

Prostaglandin E₂가 치아이동과 치근흡수에 미치는 영향에 관한 연구

서울대학교 치과대학 치과교정학교실

이강희 · 서정훈

A STUDY ON THE EFFECT OF PROSTAGLANDIN E₂ ON TOOTH MOVEMENT AND ROOT RESORPTION IN CATS

Gang-Hee Lee, D.D.S., M.S.D., and Cheong-Hoon Suhr, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Seoul National University.

— Abstract —

This experiment was performed to study the effect of prostaglandin E₂ on tooth movement and root resorption in orthodontically treated cats.

Twenty five cats were divided into five groups and closed coil springs delivered 80gm were stretched between upper canine and 3rd premolar. 10 μ g of PGE₂ was injected locally in the submucosal area of the upper right canine, while the left side served as a control and was injected saline 0.1ml. The distance between canine tip and central cusp tip of the 3rd premolar was measured. Scanning electron photomicrographs were made of the coronal half of the distal root surface of canines and cemental craterings were observed and quantified using point-counting volumetry. Data were analyzed by 2-way ANOVA and paired t-test.

The results were as follows:

1. The rate of tooth movement of the PGE₂ side was increased, particularly at 1 day, compared with the control side.
2. The rate of tooth movement was minimum from 7 days to 10 days.
3. The resorption of root surface of the PGE₂ side was decreased from 4 days to 10 days, compared with the control side.

-목 차-

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

I 서 론

교정치료시 치아이동은 기계적 힘에 대한 치주조직의 생물학적 반응의 결과로서 이루어진다. 실험적 치아이동에 따른 치주조직에서의 조직화학적 변화가 많이 보고되어왔다.^{1,2,3,4)}

최근에는 골흡수시 Prostaglandin의 역할에 관한 연구가 활발히 진행되어왔다. 1935년 Euler⁵⁾에 의해 명명된 Prostaglandin은 1960년대에 이르러 구조가 밝혀진 불포화지방산으로서, 화학적 구조에 따라 E, F, A, B, C, D, 등으로 나누어지며 생물학적 및 약리학적 작용이 매우 다양한 것으로 알려져 있다.^{5,6,7,8)}

Klein과 Raisz가 PG 투여시 흰쥐의 태자 장골로부터 배액내로 Ca^{++} 의 방출량이 증가됨을 관찰한 이후, PG가 염증반응시나 치아이동시 골흡수에 관여한다는 많은 연구보고가 있었으며, Vanderwel과 Talmage⁹⁾는 PG 중에서도 PGE군 특히 PGE_2 가 가장 강력한 골흡수작용을 보인다고 보고했다.

Yamasaki¹⁴⁾는 교정적 치아이동시 PG가 골흡수과정의 생화학적 매개체로서 중요한 역할을 한다고 했는데, 즉 교정력에 의한 기계적 자극이 치주조직에 손상을 가하면 국소세포막에서 PG의 합성과 분비를 유도하여 세포내 cyclic AMP와 Ca^{++} 이 증가됨으로써 파글세포의 활성도가 높아지고 이에 따라 골흡수가 야기되어 치아이동이 이루어진다고 설명했다.

PG이외에 파글세포를 자극시킬 수 있는 물질에는 부갑상선홀몬과 비타민D등이 알려져 있으

므로 교정적 치아이동시 기계적자극에 대한 반응은 이들에 의해서도 영향받을 수 있다. 그러나 부갑상선홀몬과 비타민D의 전신적 효과에 반해 PG는 폐순환과정에서 불활성화되며¹⁵⁾ 혈장 칼슘농도에 영향을 주지 않으므로⁸⁾ 실제로 국소적 사용이 가능하다.

이러한 PG의 특성을 이용해 외인성 PG를 국소적으로 투여할 경우, 보다 빠른 골흡수 및 골개조를 유도하여 치아이동이 촉진되고 이 때 치조물에 미치는 영향으로는 파글세포의 수적 증가가 보고되었으나,^{12,16,17,18)} 치근면에 미치는 영향을 상세히 관찰한 보고는 접할 수 없었다.

이에 본 실험은 교정적 치아이동시 골흡수작용이 가장 강력하다고 보고된 PGE_2 가 치아이동과 치근면흡수에 미치는 영향을 연구하고자 시도되었다.

II 실험재료 및 방법

1. 실험재료 및 장치

평균체중 2.5kg의 성숙한 징고양이 25마리를 1, 4, 7, 10, 13일의 실험경과일수에 따라 5마리씩 5군으로 나누며, 모든 고양이의 상악우측은 실험측으로 상악좌측은 대조측으로 이용하였다.

체중 1kg당 Ketamine 15mg을 근육내주사하여 전신마취시킨 후 low speed engine을 이용해 상악좌우견치 및 제3소구치의 치경부를 따라 환형의 흄을 형성한 다음 closed coil spring(0.008"×0.036", Unitek co.)을 결찰하여 약 80gm의 초기교정력이 발휘되도록 하고 실험기간동안 재조정하지 않았다.

실험측인 상악우측견치원심면에는 ethanol에 용해된 PGE_2 (Sigma co.)를 saline에 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 의 농도로 희석하여 10 μg 을, 대조측인 상악좌측견치원심면에는 saline 0.1ml만을 실험개시일부터 제 0, 1, 4, 7, 10일에 국소적으로 접막하주사하였다.

2. 치아이동과 치근흡수의 측정

견치 교두정과 제3소구치 중앙교두정간의 거

를 제 0, 1, 4, 7, 10, 13일에 caliper (Mitutoyo co.)로 측정하여 그 차이를 이동거리로 하였다.

각 군별로 제 1, 4, 7, 10, 13일에 실험동물을 회생시키고 상악좌우견치를 포함한 상악골을 즉시 절단하여 10% formaldehyde액에서 48시간동안 고정시킨 후 5% sodium hypochlorite 액에서 48시간동안 담구어 연조직을 용해시킨 다음, 상악좌우견치를 밟거하였다.

발거된 치아를 60°C 오븐에서 건조시킨 후 aluminum stub에 접착, 고정하고 vacuum evaporator(Ion Sputter, JFC-1100)를 사용해 1200V, 10mA에서 carbon 과 gold로 double-coating 한다음, 주사전자현미경(JEOL, JSM T-300, Scanning Electron Microscope, SEM)으로 원심측 치근상반부의 백악질 표면을 35배율로 각 군당 3장씩 총 30장의 미세사진을 촬영하였다.

백악질 흡수상을 양적으로 계측하기 위해 point-counting volumetric analysis를 이용하였다.^{19,20)} 주사전자현미경으로 제작한 미세사진을 1mm/mm grid의 투사지(Tochiman Co.) 밑에 위치시킨 후 흡수소와(resorption lacuna)에 일치되는 교차점을 세어 점수를 주었다. 일정 범위내의 흡수상을 비교하기 위하여 치경부곡선 중 최하방점을 지나는 접선이 양 치근면과 만나는 점을 연결하여 이를 상한선으로 하고, 이 상

한선의 중점을 기준으로 10cm×7cm의 치사각형 안에 있는 흡수부위의 총점을 기록하였다 (Figure 1).

모든 자료는 randomized blocking design의 2-way ANOVA 와 paired t-test를 이용하여 비교했다.

III 실험결과

1. PGE₂가 치아이동에 미치는 영향

최대치아이동량은 실험측과 대조측 모두 실험 종료일인 제13일에 나타났으며 각기 2.14 ± 0.09 mm, 1.39 ± 0.17 mm로서 실험측에서 유의한 증가를 보였다($p < 0.01$), (Table 1).

치아이동속도가 최대로 나타난 시기는 제1일로서 실험측에서는 1.18 ± 0.19 mm, 대조측에서는 0.74 ± 0.16 mm였으며 PGE₂를 투여한 실험측에서 유의한 증가를 보였다($p < 0.01$), (Table 1). 그 후 치아이동은 증가량이 점차 감소하다가 제10일 이후부터는 다시 증가하기 시작했으며 이러한 치아이동양상은 실험측과 대조측이 유사하였다(Figure 2).

Table 1. Effect of PGE₂ on tooth movement in-orthodontically treated cat

Time (days)	Force + PGE ₂		Force + Saline		Paired t-test
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	
1	1.18 ± 0.19 (n=25)		0.74 ± 0.16 (n=25)		**
4	1.51 ± 0.19 (n=20)		0.97 ± 0.17 (n=20)		**
7	1.70 ± 0.16 (n=15)		1.10 ± 0.19 (n=15)		**
10	1.83 ± 0.15 (n=10)		1.19 ± 0.17 (n=10)		**
13	2.14 ± 0.09 (n=5)		1.39 ± 0.17 (n=5)		**

** $p < 0.01$

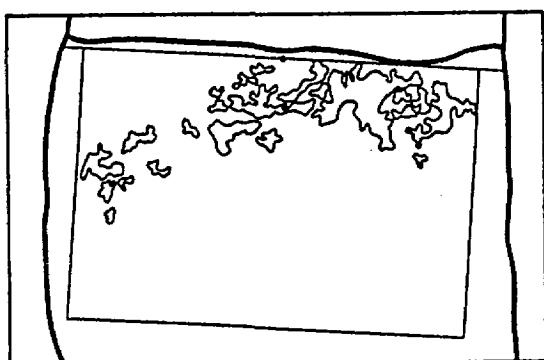


Figure 1. Schematic representation of the method for computation of cemental craterings. Intersections of the grid coincident with a resorption lacuna in the rectangle were scored as points.

치아이동속도가 최소로 나타난 시기는 실험측과 대조측 모두 제7일부터 제10일 사이로서 각기 0.12 ± 0.07 mm, 0.09 ± 0.06 mm였으며 이 때도 역시 실험측에서 크게 나타났으나 통계적 유의성은 없었다($p > 0.05$), (Table 2).

2. PCE₂가 치근흡수에 미치는 영향

치근면 흡수 양상은 실험측과 대조측 모두 실험 기간이 경과함에 따라 대체로 증가하는 추세

Table 2. Changes of the amount of tooth movement in each experimental period.

Period (days)	Force + PGE ₂		Force + Saline		Paired t-test
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	
0-1	1.18 ± 0.19 (n=25)		0.74 ± 0.16 (n=25)		**
1-4	0.34 ± 0.12 (n=20)		0.25 ± 0.10 (n=20)		**
4-7	0.22 ± 0.10 (n=15)		0.15 ± 0.09 (n=15)		*
7-10	0.12 ± 0.07 (n=10)		0.09 ± 0.06 (n=10)		
10-13	0.29 ± 0.12 (n=5)		0.17 ± 0.06 (n=5)		*

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

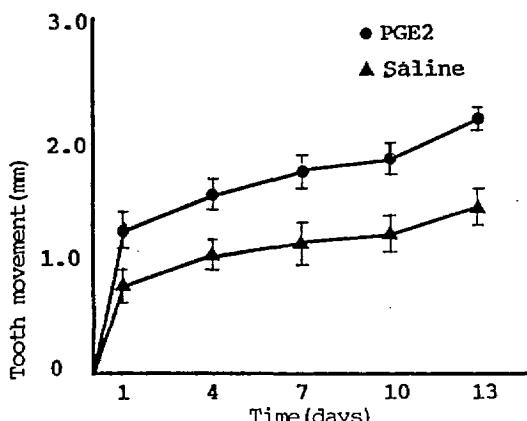


Figure 2. Changes in tooth movement as a function of experimental time.

를 보였다. 대조측에서 치근면흡수는 계속 증가하다가 제10일에 최대로 나타났으며 그 후 감소하는 현상을 보였고, 실험측에서는 실험종료일인 제13일까지 지속적 증가를 보였지만 대조측보다는 증가 폭이 작았다(Figure 4).

한편, 제 4, 7, 10일에는 PGE₂를 투여한 실험측에서 대조측에 비해 치근면 흡수가 작게 나타났으나($p < 0.05$), 제1, 13일에는 실험측과 대조측에서 치근면 흡수가 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$), (Table 3).

전 실험 기간을 통해 실험측과 대조측 모두 제4일부터 10일까지의 기간에 치근면 흡수가 유의한 증가를 보였다($p < 0.05$), (Figure 5).

Table 3. Effect of PGE₂ on cemental cratering in orthodontically treated cats

Time (days)	Force + PGE ₂		Force + Saline		Paired t-test
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	
1	144.7 ± 26.5		123.3 ± 24.0		
4	204.0 ± 17.3		291.0 ± 31.0		*
7	366.7 ± 22.9		449.3 ± 18.9		**
10	429.3 ± 21.9		588.3 ± 38.2		*
13	531.3 ± 47.9		515.3 ± 45.7		

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

Time (days)	1	4	7	10	13
1					
4	● ▲				
7	● ▲	●			
10	● ▲	● ▲			
13	● ▲	● ▲	● ▲	● ▲	

Figure 3. Tooth movement, significantly different at pairs of time groups ($p < 0.05$).

● PGE2, ▲ Saline

IV 고 칠

Prostaglandin은 염증반응시나 치아이동시 골흡수과정에 관여하는 것으로 알려져있다. Goodson 등¹⁰⁾은 쥐의 치조골에 직접 PGE₁을 주사한 결과 골형태의 현저한 변화와 골흡수의 증가를 보고하였고, Kafrawy와 Mitchel¹¹⁾은 쥐의 치은점막에 PGE₁을 주사하여 치은염증 및 치조골흡수를 관찰했으며, Davidovitch와 Schanfeld¹⁶⁾은 고양이의 상악견치에 80gm의 교정력을 가한 뒤 PGE₂ 양을 측정한 결과 견인측에서는 초기에 일시적 증가를 보였으나 압박측에서는 14일 후 90%가 증가함으로써, 골침착과정보다 골흡수과정에서 더욱 지속적으로 작용한다고 보고하였고, Yamasaki¹²⁾은 교정적 치아이동시 기계적 자극으로 PG가 합성되어 파골세포에 의한 골흡수가 촉진된다고 했으며, King과 Tiems²¹⁾는 치아이동 후 압박측의 골조직추출물에서 발견된 강력한 골흡수물질이 PG일 가능성 을 제시하고 기계적 치아이동은 PG등의 화학물질에 의해 일차적으로 증개된다고 하였다.

PG가 파골세포를 활성화시키는 기전은 완전히 규명되지는 않았지만 세포내 cyclic AMP와 Ca⁺⁺증가를 통해 파골세포의 활성도가 높아지고 수가 증가되어, 골흡수가 촉진되고 치아이동이 이루어진다고 알려져있으며^{9,10,14,16,17,18,22)} 그 중에서도 PGE군 특히 PGE2가 가장 강력한 골

흡수작용을 보인다고 보고되었다.⁸⁾

PGE₂는 폐순환과정에서 생물학적 기능이 상실되어 불활성화되며¹⁵⁾, 혈장칼슘농도에 영향을 주지 않으므로 치주조직으로부터 흡수된 PGE₂는 다른 기관에 대한 유해작용을 나타내지 않기 때문에 국소적 사용이 가능하다.

이러한 PG의 특성을 이용하여 외인성 PG를 국소적으로 투여하면 보다 빠른 골흡수 및 골개조를 유도하여 치아이동이 촉진될 수 있다.

Yamasaki 등¹²⁾은 쥐에서 PGE₂ 1.0 μ g과 10 μ g을 투여하고 3일 후 치아이동속도의 증가와 치조골내 파골세포의 수적 증가를 관찰했으며, 그 후 원숭이에서 PGE₂ 40 μ g을 투여하고 18일 후 치아이동속도는 약 2배가 증가했다고 보고하였다²³⁾. Chumbley와 Tuncay²⁴⁾는 PG 합성억제제인 Indomethacin을 고양이에 주사한 결과 치아이동이 거의 50%정도 감소했다고 하였다. 본 실험은 PGE₂를 투여한 실험측이 대조측에 비해 제1일 경과후의 치아이동속도는 거의 1.6배 가량 증가했으며 이 차이는 실험종료시까지 거의 지속되었는 바 이들의 보고와 유사한 결과를 보였다.

Reitan²⁵⁾은 치아이동의 초기단계에서 관찰할 수 있는 3단계 양상으로 첫째, 치근막의 점진적 압박이 있는 동안 치아의 조기이동이 있으며 둘째, 초자양변성기에는 치아이동이 거의 없다가 세째, 직접성골흡수가 이루어지면서 치아는 지속적 이동을 한다고 설명했다. 본 실험의 치아

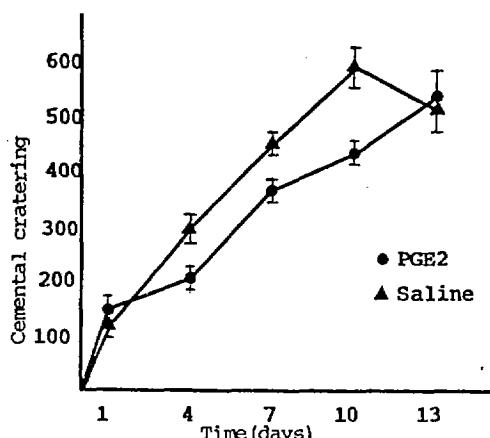


Figure 4. Changes in cemental craterings as a function of experimental time.

Time (days)	1	4	7	10	13
1					
4	▲				
7	● ▲	● ▲			
10	● ▲	● ▲		▲	
13	● ▲	● ▲		●	●

Figure 5. Cemental cratering, significantly different at pairs of time groups ($p < 0.05$)
● PGE2, ▲ Saline

이동양상을 볼 때 실험개시후 4일 경과후까지는 치아이동이 빨리 이루어지다가 제4일부터 10일 까지의 치아이동속도는 매우 작았는데, 이는 치근막의 초자양변성과 잠행성을 흡수가 일어나는 시기로서,^{26,17)} Reitan²⁵⁾은 이 시기에 치아이동은 지연된다고 했는데 이런 현상은 대조측에서 더욱 뚜렷이 나타났다. PGE₂를 투여한 실험측에서는 이 시기에서도 치아이동속도가 대조측에 비해 증가했으며, 이는 Yamasaki 등²⁸⁾이 PG를 투여한 경우 치아이동속도의 지속적 증가가 있었다는 보고와도 유사하였다. 이렇게 지연된 치아이동속도는 10일 후 실험종료일인 13일 사이에는 다시 증가하는 경향을 보임으로써 Reitan²⁵⁾의 보고와 부합되는 양상을 나타냈다.

한편, Arendorf와 Smith²⁵⁾는 hamsters에서 PGE₂ 10μg을 매4일마다 24일간 투여한 결과 치조골과 백악질의 흡수상을 보고했는데, 이런 치근면흡수는 교정치료시 흔히 나타날 수 있는 부작용이다. Kvam³⁰⁾은 40개의 소구치에 실험적 교정력을 가한 뒤 5일 후에 관찰한 결과 모든 치근의 변연부에 흡수상이 나타났다고 보고하고, 이러한 치근의 변연부나 중앙부의 흡수상을 관찰하기 위해서는, 근단부의 흡수상 관찰이 용이한 방사선적 소견보다는 주사전자현미경적 소견이 더욱 가치 있다고 하였다. 본 실험에서도 주사전자현미경으로 관찰한 모든 치아의 치근변연부에 백악질 흡수상이 나타났다.

백악질은 치조골에 비해 흡수에 대한 저항력이 크며 바로 이 점 때문에 교정적 치아이동이 가능하다고 볼 수 있다. 즉, 교정력을 치아에 가했을 때 백악질과 치조골은 똑같은 압력을 받게 되지만, 골흡수로 치아이동을 유도하면서 백악질의 흡수는 크게 나타나지 않게 된다. 이렇듯 흡수에 대한 저항력이 백악질에서 큰 이유는 불소함유량이 많다는 점과 혈관분포가 적어 대사작용이 느리다는 점에 기인한다.

Rygh³¹⁾는 백악질의 저항성을 두 가지 방어막에 의한 것으로 설명했는데 첫째는, 3~5μ 두께로 백악질을 덮고 있는 미석회화된 유백악질(cementoid)이며 둘째는, 치조골측에 비해 보다 성숙한 교원질이 존재하여 화학적 변화에 더욱 저항력이 크다는 것이다. 초자양변성시 치근

막 손상으로 생화학적 환경의 변화가 오면 이들 보호막이 손상되어 백악질 흡수가 개시되며, 일단 흡수소와가 형성된 후에는 교정력이 계속 가해지면 백악질 흡수가 진행되고 교정력이 감소 혹은 소실되면, 흡수소와에 백악질이 침착되어 회복되기 시작하지만 원래의 구조로 완전히 회복되기는 힘들다고 하였다.^{31,32)}

또한, 치근흡수에 영향을 주는 요인으로는 종양이나 교정력등에 의한 압력의 증가, 치근막의 조직손상, 혈액공급의 증가, 감염, 전신질환이나 홀몬장애등의 개인성향을 들 수 있다³¹⁾. 실험개시후 제4일부터 10일 사이에 대조측에 비해 실험측의 치근흡수가 적게 나타난 것은, Goldie와 King³³⁾의 보고, 즉 실험적 칼슘결핍증의 쥐에서는 부갑상선홀몬의 분비가 증가되어 파골세포의 활성도가 높아지고 골의 치밀도가 낮아짐으로써 치아이동은 증가되었으나 치근흡수는 감소되었다는 결과와 유사하였다.

치아이동속도가 최소로 나타났던 제7일부터 10일 사이에 치근면흡수가 크게 증가한 것은 무세포지대가 주로 치근변연부에 나타나며 이때의 치아이동은 지연된다는 Reitan의 보고와 일치된다.

교정치료시 가능한 짧은 기간동안 필요한 치아이동을 이루고자 하는 것은 모든 교정의사의 공통된 목표라고 할 수 있다. 그러나 실제로 교정적 치아이동은 치관부에 힘을 가할 때 치아와 주위조직의 생물학적 세포반응결과로 이루어지므로 치아의 크기 및 형태, 치근막과 치조골의 조직학적 특성, 환자의 연령, 개개인의 생체반응, 또 교정력의 크기, 방향, 기간등에 의해 치아이동속도나 치근면흡수는 많은 차이가 존재할 수 있다^{1,2,34,35)}. 그러므로, 교정치료에 기계적 힘이외에 생물학적 방법이 응용되기 위해서는 앞으로 조직학적 및 생화학적 측면의 다각적 연구가 더욱 필요할 것으로 사료된다.

V 결 론

이 실험은 PGE₂가 치아이동속도와 치근면흡수에 미치는 영향을 연구하고자 시도되었다. 고양이 25마리를 5마리씩 5군으로 나누고 상악좌

우견치에 80gm의 교정력을 가한 뒤, 우측견치는 실험측으로서 PGE₂ 10μg을, 좌측견치는 대조측으로서 saline 0.1ml만을 국소적으로 점막 하주사하였다. 견치 교두정과 제3소구치 중앙교두정간의 거리를 측정하였으며, 좌우견치를 발거해 주사전자현미경으로 원심축치근상반부의 미세사진을 촬영하여 백악질 흡수상을 point-counting volumetric analysis를 이용해 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실험적 치아이동시 PGE₂측에서 대조측에 비해 치아이동속도가 증가했으며, 제1일에 증가량이 가장 컸다.
2. 모든 치아는 제7일부터 10일 사이에 치아이동속도는 최소였으며 그 후 다시 증가하였다.
3. PGE₂측에서 대조측에 비해 제4일부터 10일 사이에 치근면흡수는 감소하였다.

REFERENCES

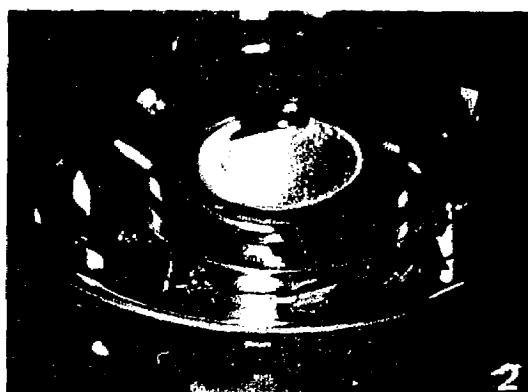
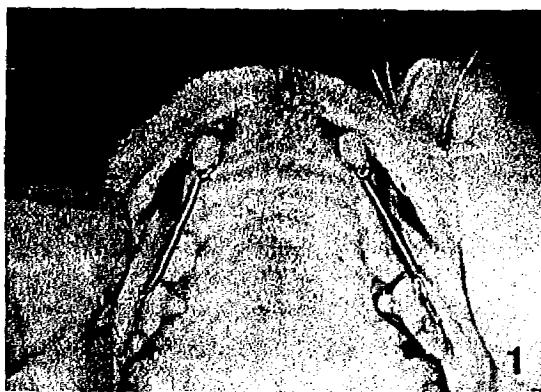
1. Reitan, K.: Clinical and histological observations on tooth movement during and after orthodontic treatment. Am. J. Orthod., 53(10):721-745, 1967.
2. Storey, E.: The nature of tooth movement. Am. J. Orthod., 63:292-314, 1973.
3. Buck, D.L., Griffith, D.A., and Hills, M.J.: Histologic evidence for human tooth movement. Am. J. Orthod., 64:619-624, 1973.
4. Davidovitch, Z., Shanfeld, J., Iannaccone, W., and Korostoff, E.: Electric currents of orthodontic tooth movement in cats by locally applied electric currents. J. Dent. Res., 56(A):190, 1977.
5. Euler, U.S.V.: Über die spezifische blutdruksenkende Substanz des Menschlichen prostata und samenblasensekretes. Klin. Wschr. 14, 1182-1183, 1935.
6. Bergstrom, S., Carlson, L.A., and Weeks, J.R.: The prostaglandins: a family of biologically active lipids. Pharmacol. Rev., 20:1-48, 1968.
7. Hamberg, M. and Samuelson, B.: On the metabolism of prostaglandin E₁ and E₂ in man. J. Biol. Chem., 246(22):6713-6721, 1971.
8. Vanderwiel, C.J., and Talmage, R.V.: Comparison of the effects of prostaglandin E₂ and parathyroid hormone on plasma calcium concentration and osteoclast function. Endocrinology, 105:588-595, 1979.
9. Klein, D.C., and Raisz, L.G.: Prostaglandins: Stimulation of bone resorption in tissue culture. Endocrinology, 86:1436-1440, 1970.
10. Goodson, J.M., Mcclatchy, K., and Revell, C.: Prostaglandin-induced resorption of adult rat calvarium. J. Dent. Res., 53:670, 1974.
11. Kafrawy, A.H., and Mitchel, D.F.: Effects of prostaglandin E₁ on the periodontium of the rats. J. Dent. Res., 56:1132, 1977.
12. Yamasaki, K., Miura, F., and Suda, F.: Prostaglandin as a mediator of bone resorption induced by experimental tooth movement in rats. J. Dent. Res., 59(10):1635-1642, 1980.
13. 박금수, 고재승 : Prostaglandin E₂가 시험관 내에서 배서 태아 두개관의 파골세포에 미치는 영향에 관한 연구. 서울치대논문집, 6(2)30 : 147-154, 1983.
14. Yamasaki, K.: The role of cyclic AMP, calcium, and prostaglandins in the induction of osteoclastic bone resorption associated with experimental tooth movement. J. Dent. Res., 62(8):877-881, 1983.
15. Piper, P.J., Vane, J.R., and Wyllie, J.H.: Inactivation of prostaglandins by the lungs. Nature, 225:600-604, 1970.
16. Davidovitch, Z., and Schanfeld, J.L.: Prostaglandin E₂(PGE₂) levels in alveolar bone

- of orthodontically treated cats. IADR Progr. & Abst., 59: No. 977, 1980.
17. Feldman, R.S., and Acs. G.: Prostaglandin E2 stimulation of osteoclast formation in vitro. J. Dent. Res., 59(A):301, 1980.
 18. 강봉기, 서정훈 : Prostaglandin E₂가 배서의 치아이동시 치조골 흡수에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. 대한 치과 교정학회지, 13 : 147-154, 1983.
 19. Weibel, E.R., Kistler, G.S., and Scherle, W.F.: Practical stereological methods for morphometric cytology. J. Cell. Biol., 30: 2328, 1966.
 20. King, G.J., and Fischlschweiger, W.: The effect of force magnitude on extractable bone resorptive activity and cemental cratering in orthodontic tooth movement. J. Dent. Res., 61(6):775-779, 1982.
 21. King, G.J., and Tiems, S.: Chemical mediation of bone resorption induced by tooth movement in the rat. Arch. Oral. Biol., 24:811-815, 1979.
 22. Somjen, D., Binderman, I., Berger, E., and Harrel, A.: Bone remodelling induced by physical stress is prostaglandin E₂ mediated. Biochem. Biophys. Acta, 627:91-100, 1980.
 23. Yamasaki, K., Shibata, Y., and Fukuhara, T.: The effect of prostaglandins on experimental tooth movement in monkeys (*Macaca-fuscata*). J. Dent. Res., 61(2): 1444-1446, 1982.
 24. Chumbley, A.B., and Tuncay, O.C.: The effect of indomethacin (an aspirine-like drug) on the rate of orthodontic tooth movement. Am. J. Orthod., 89(4):312-314, 1986.
 25. Reitan, K.: Clinical and histological observations on tooth movement during and after orthodontic treatment. Am. J. Orthod., 53(10):721-745, 1967.
 26. Heller, I.J., and Nanda, R.: Effect of metabolic alteration of periodontal fibers on orthodontic tooth movement: An experimental study. Am. J. Orthod., 75(3): 239-258, 1979.
 27. Midgett, R.J., Shaye, R., and Fruge, J.F.: The effect of altered bone metabolism on orthodontic tooth movement. Am. J. Orthod., 80(3):256-262, 1981.
 28. Yamasaki, K.: Clinical application of prostaglandin E₁(PGE₁) upon orthodontic tooth movement. Am. J. Orthod., 85(6): 508-518, 1984.
 29. Arendorf, T.M., and Smith, C.J.: The effect of prostaglandin E₂ on the alveolar bone and tooth root surface of mature hamsters. J. Dent. Res., 58(Special issue C):1245, 1979.
 30. Kvam, E.: Scanning electron microscopy of tissue changes of the pressure surface of human premolars following tooth movement. Scand. J. Dent. Res., 80:357-368, 1972.
 31. Rygh, P.: Orthodontic root resorption studied by electron microscopy. Angle Orthod., 47(1):1-16, 1977.
 32. Henry, J.L., and Weinman, J.P.: The pattern of resorption and repair of human cementum. JADA, 42:270-290, 1951.
 33. Goldie, R.S., and King, G.J.: Root resorption and tooth movement in orthodontically treated, calcium-deficient and lactating rats. Am. J. Orthod., 85(5):424-430, 1984.
 34. Stuteville, O.H.: Injuries caused by orthodontic forces and the ultimate results of these injuries. Am. J. Orthod., 24(2):103-119, 1938.
 35. Rudolph, C.E.: An evaluation of root resorption occurring during orthodontic treatment. J. Dent. Res., 19:367-371, 1940.

EXPLANATION OF PHOTOGRAPH

- Figure 1.** Occlusal view of the upper arch of cat. The closed coil springs were stretched between the canine and the 3rd premolar.
- Figure 2.** Distal surface of the canine was coated with carbon and gold in a vacuum evaporator.
- Figure 3.** Comparison of root resorption between a tooth showing extensive involvement (A) and one without cratering, non-treated (B). (SEM, x35).
- Figure 4.** Marginal root resorption of distal surface of cat canine, treated with force & PGE₂.
- A: Small resorption pits scattered. (1 day, SEM, x35)
 - B: Multiple cemental craterings. (13 days, SEM, x35)
- Figure 5.** Marginal root resorption of distal surface of cat canine, treated with force only.
- A: Small resorption pits appeared. (1 day, SEM, x35)
 - B: Multiple crater-like resorption defects. (10 days, SEM, x35)

논문 사진부도 ①



1000 15 0000 05