분석용 완충액을 0.4ml씩 첨가하여 용해시킨 다음, PGE₂ radioimmunoassay kit (New England Nuclear Co.)를 이용하여 PGE₂를 정량분석하여 골조직 100mg (습중량)에 포함된 PGE₂를 계산하였다.

III. 실험 성적

1. 실험장치의 방전량

실험 전후의 전압 및 전류량을 측정된 결과, 전

압은 장치 장착시에 평균 7.21volt 이나, 1일 경과후에 평균 6.17volt로 감소되고, 3일 경과후 3.20 volt, 7일 경과후 1.47volt로 격감되었다.

전류는 장치 장착시 평균 10.5μA에서 실험 종료시에 평균 10.4μA로 실험기간 동안 10±2μA 내에서 일정한 전류량을 유지하였다.

2. 치아 이동량의 비교

교정력만을 가한 군과 교정력과 전류를 병용한 군과의 치아 이동거리가 1일 경과후에는 유의한 차이가 없었다 (P>0.05). 3일과 7일 경과후 교정력만 가한군은 각각 0.200±0.082mm, 0.367±0.047mm 이나, 교정력과 전류를 병용한 군은 각각 0.467±0.094mm, 0.767±0.170mm로써 치아이동속도가 유의한 증가를 하였다 (P<0.05) (Table 1).

Table 1. Effect of mechanical forces with or without electric currents on the amount of cat canine tipping

Duration	Amount of tooth movement*		Significance
	Force+Electricity	Force only	
1 day	0.067 ± 0.094	0.033 ± 0.047	P>0.05
3 days	0.467 ± 0.094	0.200 ± 0.082	P<0.05
7 days	0.767 ± 0.170	0.367 ± 0.047	P<0.05

* Mean ± S.D. in mm

3. PG E₂의 정량분석

1) 가전극을 위치시킨 대조군

가전극을 위치시킨 대조군에서 1일 경과후의 치조골 습중량 100mg당 PG E₂ 함량은 31.31±1.71 pg, 3일 경과후 26.92±4.83pg, 7일 경과후 24.

Table 2. Effect of electric currents on PGE₂ contents in alveolar bone of cats

Duration	(unit: pg/100mg of wet bone)		
	Control (Sham electrode)	Electric currents	
		Cathode	Anode
1 day	31.31±1.71	28.91±7.31	30.97±4.56
3 days	26.92±4.83	36.33±4.10	53.92±11.80
7 days	24.66±1.63	42.5±12.05	48.73±22.34

(Mean±S.E.)

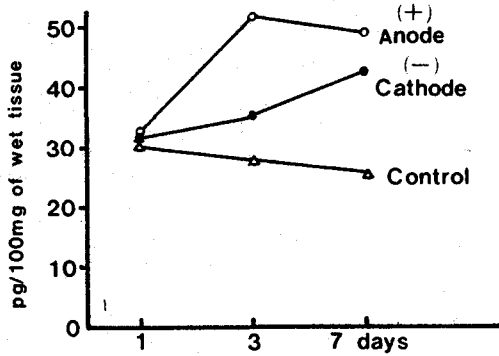


Fig. 3. Effect of electric currents on PGE₂ contents in alveolar bone of cats.

66±1.63pg으로 실험기간을 통하여 일정한 수준을 유지하였다(P>0.05), (Table 2, Fig. 3).

2) 전기적 자극을 가한 군

양극부(원심측)에서 3일 경과후 치조골 100mg 당 PGE₂ 함량은 53.92±11.80pg으로 대조군 보다 현저한 증가를 하였고(P<0.05), 7일 경과군에서는 48.73±22.34pg으로 3일경과군 보다 감소 경향이 있으나 전반적으로 대조군보다 높은 수준을 유지하였다. 음극부(근심측)에서 7일 경과군은 42.52±12.05pg으로 대조군보다 유의한 증가를 하였다(P<0.05). 양극부 및 음극부 모두 대조군 보다 PGE₂ 함량이 증가 추세를 보였고, 양극부의 PGE₂ 함량은 음극부보다 전반적으로 약간 증가된 경향을 나타냈다(Table 2, Fig. 3).

3) 기계적 교정력을 가한 군

기계적 교정력을 가한 군의 압박측은 1일 경과후 31.72±8.69pg, 3일 경과후 45.23±10.20pg, 7일 경과후 48.22±5.83pg으로 시일 경과에 따라서 증가 경향을 보였고, 견인측은 1일 경과후의 증가량

Table 3. Effect of orthodontic forces on PGE₂ contents in alveolar bone of cats

Duration	Orthodontic forces	
	Tension	Compression
1 day	37.75±2.78	31.72±8.69
3 days	36.76±12.63	45.23±10.20
7 days	36.02±11.64	48.22±5.83

(Mean±S.E.)

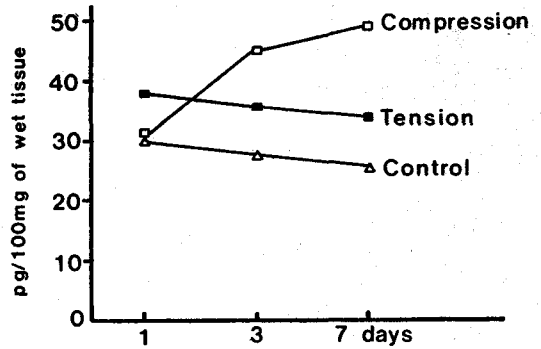


Fig. 4. Effect of orthodontic forces on PGE₂ contents in alveolar bone of cats.

이 7일 경과시 까지 지속되었다. 양측 모두 가전극을 위치시킨 대조군보다 높은 수준을 유지 하였다. 1일 경과후의 견인측 PGE₂ 함량과 3일 경과후의 압박측의 함량은 대조군보다 유의한 증가를 하였다(P<0.05), (Table 3, Fig. 4).

Table 4. Effect of electric currents and orthodontic forces on PGE₂ contents in alveolar bone of cats
(unit: pg/100mg of wet bone)

Duration	Electric currents+Orthodontic forces	
	Tension and Cathode	Compression and Anode
1 day	30.51±7.23	31.92±2.17
3 days	33.92±3.40	42.83±12.05
7 days	44.41±11.99	53.91±13.30

(Mean±S.E.)

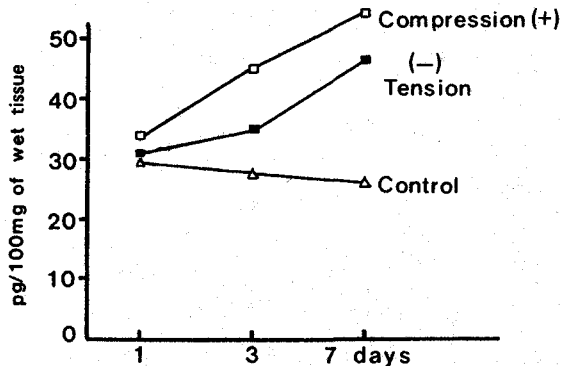


Fig. 5. Effect of electric currents and orthodontic forces on PGE₂ contents in alveolar bone of cats.

4) 기계적 교정력과 전기적 자극을 병용한 군
 견인측은 1일, 3일, 7일 경과시에 각각 $30.51 \pm 7.25\text{pg}$, $33.92 \pm 3.40\text{pg}$, $44.41 \pm 11.99\text{pg}$ 으로 시일 경과에 따라서 증가 경향을 보였고, 압박측에서도 1일, 3일, 7일 경과후에 각각 $31.92 \pm 2.17\text{pg}$, $42.83 \pm 12.05\text{pg}$, $53.91 \pm 13.30\text{pg}$ 으로 지속적인 증가 경향을 보였다. 양측 모두 대조군보다 높은 수준을 유지하였다(Table 4, Fig. 5).

IV. 고 찰

교정치료의 진수는 보다 완전한 교합을 이루기 위해서 골조직 속에서 치아이동을 시키는데 있다(Horowitz 와 Hixon 1966). 치아 이동을 정확히 조절하기 위해서는 합당한 교정력을 사용하고 그에 수반되는 조직반응을 완전히 알아야한다. 교정력에 의한 치아이동기구의 조직학적 측면은 많이 알려져 있지만 생화학적 측면은 더 규명해야 할 것이 많다.

Von Euler(1935)에 의해서 명명된 PG는 1960년대에 이르러 Bergström등(1962)에 의해서 화학구조가 밝혀지고 생합성에 성공함으로써, 생리학적 및 약리학 작용에 대한 생체 및 시험관 실험이 산부인과학을 비롯하여 여러 분야에서 연구되기 시작하였다. Sutherland 와 Rall(1960)의 2차 중계설에 의하면 홀몬의 작용은 adenylyate cyclase-cyclic AMP 계가 개재하여 표적장기의 세포에 전달된다고 한다. Adenylyate cyclase의 활성인자는 홀몬 이외에 PG, norepinephrine, histamine, serotonin, adenosine 등의 내인성 요소들이 있다. PG와 같은 내인성 인자가 홀몬과 다른 점은 다수의 비특정 조직내에서 국소적 자극에 의해서 합성된다는 점이다.

PG는 신체내의 정맥, 정낭선, 자궁내막, 폐, 뇌, 신장 등을 포함한 여러 조직에서 발견되며, 치수(Hirafuji등 1980), 치은조직(Goodson등 1973), 치배(Miani, 등 1978)에서도 합성 분비되어 치아 맹출과정에도 관여함이 밝혀졌다.

본 실험에서 고양이 치조골에 기계적 교정력을 가한 결과, 압박측과 견인측 모두 PGE_2 함량이 대조군보다 증가한 경향을 보였고 압박측에서는 지속적으로 증가추세이나 견인측에서는 1일 경과후의 증가량이 실험 종료시까지 지속되었다. 이 결과는 Davidovitch등(1980a)이 고양이 치조골에 기계적 교정력을 가한 실험에서 PGE_2 가 골침착부에서는 초기에 일시적으로 관여하나 골흡수 과정에서는 더 오래 지속적으로 작용한다는 보고와 일치 하였다.

Buck등(1973)도 사람의 치주조직에 기계적인 힘이 가해질때 무세포 지역에서 지방을 발견하고 이 지방 중에서 PG가 포함되어 있을수 있다고 하였다. King등(1979, 1982)은 치아이동후의 압박측의 골조직 추출물에서 강력한 골흡수 작용물질을 발견하고 이 물질이 PG등 화학물질일 가능성을 제시하고 기계적 치아이동은 PG등의 화학 중개물질에 의해서 일차적으로 증대된다 했다.

골흡수 과정에서 PGE_2 가 파골세포에 미치는 영향에 대해서 박과 고(1983), 고등(1983), Vanderwiel과 Talmage(1978), Feldman과 Acs(1980) 등은 파골세포형성을 촉진시킨다 하고, Holtrop등(1978)은 파골세포수의 증가를 관찰할 수 없다고 하나 세포의 크기, ruffled border와 clear zone의 증가 등으로 파골세포의 기능이 활성화 된다는 점에서는 일치하고 있다.

기계적 교정력에 의해서 PG가 합성 분비되는 기구는 아직 밝혀지지 않았으나, 자극이 세포막을 교란시켜서 세포막의 구성성분인 phospholipid에서 합성될 것으로 알려지고 있다(Bergström등 1968). 기계적 교정력에 의해서 치주조직이 개조될 때 염증반응이 초기에 유발된다는 보고(Storey 1973, Rygh 1973)와 PG의 염증의 중개체로서의 역할로 미루어 보아 염증관련세포들인 다형핵백혈구(Higgs등 1975), 대식세포(Kurland등 1978, Humes등 1977), 비만세포들(Tolone등 1978)의 관련성을 추측할 수 있다. PG가 어떤 세포들에서 분비되었는지에 관해서는 조직화학적 측면으로 차후에 더욱 자세히 연구되어야 할 과제로 사료된다. 압박측에서 염증의 정도가 심하다는 보고가 있고(Rygh 1973), 본 실험에서 압박측이 견인측보다 더 많은 PGE_2 량이 측정되었음과 일치된다.

본 실험의 견인측에서도 대조군보다 PGE_2 함량이 증가된 결과는 교정력에 의해서 압박측과 견인측 모두 파골능과 조골능이 촉진되나 균형이 깨어지는 쪽으로 총체적으로 파골 및 조골이되는 것으로 사료된다. 교정적 치아이동시의 조직학적 검색에서도 견인측에서 파골세포의 출현이 관찰된 바 있다(Davidovitch 1980c, 강1983). 최근에 Rodan과 Martin(1981)은 조골세포와 파골세포의 기능을 연결하는 연결요소가 조골세포에서 만들어져서 파골세포를 조절한다고 하고 골개조 과정에서 조골과 파골이 동일부위서 일어날 수 있음을 제시했다.

염증치은조직에서 PGE_2 농도가 정상치은 조직보다 현저히 높고(김과 최1982, Elattar와 Lin 1981,

Goodson(1973), PGE를 치은 점막하조직에 주사하면 치은염증과 치조골흡수가 일어난다(Arendorf와 Smith 1979, Kafrawy와 Mitchel 1977, Triplett 등 1981). PG는 관절염(Floman 등 1977) 및 낭종(Harris 등 1973) 등에서도 골흡수의 강력한 요인으로 밝혀지고 있다.

PG가 파골세포를 활성화시키는 기구는 아직 완전히 규명되지 않았으나 세포의 adenylate cyclase를 자극하여 cAMP를 증가시키거나(Goodson 등 1974, Klein과 Raisz 1971, Marcus와 Orner 1977, Rao 등 1978, Yu 등 1976), 세포내의 Ca²⁺이동을 통해서(Dietrich 등 1979, Kirtland와 Baum 1972) 일어난다는 사실이 알려져 있다. Eilon과 Raisz(1978), Lerner(1980), 이등(1983)은 PGE₂가 골조직에서 lactate형성 및 용해소체 유리를 증가시킨다고 하고 이것들이 골흡수 촉진작용에 중요한 역할을 한다고 했다.

Fukada와 Yasuda(1957)은 골조직을 굴곡시키면 골조직의 활성화는 무관하게 견인측에서는 음전기가 발생되어 굴침착이 되고 압박측에서는 양전기가 생겨서 골흡수가 일어난다고 하고 이 전기를 piezoelectricity라 하였다. Shamos와 Lavine(1967)은 이전기의 발생기구를 교원섬유 분자 구조상의 교차결합 구조물의 굴곡으로 인한 전하의 변위 때문이라고 설명했다.

Fridenberg와 Brighton(1966)은 토끼의 대퇴골의 비압박골조직에서 골중간부(metaphysis)는 음전기이고 골체부(diaphysis)는 양전기가 발생된다고 하였고, 골대사가 활발히 진행되는 부위는 덜 진행되는 부위에 비해서 음전기가 발생된다고 하고 이 전기를 bioelectricity라고 했다.

Gillolly 등(1968)과 Zengo 등(1973, 1974)은 시험관 및 생체실험에서 하악골에 기계적 교정력을 가하면 치아이동중에 조골능이 있다고 알려진 부위는 음전기가 되고 파골능이 있다고 알려진 부위는 전기적 중성내지 양전기를 띤다고 하고, 이들 전위차와 교정력에 의한 치조골의 세포반응과의 관련성을 주장하였다. Baumrind(1969)와 Grim(1972)은 교정력에 의해서 치조골이 굴곡된다고 하였고, Epker와 Frost(1965)는 힘을 받은 골조직의 표면굴곡 변화가 골세포 반응과의 관련이 있다고 했다.

치조골의 이런 전기적 특성을 근거로 Gold(1967)는 임상교정에 전기적 자극의 적용 가능성을 제시했고, Davidovitch 등(1977)은 미세전류(24±4 μA)와 기계적 교정력을 고양이 치조골에 적용하여

교정적 치아이동 속도를 촉진시켰다. 본 실험에서도 교정력과 전기를 병용한 군이 교정력만 가한 군보다 7일 경과후에 상당한 유의차로 속도가 증가되었다.

전기가 골개조에 미치는 기구를 규명하고자, Lavine 등(1974)은 직류전류를 파절골의 회복기 세포에 가하여서 초미세 구조상에서 mitochondria의 공포화, rough endoplasmic reticulum의 형태적 변화, membrane bound vesicle수의 증가등을 관찰하였다. Puzas 등(1979)은 전기자극에 의한 골세포의 특이한 세포이동을 전기영동법으로 조사하여 파골세포는 양전기부위로, 조골세포는 음전기 부위로 이끌린다고 하였다.

Brighton 등(1975)은 음극근처에서 전기분해가 일어나고, 조직의 산소분압이 낮아져서 수산화(OH)가 형성되어 극소적으로 pH가 상승되기 때문에 골형성에 좋은 환경이 된다고 하였다. Rodan 등(1978)은 진동전장(ossillating electric field)을 병아리의 배양연골세포에 가하여 DNA에 H³-thymidine 결합을 촉진시켰다 하고 이것은 Ca²⁺ion의 세포내 증가된 유입 때문이라고 하였다. Davidovitch 등(1980b)은 고양이 치주조직에 전기적 자극을 받은 부위의 세포에서 수의 증가 및 cAMP(cyclic 3',5' adenosine monophosphate)와 cGMP(cyclic 3',5' guanosine monophosphate)가 농명되는 현상을 관찰하여 cyclic nucleotides가 전기적 자극과 기계적 자극의 세포내 2차 중계자 역할을 한다고 하였다. Messer(1982)는 전기자극이 골세포의 Ca²⁺ion 투과성을 촉진시킨다고 하였다.

본 실험에서는 전기적 자극에 의한 PGE₂ 변동량을 관찰한 바 양극부와 음극부 모두 대조군보다 증가하는 경향을 보였고, 음극부보다 양극부에서 더 많이 증가하여 기계적 교정력을 가한 군과 유사한 증가 양상을 보였다. 전기적 자극이나 기계적 자극이 표적세포에 미치는 영향이 유사하여서 전기적 자극을 치아이동의 보조적 수단으로 사용할 수 있음이 사료된다.

본 실험에서 전기적 자극과 교정력을 병용한 군의 PGE₂함량은 교정력만을 가한 군과 비교하면 유의한 차는 없었으나, 병용군에서는 견인측과 압박측에서 시일경과에 따라서 PGE₂의 지속적 증가 추세를 인정할 수 있었다.

전기적 자극을 치아이동 속도촉진의 보조적 수단으로 임상에 적용하기 위해서는 앞으로 더욱 정교한 실험장치의 개발을 위한 연구와 조직화학적연구

면의 다각적인 연구가 필요하다.

V. 결 론

본 실험의 목적은 고양이 치조골에서 기계적 교정력 및 전기적 자극에 의해서 골개조 과정에 관여한다고 알려진 PGE₂의 함량을 측정하고, 외인성 전류의 치아이동 속도촉진에의 유용성을 관찰하는데 있었다. 체중 2.0kg 이상되는 성숙한 집고양이의 상악에 10±2μA의 전류가 발생되도록 고안된 가철성 교정상장치를 제작하여서, 제 1 실험에서는 우측 견치의 근심측에 음극을 원심측에 양극을 위치시키고, 좌측 견치에는 가전극을 위치시켜서 대조군으로 하였다. 제 2 실험은 우측 견치에 전기적 자극과 coil spring을 이용하여 80g의 교정력을 동시에 가하여 원심 경사이동을 시키고, 좌측 견치에는 교정력만을 가하였다. 견치의 절단면과 제3소구치의 교두정간의 거리를 실험 시작과 종료시에 각각 측정하여 그 차이를 치아이동 거리로 하였다. 각 군에 3마리씩 배정하고 장치장착 후, 1일, 3일, 7일 경과후 희생시켜서 근심 및 원심측의 치조골을 채취하여 PGE₂ 분석용 radioimmunoassay kit를 이용하여 골조직 100mg에 포함된 PGE₂를 정량 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전기적 자극과 기계적 자극을 병용한 군은 기계적 자극만을 가한 군보다 치아 이동속도가 증가하였다.
2. 전기적 자극을 치조골에 가했을때 양전극부와 음전극부 양측에서 PGE₂함량이 증가하였다.
3. 기계적 자극을 치조골에 가했을때 압박측의 PGE₂ 함량은 시일 경과에 따라서 증가하는 경향을 나타내고, 견인측은 1일 경과후 증가량이 7일 경과후까지 유지되었다.
4. 기계적 자극 및 전기적 자극 모두 견인측보다 압박측에서 PGE₂함량이 더 많이 증가하였다.

REFERENCES

- Arendorf, T.M., and Smith, C.J. (1979): The effects of prostaglandin E₂ on the alveolar bone and tooth root surface of mature hamsters. *J. Dent. Res.*, 58(c): 1245.
- Bassett, C.A.L., and Becker, R.O. (1962): Generation of electric potential by bone in response to mechanical stress. *Science*, 137:1063-1964.
- Bassett, C.A.L., Pawluk, R.J., and Becker, K.O. (1964): Effects of electrical currents on bone in vivo. *Nature*, 204:652.
- Baumrind, A. (1969): A reconsideration of the propriety of the "Pressure-tension" hypothesis. *Am. J. Orthod.*, 55:12-22.
- Bergstrom, S, Ryhage, R., Samuelsson, B., and Sjovall, J. (1962): The structure of prostaglandin E₁, F₁, and F₂. *Acta Chem. Scand.*, 16:501.
- Bergstrom, S., Carlsn, L.A., and Weeks, J.R. (1968): The prostaglandins: a family of biologically active lipids. *Parmacol. Rev.*, 20: 1-48.
- Binderman, I., and Cox, J.C. (1977): Effect of mechanical stress on culture periosteum cells: Stimulation of DNA synthesis. *J. Dent. Res.*, 56:B73.
- Braden, M., Bairstow, A.G., Beider, I., and Ritter, B.G.(1966): Electrical and piezoelectrical properties of dental hard tissues. *Nature (Lond.)*, 212:1565-1566.
- Brighton, C.T., Adler, S., Black, J., Itada, N., and Friedenber, A.B. (1975): Cathodic oxygen consumption and electrically induced osteogenesis. *Clin. Orthop.*, 107: 277.
- Brighton, C.T., Friedenber, Z.B., Mitchell, E.I., and Booth, R.E. (1977): Treatment

- of nonunin with constant direct current. Clin. Orthop., 124:106-123.
- Buck, D.L., Griffith, D.A., and Hills, M.J. (1973): Histologic evidence for lipids during human tooth movement, Am. J. Orthod., 64:619-624.
- Chumbley, A.B., and Tuncay, O.C. (1981): The effects of indomethacin on the rate of tooth movement in cats. IADR progr. & abst, 60:NO596.
- Davidovitch, Z., Shanfeld, J. Iannacone, W., and Korostoff, E. (1977b): Electric currents, of orthodontic tooth movement in cats by locally applied electric currents. J. Dent. Res., 56(A): 190.
- Davidovitch, Z., and Shanfeld, J.L. (1980a): Prostaglandin E₂ (PGE₂) levels in alveolar bone of orthodontically-treated cats. J. Dent. Res., 59:977.
- Davidovitch, Z., Finkelson, M.D., Steigman, S., Shanfeld, J.L., Montgomery, P.C., and Korostoff, E. (1980b): Electric currents, bone remodeling, and orthodontic tooth movement. I. The effect of electric currents on periodontal cyclic nucleotides. Am. J. Orthod., 77:14032.
- Davidovitch, Z., Finkelson, M.D., Steigman, S., Shanfeld, J.L., Montgomery, P.C., and Korostoff, E. (1980c): 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 current. Am. J. Orthod. 77:33-47.
- Dietrich, J W., Mundy, G.R., and Raisz, L.G. (1979): Inhibition of bone resorption in tissue culture by membrane-stabilizing drugs. Endocrinology, 104:1644.
- Drazek, L.J. (1968): Histologic investigation of alveolar bone in the albino rat in areas of tooth movement associated with a hyperparathyroid condition. Am. J. Orthod., 54:933-934.
- Eilon, G., and Raisz, L.G. (1978): Comparison of the effects of stimulators and inhibitors of resorption the release of lysosomal enzymes and radioactive calcium from fetal bone in organ culture. Endocrinology, 103:1969.
- Elattar, T.M.A., and Lin, H.S. (1981): Biosynthesis of prostaglandin E₂ and F₂ α in gingiva of patients with chronic periodontitis. J. Dent. Res., 60(3):748-750.
- Epker, B.N., and Frost, J.M. (1965): Correlation of bone resorption and formation with the physical behavior of loaded bone. J. Dent. Res., 44:33-41.
- Feldman, R.S., and Acs, G. (1980): Prostaglandin E₂ stimulation of osteoclast formation in vitro. J. Dent. Res., 59(A): 3019.
- Floman, Y., Okon, E., and Zor, U. (1977): The role of prostaglandins in experimental arthritis in the rat. Clin. Orthop., 125:214.
- Friedenberg, Z.B., and Brighton, C.T. (1966): Bioelectric potentials in bone. J. Bone Joint Surg., 48-A: 915.
- Friedenberg, Z.B., Zemsy, L.M., Pollis, R.P., and Brighton, C.T. (1974): The response of nontrammated bone to direct current. J. Bone Joint Surg., 56-A: 10223.
- Fukada, E., and Yasuda, I. (1957): On the piezoelectric effect of bone. J. Physiol. Soc. JPN., 12:1158-1162.
- Gianelly, A.A., and Schnur, R.M. (1969): The use of parathyroid hormone to assist orthodontic tooth movement. Am. J. Orthod., 55:305.
- Gillolly, C.J., Hosley, R.T., Matthews, J.R., and Jewett, D.L. (1968): Electric potentials recorded from mandibular alveolar bone

- as a result of forces applied to the tooth. *Am. J. Orthod.*, 54:649-654.
- Gold, P. (1967): The electrical phenomena in bone. *J. Periodont*, 38:119.
- Goodson, J.M., Dewhirst, F., and Brunetti, A. (1973): Prostaglandin E₂ levels in human gingival tissue. *J. Dent. Res.*, 52: 182.
- Goodson, J.M., McClatchy, K., and Revell, C. (1974): Prostaglandin induced resorption of adult rat calvarium. *J. Dent. Res.*, 53: 670-677.
- Grim, F.M. (1972): Bone remodeling, a feature of orthodontic tooth movement. *Am. J. Orthod.* 62:384-393.
- Messer, H., J. (1982): Bone cell membrane. *Clin. Orthop.*, 166:256.
- Harris, H., Jenkins, H.V., Bennet, A., and Wills, M.R. (1973): Prostaglandin in production and bone resorption by dental cysts. *Nature*, 245:213-215.
- Higgs, G.A., McCall, E., and Youlten, L.J.F., (1975): A chemotactic role for prostaglandins released from polymorphonuclear leukocytes during phagocytosis. *Br. J. Pharmacol.*, 53:539-546.
- Hirafuji, M., Satoh, S., and Ogura, Y. (1980): Prostaglandins in rat pulptissue. *J. Dent. Res.*, 59(9):1535-1540.
- Holtrop, M.E., Raisz, L.G., and King, G.J. (1978): The response of osteoclasts to prostaglandin and osteoclast activating factor as measured by ultrastructural morphometry. In mechanism of localized bone loss, edited by J.E. Holton, Jarpley, T.J. and Davis, W.F., Page 13, Information Retrieval Inc.
- Horowitz, S.L. and Hixon, E.H. (1966): The nature of orthodontic diagnosis, St. Louis. The C.V. Mosby Company.
- Humes, J.L., Bonney, R.J., Pelus, L., Pahlgren, J.E., Sadowski, S.J., Kuehl, F.A., and Davies, P. (1977): Macrophages synthesize and release prostaglandins in response to inflammatory stimuli. *Nature*, 269: 149-151.
- Kafrawy, A.H., and Mitchel, D.F. (1977): Effects of prostaglandin E on the periodontium of rats. *J. Dent. Res.*, 56: 113.
- King, G.J., and Thiems, S. (1979): Chemical mediation of bone resorption induced by tooth movement in the rat. *Arch. oral Biol.*, 24:811-815.
- King, G.J., and Fischlschweiger, F. (1982): The effect of force magnitude on extractable bone resorptive activity and cemental cratering in orthodontic tooth movement. *J. Dent. Res.*, 61:775-779.
- Kirtland, S.J. and Baum, H. (1972): Prostaglandin E may act as a calcium ionophore. *Nature*, 236:47.
- Klein, D.C., and Raisz, L.G. (1970): Prostaglandins: Stimulation of bone resorption in tissue culture. *Endocrinology*, 86:1436-1440.
- Klein D.C., and Raisz, L.G. (1971): Role of adenosine 3', 5' monophosphate in the hormonal regulation of bone resorption: studies with cultured foetal bone. *Endocrinology*, 89, 818-826.
- Kurland, J.I., and Bockman, R. (1978): Prostaglandin E production by human blood monocytes and mouse peritoneal macrophages. *J. Exp. Med.*, 147:952-957.
- Lavine, L.S., Lustrin, O., Shamos, M.H., Rinaldi, R.A. and Liboff, A.R. (1972): Electric enhancement of bone healing. *Science*, 175:1118-1120.
- Lavine, L.S., Lustrin, I., Rinaldi, R.A., and Shamos, M.H. (1974): Clinical and ultra-

- structural investigations of electrical enhancement of bone healing. *Annals. N.Y. Acad. Sci.*, 238:552.
- Lerner, U. (1980): The effect of dibutyryl cyclic AMP and PGE₂ on lysosomal enzyme release and lactate production in relation to bone resorption in vitro. *Acta. Physiol. Scand.*, 110:123.
- Litton, S.F. (1974): Orthodontic tooth movement during an ascorbic acid deficiency. *Am. J. Orthod.*, 65:290-302.
- Macapanpan, L.C., Weinmann, J.P., and Brodie, A.G. (1954): Early tissue changes following tooth movement in rats. *Angle Orthod.*, 24:79-95.
- Marcus, R. and Orner, F.B. (1977): Cyclic AMP production in rat calvaria in vitro: Interaction of prostaglandins with parathyroid hormone. *Endocrinology*, 101:1570.
- Messer, H.H., (1982): Bone cell membrane. *Clin. Orthop.*, 166:256.
- Miani, C., Patrono, C, Fossato, L., Ciabattini, G., Deli, R., and Pugliese, F. (1978): Prostaglandin E₂ and F₂α in tooth germs *J. Dent. Res.*, 57:720.
- Midgett, R.J., Shaye, R., and Fruge, J.F. (1981): The effect of altered bone metabolism on orthodontic tooth movement. *Am. J. Orthod.*, 80:256-262.
- Norton, L.A. (1975): Implications of biologic growth control in orthodontics and dentistry. *Angle Orthod.*, 45:34-42.
- O'Connor, B.T., Charlton, H.M., Currey, J.D., Kirby, D.R.S. and Woods, C. (1969): Effects of electric current on bone in vivo. *Nature*, 222:162.
- Puzas, J.E., Vignery, A., and Rasmussen, H. (1979): Isolation of specific bone cell types by free flow electrophoresis. *Calif. Tissue Int.*, 27:263.
- Raisz, L.G. Dietrich, J.W., Simmons, H.A., Seyberth, H.W., Hubbard, W., and Oates, J.A. (1977): Effect of prostaglandin endoperoxides and metabolites on bone resorption in vitro. *Nature*, 267:532.
- Rao, L.G., Moe, H.K. and Heersche J.N. (1978): In vitro culture of porcine periodontal ligament cells. Response of fibroblast-like and epithelial-like cells to prostaglandin E₁, parathyroid hormone and calcitonin and separation of a pure population of fibroblast-like cells. *Arch. Oral Biol.*, 23: 957.
- Rodan G.A. Bourret, L.A., and Norton, L.A. (1978): DNA synthesis in cartilage cells in stimulated by oscillating electric fields. *Science*, 199:690-692.
- Rodan, G.A., and Martin, T.J. (1981): Role of osteoblasts in hormonal control of bone resorption-a hypothesis. *Calcif. Tissue Int.*, 33:349-351.
- Rygh, P. (1973): Ultrastructural changes in pressure zones of human periodontium incident to orthodontic tooth movement. *Acta Odont. Scand.*, 31:109-122.
- Shamos, M.H., Lavine, L.S., and Shamos, M.I. (1963): Piezoelectric effect in bone. *Nature*, 197:81.
- Shamos, M.H., and Lavine, L.S. (1967): Piezoelectricity as a fundamental property of biological tissues. *Nature*, 213:267.
- Somjen, D., Binderman, I., Berger, E., and Harrel, A. (1980): Bone remodeling induced by physical stress is prostaglandin E₂ mediated. *Biochim. Biophys. Acta*, 627:91-100.
- Storey, E. (1973): The nature of orthodontic tooth movement. *Am. J. Orthod.*, 63:291-314.
- Sutherland, E.W., and Rall, T.W. (1960): The relation of adenosine 3', 5' monophosphate

- and phosphorylase to the actions of catecholamines and other hormones. *Pharmacol. Rev.*, 12:265-299.
- Tolone, G., Bonasera, L., and Tolone, C. (1978): Biosynthesis and release of prostaglandins by mast cell. *Br. J. Exp. Pathol.*, 59:105-109.
- Triplett, R.C., Cunningham, W.T., and Desjardins, P.J. (1981): Effects of prostaglandin E_2 on alveolar bone resorption in monkeys. *J. Dent. Res.* 60(A): 562.
- Tweedle, J.A. (1965): The effect of local heat on tooth movement. *Angle Orthod.*, 35:219-225.
- Yamasaki, K. (1976): Effect of vitamin-D on orthodontic tooth movement in rats. *J. Stomatol. Soc. Jpn.*, 43:44-63.
- Yamasaki, K., Miura, F., and Suda, T. (1980): Prostaglandin as a mediator of bone resorption induced by experimental tooth movement in rats. *J. Dent. Res.*, 59:1635-1642.
- Vanderwiel, C.J., and Talmage, R.V. (1979): Comparison of the effects of prostaglandin E_2 and parathyroid hormone on plasma calcium concentration and osteoclast function. *Endocrinology*, 105:588.
- Von Euler, U.S. (1935): A depressor substance in the vesicular gland. *J. Physiol.*, 83:21.
- Yamasaki, K., Shibata, Y., Fukuhara, J. (1982): The effect of prostaglandins on experimental tooth movement in monkeys (*Macaca fuscata*). *J. Dent. Res.*, 61: 1444-1446.
- Yu J.H., Wells, H. Ryan, W.J., and Lloyd, W.S. (1976): Effects of prostaglandins and other drugs on the cyclic AMP content of cultured bone cells. *prostaglandins*, 12:501-513.
- Zengo, A.N., Pawluk, R.J., and Bassett, C.A.L. (1973): Stress-induced bioelectric potentials in the dentoalveolar complex. *Am. J. Orthod.*, 74:17-27.
- Zengo, A.N., Bassett, C.A.L., Pawluk, R.J. and Prountzos, G. (1974): In vivo bioelectric potentials in the dentoalveolar complex. *Am. J. Orthod.*, 66:130-139.
- 강봉기(1983) : Prostaglandin E_2 가 백서의 치아이동시 치조골 흡수에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한치과교정학회지*, 13 : 147-154.
- 고재승, 김중수, 김관식, 백대일, 오귀옥, 김형찬, 김현만(1983) : PTH, OAF 및 PGE_2 가 골흡수에 미치는 영향에 관한 연구 I. Parathyroid hormone, osteoclast-activating factor 및 prostaglandin E_2 가 시험관에서 파골세포에 미치는 영향에 관한 형태학적 연구. *대한구강해부학회지*, 7(1) : 43-49.
- 김관식, 고재승, 김중수, 백대일, 오귀옥, 김형찬, 김현만(1983) : PTH, OAF 및 PGE_2 가 골흡수에 미치는 영향에 관한 연구 II. 백서태아 골조직 배양시 PGE_2 의 작용에 미치는 수중약물의 영향, *대한구강해부학회지*, 7(1) : 51-60.
- 김경진, 최상복(1982) : 염증치은의 Prostaglandin E와 F_{2a} 의 농도에 관한 연구. *대한치주과학회지*, 12 : 42-50.
- 박금수, 고재승(1983) : Prostaglandin E_2 가 시험관 내에서 백서태아 두개관의 파골세포에 미치는 영향에 관한 연구. *서울치대논문집*, 6(2) : 31-43.
- 이종원, 김관식, 정동균(1983) : 백서태아 두개관 배양시 Prostaglandin E_2 가 용해소체효소 유리에 미치는 영향. *대한구강생물학회지*, 7(1) : 25-31.

A STUDY ON THE EFFECT OF ORTHODONTIC FORCES AND EXOGENOUS ELECTRIC CURRENTS ON PGE₂ CONTENT OF ALVEOLAR BONE IN CATS

Jong Tae Kim,* Joong Soo Kim,** Won Sik Yang*

College of Dentistry, Seoul National University

** Department of Orthodontics*

*** Department of Oral Physiology*

..... > Abstract <

This experiment was performed to explore the effect of electric currents and orthodontic forces on bone PGE₂ content and orthodontic tooth movement on cats.

Stainless steel electrodes were connected a power pack consisting of five miniature batteries, a transistor, and a resistor. The current ($10 \pm 2 \mu\text{A}$) was provided by a constant source encased in a palatal acrylic plate.

In first experiment, the cathode was placed mesial to the right maxillary canine tooth and the anode was positioned distal to the tooth, Sham electrodes were placed near the left cuspid, to serve as control. Nine cats were divided into three groups evenly. Groups of three animals were treated with electric currents only-for 1, 3 and 7 days, respectively.

In second experiment, electric currents and the orthodontic forces of about 80 gm were applied to the right maxillary canine, and the orthodontic forces only were applied to the left maxillary canine. 3 groups of three cats each were treated in this experiment-for 1,3 and 7 days, respectively. Alveolar bone samples were obtained from sites of tension and compression as well as from contralateral sites.

Bone samples were extracted by homogenization in 40% ethanal. The supernatant partitioned twice with 2 volumes of petroleum ether to remove neutral lipids and the aqueous supernatant partitioned in ethyl acetate. After drying the solvent, PGE₂ was measured by radioimmunoassay technique.

The obtained results were as follows.

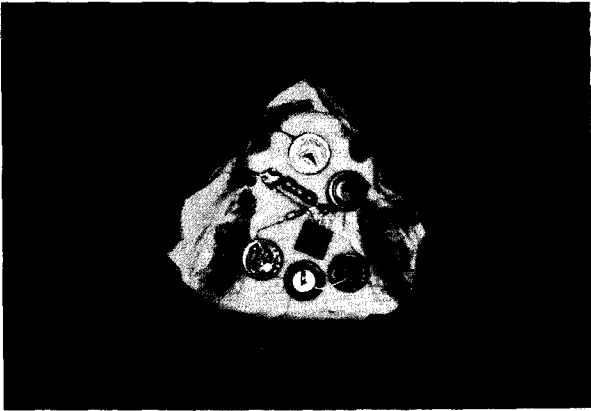
1. Teeth treated with combined force and electricity moved faster than those treated with force alone.
2. Alveolar bone PGE₂ content of electric stimulation was increased at both electrodes.
3. Alveolar bone PGE₂ content of mechanical stimulation at compression sites was gradually increased at all time period.

At tension site, PGE₂ content increased after 1 day of mechanical stimulation remained elevated at all time period.

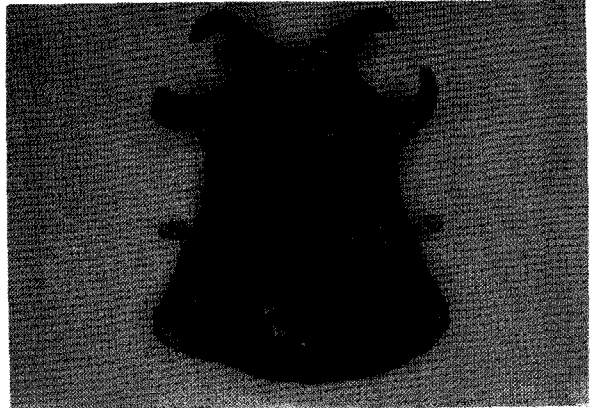
4. Alveolar bone PGE₂ content of compression sites was increased more than that of tension sites from mechanical stimulation as well as electrical stimulation.

.....

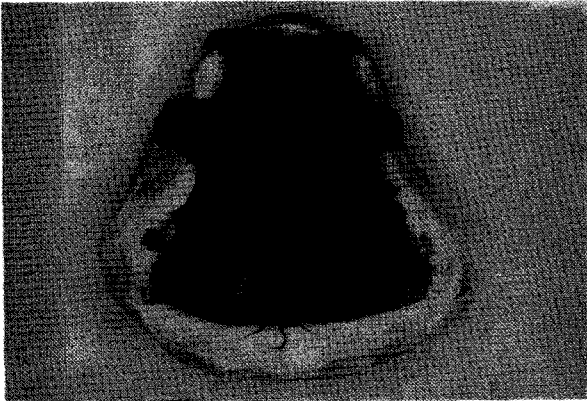
김종태 논문 사진부도



1



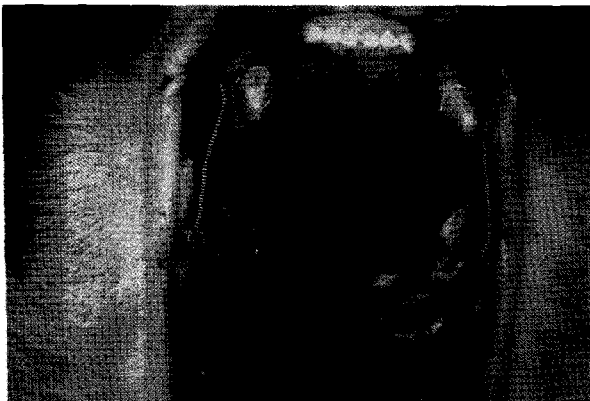
2



3



4



5



6

EXPLANATION OF PHOTOGRAPH

1. Occlusal view of the cast arranged by transistor, resistor, 5 batteries. Undercuts of the premolar area of model were blocked out with paraffin wax.
2. Occlusal view of electric appliance. The hooks are located between the second premolar and the third premolar in the acrylic plate.
3. Occlusal view of the cast adapted with electric appliance.
4. Lateral view of the palate of a cat from electric approach group.
The active electrodes are positioned mesial (cathode) and distal (anode) to the right canine.
The left canine receives sham electrodes.
5. Occlusal view of the palate of a cat treated by a combined force-electric approach.
The coil springs stretched between the canines and the hooks.
The coil springs are secured to canine teeth by steel ligature tied around retentive grooves cut into the canine teeth.
6. Lateral view of the maxillary dentition of a cat treated by a combined force-electric approach.
The dimensions measured in the mouth to detect canine tipping are canine to third premolar.