

간헐적 교정력에 의한 백서 구치 치주조직의 변화에 관한 실험적 연구

서울대학교 치과대학 치과교정학교실

김선해 · 서정훈

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE CHANGES OF RAT MOLAR PERIODONTIUM INCIDENT TO INTERMITTENT FORCE

Sun-Hae Kim, 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 —

The purpose of this study was to investigate the tissue response of the rat molar periodontium incident to intermittent orthodontic force. The author intended to observe the healing process of injured periodontium and the response of injured tissue to the resumed force.

Oxytetracyclin 50mg/Kg was given to each rat intraperitoneally. 5 days later, maxillary 1st molars were moved mesially from the incisors with closed coil spring of 100 gram. 7 days later, the appliances were removed and 20mg/Kg of calcein were given intraperitoneally to each rat. At the same time, maxillary left 1st molars of 15 rats were moved by the same method, but force was lowered to 20 gram. After 1 day, maxillary left 1st molars of another 15 rats were moved by the same method and 50mg/Kg of oxytetracycline was given intraperitoneally. After 4 days, another 15 rats were treated as above. After 7 days, another 15 rats were treated as above. 1, 4, 7, 10 and 14 days after change of force, 3 rats were sacrificed in each group respectively.

2 rats were decalcified, embedded in paraffin, and stained with hematoxylin-eosin stain and with Masson's trichrome stain. Another rat was embedded in polyester resin and undecalcified specimen were made. Microradiograms were taken with the undecalcified sections. Observations

were made with light and fluorescence microscope. Following conclusions were made.

1. Connective tissue cells and vessels were infiltrated into the hyalinized tissue from the bony cleft and along the border of the hyalinized tissue with bone and root surface. At the same time, elimination of hyalinized tissue, bone and root resorption occurred.
2. Bone and root were resorbed directly and indirectly.
3. Hyalinized tissue was removed within 5 days after force removal.
4. Hyalinized zone was less extensive and easily removed as the rest period prolonged.
5. Hyalinized tissue developed more rapidly and extensively and lasted over 10 days as the force resumed on the already formed hyalinized tissue.

-목 차-

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

I. 서 론

조직에 손상을 주지 않으면서 치아를 이동시키기 위해서는 힘의 크기¹⁾, 방향¹⁻⁴⁾, 지속시간^{5,6)}, 작용거리⁷⁻¹²⁾, 작용점^{10,11)}, 회전중심^{10,11)}, 치아 이동의 종류^{1,2,4)} 등 주로 생물리적인 요소와 치조골의 밀도¹³⁻¹⁶⁾, 전신적 상태^{17,18)}, 내분비상태¹⁷⁾등 개체의 특성에 관한 요소들의 복합적인 작용을 고려해야 한다. 이러한 치아 이동에 관한 연구는 광학현미경적으로^{1-4,13,14,19,20)} 투사전자현미경적²¹⁻³¹⁾, 및 주사전자현미경적으로³²⁻³⁶⁾, 또는 생화학적^{36,37)} 및 자기방사법적으로^{38,39)}, 조직화학적으로⁴⁰⁻⁴²⁾, 생체표시법으로⁴³⁻⁴⁵⁾ 연구되어 왔다.

Schwarz¹¹⁾는 치근막의 모세혈관압을 초과하지 않는 힘을 지속적으로 작용시킴으로써 직접성 골흡수를 일으킬 수 있으며 압박측에 흡수 저항성이 높은 유골 조직과 신생골의 형성을 억제 시킴으로써 빠른 치아 이동이 가능하다고 하였

고, Robinson⁵⁾은 약하고 지속적인 힘을 발휘하는 교정장치가 개발되어야 한다고 하였으며 Burstone^{46,47)}, Ricketts⁵⁸⁾도 응력 변형 비율(load-deflection rate)이 낮은 장치로써 치아를 이동시켜야 한다고 하였다.

또한 가장 빠른 치아 이동을 일으키는 최적 교정력은 치아마다 다르다고 하는 차등 교정력에 대한 이론도 제시되었다.⁴⁹⁻⁵¹⁾ 그러나 오랜 기간 동안의 관찰 결과로는 치아 이동 속도에 있어 힘의 크기에 따른 차이가 별로 없으며^{46,47)} 오히려 치아 이동 속도는 작용력에 비례한다는 주장도 제기되었다.⁵²⁻⁵⁵⁾

한편 지속적 교정력은 치근막의 순환장애를 일으키므로 조직이 회복될 수 있는 기간이 필요하다는 간헐적 교정력에 대한 이론도 제시되었다.⁶⁻¹⁰⁾ Hemley⁸⁾는 역학적 효율성(mechanical efficiency)이 낮은 장치를 사용하는 것이 안전하다고 하였고 Stuteville^{6,9)}, Moyers⁷⁾는 교정력의 작용거리가 치근막 간격을 초과하면 안된다고 하였다. 그러나 이들은 간헐적 교정력의 휴지기에 생성되는 유골조직으로 인한 치아 이동의 지연에 관해서는 언급이 없으며 또 손상된 조직이 다시 교정력을 받을 수 있는 정도의 회복이 어느 정도인지에 대해서도 일치된 정설이 없다. 이에 저자는 지속적 교정력으로 인하여 손상된 조직의 치유과정을 관찰하고 휴지기의 장단에 따라서 재적용된 교정력이 일으키는 조직반응의 차이를 관찰하여 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 실험 재료 및 방법

재료 및 장치 : 생후 4주령의 Sprague-Dawley계 웅성 백서 60 마리를 일정조건 하의 실험실에서 4주간 사육한 후 생체 표지를 위해 oxytetracycline을 체중 1kg 당 50mg 씩 복강내 주사하고, 5일째 되는 날 thiopental sodium을 체중 1kg 당 8~10mg 씩 복강내 주사하여 마취한 후 상악 좌우측 중절치 근원심면과 순면, 상악 좌우측 제1대구치 근심면의 치은 직상방에 groove를 형성하였다. 상악 좌우측 중절치 두 개를 0.010 inch 결찰선으로 함께 결찰하여 고정 원을 보강하고, 상악 좌우측 제1대구치 치경부에도 같은 결찰선을 한 바퀴 돌린 후 이에 closed coil spring(008x036, Unitek 제품)을 연결하였다. closed coil spring 전방에 다시 같은 결찰선을 연결한 후 100gram의 추를 달아 견인하고 상악 중절치 순면과 결찰선 사이에 생긴 공간을 충전용 resin으로 채웠다. (Fig.1)

이상의 방법으로 상악 좌우측 제1대구치를 7 일간 100gram의 힘으로 근심견인한 후 장치를 제거하면서 체중 1kg 당 20mg의 calcein을 복강내 주사하여 재차 생체표지하였다. 60마리의 백서를 15마리씩 4개 군으로 나누어 제1군은 우측

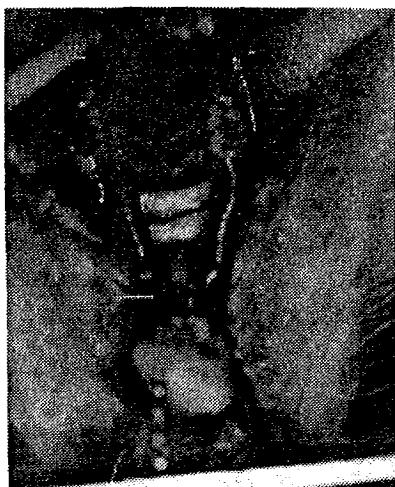


Fig. 1. Both upper 1st molars were moved mesially with closed coil springs.

의 장치를 제거한 후 그대로 두고 좌측은 힘의 크기를 위의 방법에 따라 20gram으로 변경하여 1일, 4일, 7일, 10일 및 14일 후에 각각 3마리씩 희생하였다. 제2군은 장치제거 후 1일의 휴지기를 둔 후 oxytetracycline을 체중 1kg 당 50mg 씩 복강내 주사하여 세번째 생체 표지한 후 1군과 같이 하였으며 제3군과 제4군은 각각 4일, 7일의 휴지기를 거친 후 제2군과 같이 하였다. 희생된 백서는 장치를 제거한 후 상악골을 분리하여 10% 중성 formalin에 고정하였다. 실험 순서의 개요는 Fig.2와 같다.

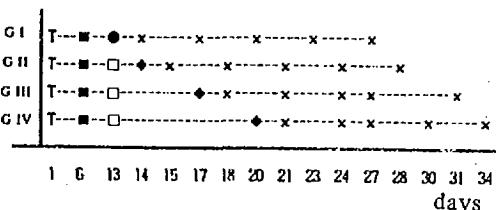


Fig. 2. Sequence of experiment

- T : injection of oxytetracycline
- : insertion of coil spring (100gram)
- : right; removal of coil spring, left; force change (20gram), injection of calcein
- : removal of coil springs and injection of calcein
- ◆ : insertion of coil spring (20gram) and injection of oxytetracycline
- x : sacrifice

조직 표본의 제작 : 함께 희생시킨 세 마리 중 두 마리의 상악골은 EDTA에서 3주 이상 탈회하고 paraffin으로 포매한 후 근원심 방향으로 4~6μ 으로 절단하여 hematoxylin-eosin 중염색과 Masson's trichrome 염색을 행하였다. 남은 한 마리의 상악골은 styren monomer와 polyester resin (Regolac, 應研商事제품)으로 포매한 후 low speed saw를 사용하여 근원심 방향으로 150~200μ 으로 절단하고, 물속에서 고운 사포로 (#1000) 연마하고, 다시 종이위에서 연마하여 50μ 정도의 두께로 연마표본을 제작하였다. Softex를 사용하여 제작된 연마표본의 microradiogram을 촬영하였다. (촬영조건 : 30Kvp, 13 mA, 8~10min.) 촬영에 사용한 film은 softex CMR용 film이었고 Kodak developer D-19로

현상하고 acid hardening fixer로 정착하였다. microradiogram은 slide glass에 봉입하여 텔로표본과 함께 광학현미경으로 관찰하였고 연마표본은 형광현미경으로 관찰하였다.

관찰부위는 상악 좌우측 제1대구치 원심 협축 치근과 그 주위 조직이었다.

III. 실험 결과

장치 제거 후 1일

치근막 간격은 치조정 부근에서는 근심이 원심보다 좁으나 근단부에서는 원심이 약간 좁아서 치아가 경사이동한 모습을 보였다. (Fig.3-1) 근심은 7일간 압박축이었다가 장치를 제거하면서 견인축으로 바뀌는 부위이고 원심은 7일간 견인축이었다가 장치를 제거하면서 압박되는 부위이다. 근심 치조정의 원심쪽에 광범위한 초자양 변성을 보였다. (Fig.4) 초자양 변성 조직과 접하고 있는 골면의 개방된 골수로부터 결체적 세포가 초자양 변성 조직내로 증식되고 있었으며 초자양 변성 조직의 변연에서도 많은 결체적 세포와 혈관이 치근면과 골면을 따라 증식되고 있었다. 결체적 세포의 증식과 함께 초자양 변성 조직의 제거, 골흡수, 치근흡수 등이 보였다. 간혹 다핵 거대세포가 초자양 변성 조직 주변에 출현한 것을 볼 수 있었다. 근단쪽으로 이행되면서 조골세포와 조백악세포의 배열도 관찰되었다.

원심축 치근막 섬유는 치조정 부근에서는 치근면과 골면 사이를 거의 수평으로 주행하고 있지만 근단으로 갈수록 점차 경사를 이루었다. 원심축 골면에서 신생골의 형성은 없었고 다핵 거대 세포도 없었으나 조골세포와 조백악 세포는 정상적인 배열을 보이면서 각각 유골조직과 백악질을 근심축보다 풍부하게 형성하고 있었다. (Fig.5)

장치 제거 후 5일

치근막 간격은 균원심이 비슷하고 (Fig.3-2) 근심축의 초자양 변성 조직은 소실되었다. (Fig.

6) 초자양 변성 조직이 있던 부위에서는 세포성분의 증가와 혈관의 증식이 관찰되었고 불규칙하게 치근막 섬유가 재생되고 있었다. 초자양 변성 조직의 변연과 접해있던 치근면은 직접성, 잠행성으로 흡수되고 있었으나 흡수와는 간질세포로 채워져 있고 조백악세포가 배열되고 있었으며 치조골에도 다소의 신생골과 함께 조골세포가 관찰되었다. 조골세포와 조백악세포는 각각 유골조직과 미약한 백악전질(cementoid)을 형성하고 있었다. 근심축에서 다핵거대세포는 발견되지 않았다. (Fig.6)

원심축에서는 조골세포들이 불규칙하게 배열되고 다핵거대세포에 의해서 연속성이 단절되고 있었으나 치근면의 조백악세포는 비교적 규칙적인 배열을 유지하고 있었고 백악전질도 풍부하였다. 치근막섬유는 심한 경사를 이루고 있었다. (Fig.7)

장치 제거 후 7일

근심축 치근막 섬유는 다소 경사진 주행을 보였고 초자양 변성 조직이 있던 부위에서는 기능적 배열을 보이지 않고 있었다. 근심 치조골의 원심면은 평탄한 골면에서 섬유 주행 방향을 따라 신생골의 침착이 보였다. 신생골형성으로 근심축 골면은 평탄해졌으며 (Fig.3-3) 근심축에서 다핵 거대세포는 관찰되지 않았다. (Fig.8)

원심축 치근막 섬유는 치근면과 거의 평행한 주행을 보였고 치근막 전체에서 세포성분이 증가되어 있었으며 (Fig.9) 치근 중간부 치근막 중간에 작은 초자양 변성 조직이 보였다. 원심축 골면은 요철불규칙하였고 여기에 조골세포와 다핵 거대 세포들이 다수 출현하고 있었다. 다핵 거대 세포는 잠행성 골흡수를 일으키고 있었으나 조백악세포는 비교적 균일한 배열을 이루고 있었다.

장치 제거 후 11일

장치제거 후 7일의 소견보다 더욱 진행된상을 보았다. 근심축의 초자양변성 조직이 있던 부위는 섬유조직으로 대치되고 신생골은 석회화

도가 증가되었으며 치근 흡수면에도 비박한 무세포성·백악질이 덮여 있었다.(Fig.10)

원심측 치근막에서 골면은 더욱 요철상을 보였고 조골세포의 배열은 조백악 세포에 비하여 불규칙하였으며 유골조직의 형성은 없었으나 치근면에서 백악전질이 관찰되었다.(Fig.11)

장치 제거 후 14일

근심측 치근막의 초자양 변성 조직이 제거된 부위에서 치근막 섬유의 배열은 불규칙하며 근심 치조골에는 비후한 신생골의 형성이 관찰되었다.(Fig.12)

원심측 치근막섬유는 압박되어 있었으며 많은 다행 거대 세포와 함께 치조골의 파괴상이 관찰되었고 치조정 상방의 상치조섬유(supralveolar fibers)는 신장되어 있었다.(Fig.13)

제 1 군(100gram 7일→20gram)

교정력 변경 후 1일에 근심측 치근막 치조정 부근에 광범위한 초자양 변성을 보였다. 많은 다행 거대 세포가 출현하여 초자양 변성 조직 주변과 인접 골면, 치근면 등에 위치하고 있었다. 결체적 세포의 침윤이 있는 부위의 골과 치근은 직접성, 잠행성 흡수의 양상을 보였다. 초자양 변성 조직에서 근단쪽으로는 조골세포와 조백악 세포들이 배열되어 있었지만 이들은 골면과 치근면에 압박되어 있는 듯이 보였으며 유골조직과 백악전질의 침착도 미약하였다.(Fig.14) 시간이 경과하면서 압박측의 초자양 변성 조직은 점차 크기가 감소하여 10일까지 관찰되었으나 (Fig.15) 14일에는 보이지 않았다. 유골조직과 백악전질도 10일까지는 별로 보이지 않다가 14일에는 관찰되었다.

교정력 변경 후 1일에 원심측 치근막 섬유는 신장되어 있었으며 골면과 치근면에 조골세포와 조백악세포가 각각 유골조직과 백악전질을 풍부히 형성하고 있었다.(Fig.16) 시일이 경과되면서 치근막섬유는 계속 신장된 상을 보였으며 원심측 치조골의 신생골도 7일째에는 이미 비후하게 형성되어 있었다. 신생골은 섬유의 주행 방

향을 따라 침착되면서 새로운 흘수를 형성하기도 하였는데 치조정에서 가장 많이 침착되고 근단으로 갈수록 적어서 치아의 경사이동을 반영하였으나(Fig.17) 14일에는 틈새 이동한 골형성 양상을 보였다. (Fig.18-a, b) Fig.18-a의 microradiogram에서는 원심측 치조골의 근심면 전체에 비후한 신생골의 층이 관찰되었는데 이 층은 Fig.18-b의 같은 부위에서 calcein으로 염색되어 나타났다.

제 2 군(100gram 7일→1일 rest→20gram)

교정력 변경 후 1일의 근심측 치주간격은 협소하고 광범위한 초자양 변성조직이 형성되어 있었으며 그 주위로 많은 다행 거대 세포가 출현하여 잠행성, 직접성 골흡수를 일으키고 있었다. (Fig.19) 시간이 경과하면서 초자양 변성 조직은 점차 소실되고 골과 치근의 흡수는 증가하였다. 초자양 변성 조직은 10일까지 관찰되고 (Fig.20) 14일에는 완전 소실되었다.

원심측은 치근막 간격이 넓고 치근막 섬유는 신장되어 있었다.(Fig.21) 교정력 변경 후 4일 경부터 신생골이 침착되기 시작하여 시간이 경과함에 따라 계속 비후하여졌다.(Fig.22, 23-a, b) Fig.23-a의 microradiogram에서 원심측 치조골 근심면에 비후한 신생골의 침착이 관찰되었는데 이 부위는 Fig.23-b에서는 생체 염색된 부분으로 나타났다. 염색된 부위의 calcein과 oxytetracycline은 거의 중첩되어 보였다.

제 3 군(100gram 7일→4일 rest→20gram)

교정력 변경 후 1일에 근심측 치조정 부근에서 초자양 변성조직이 관찰되었으며 그 주위에 많은 섬유아 세포와 혈관의 증식 및 염증세포 침윤이 보였다. 골면의 Howship 소강, 치근 흡수부 등에서 다행 거대 세포가 관찰되었다. (Fig.24) 4일 후에도 초자양변성조직이 치근면과 치근막 중간에 남아 있었으며 14일 후에도 초자양 변성 조직이 치근면에서 관찰되고 다행 거대 세포도 간혹 발견되었다.(Fig.25)

원심측 치근막은 교정력 변경 후 1일에 세포

성분의 현격한 증가를 보였으며 치근면에는 조백악세포가 일정하게 배열되어 있었고 백악전질도 비후하게 형성되어 있었다.(Fig.26) 4일 후 원심측 치근막의 세포성분은 감소되었고 치근막 섬유는 신장된 양상을 보였으며 약간의 유골조직이 형성되었다. 이후에도 원심측에 신생골과 신생 백악질의 침착이 계속 증가하였다.

제 4 군(100gram 7일→7일rest→20gram)

교정력 변경 후 1일에 근심측 치근막 간격은 좁아졌으나 초자양 변성 조직은 없었고 비교적 비후한 신생골 침착이 관찰되었다. 4일 후 근심측 치근막에 광범위한 초자양 변성 조직이 관찰되었다.(Fig.27) 초자양 변성 조직은 7일에 더욱 진행되었으나(Fig.28) 10일 이후에는 소실되었다.(Fig.29)

교정력 변경 후 1일에 원심측 치근막 근단쪽에 비교적 규일한 초자양 변성 조직이 관찰되었다. (Fig.30) 이는 근심측에서 4일에 나타난 초자양 변성조직과 비슷한 모양이었다. 치조골면은 요철 불규칙하고 치근면과 골면에 조골세포와 조백악세포가 배열되어 있었으나 유골조직과 백악전질은 별로 형성되어 있지 않았다. 4일 후 요철불규칙한 결합선 위로 신생골과 유골조직의 침착상이 보이고 시간이 지나면서 점차 더욱 현저하여졌다.(Fig.31)

IV. 고 찰

교정력이 작용될 때 압박측에서는 치근막 간격이 협소하여 지고 치근막 섬유의 불규칙한 주행과 초자양변성, 치조골의 잠행성 흡수 등의 변화를 보이고 견인측에서는 치근막 간격의 확장, 치근막 섬유의 신장, 신생골의 형성 등의 변화들이 관찰되었다. 100gram의 교정력을 제거하고 7일 후와 제3군의 1일의 원심측 치근막에서는 세포성분이 증가된 소견을 보였는 바 이는 Sicher와 Weinmann⁵⁶⁾, Kronman⁵⁷⁾의 보고처럼 백서 구치의 생리적 원심이동으로 원심측이 압박된 때문인 것으로 사료된다. 한편 Reitan^{2,4)}은 미약한 힘에 의한 압박측에서 세포의 증가가

일어남을 보고하였고 Tayer 등³⁹⁾은 압박측에서 흡수세포의 생산을 위해 세포의 증가가 일어난다고 하였는데 이러한 현상은 저자의 실험에서도 관찰되었다.

백서의 압박측에 초자양 변성조직이 형성되는 시간은 Reitan¹⁵⁾, Rygh^{23,26)}, Macapanpan⁵⁸⁾ 등이 거의 공통적으로 3~6시간에 시작되어 2~3일에 최대로 발달한다고 보고하였으나 본 연구에서는 백서의 이러한 빠른 초기변화를 관찰할 수 없었고 이는 실험 설계상의 차이 때문이라고 사료된다.

Buck와 Church⁶⁰⁾는 교원섬유의 변성이 없는 경우 초자양 변성이란 말은 부적절하고 무세포지대(cell free zone)라고 해야 한다고 하였고, Kvam³²⁾은 초자양 변성 조직 내의 교원섬유는 대개 특징적인 횡문을 끓고 변성된다고 하였으나 Rygh²³⁾는 초자양 변성 조직 내의 변성된 교원섬유는 5%에 불과하고 파괴된 세포와 혈관, 변성된 기질에 교원섬유가 압박된 채로 있기 때문이라고 하였다.

한편 Rygh²⁴⁾는 조백악세포, 섬유아세포, 조골세포 사이에 파괴속도나 방법에서 차이가 없다고 하였으나 Macapanpan 등⁵⁸⁾은 조골세포가 조백악세포보다 먼저 소실된다고 하였고 Reitan²⁴⁾은 치아주위세포가 치조골주위세포보다 오래지속된다고 하였으며 Kvam³⁸⁾은 조백악세포의 증식율이 조골세포나 섬유아세포 보다 낫다고 하였는데 본 연구의 결과는 조골세포가 조백악세포보다 빨리 소실되고 빨리 재생되는 것으로 보아 Macapanpan⁵⁸⁾, Reitan²⁴⁾, Kvam³⁸⁾의 보고와 일치되는 결과라 하겠다.

일반적으로 치아는 초기단계(initial phase), 지체단계(lag phase), 지체후단계(post-lag phase)의 과정을 거치면서 이동한다고 알려져 있다.⁴⁷⁾이중 지체단계는 초자양 변성 조직의 형성과 치조골의 잠행성 흡수가 특징이며 이 동안에는 치아이동이 거의 일어나지 않는다.^{21,47)}본 연구에서 교정력을 제거한 경우에는 5일 이내에, 20gram의 교정력을 계속 가한 경우에는 10일 이상 초자화가 지속되었다.

초자양 변성 조직의 제거에 관하여 Kvam³⁸⁾은 대식세포가 주된 역할을 한다고 하였고 Reitan²⁾

은 파골 세포는 초자양 변성 조직의 제거에는 관여하지 않는다고 하였다. Rygh²¹⁾는 초자양 변성 조직의 서로 다른 구성 성분은 각각 다른 세포에 의해서 제거되지만 최초로 침투하는 세포가 대식세포인지는 분명하지 않다고 했으며 5~7일 경 다행 거대 세포가 출현한다고 하였다. 본 연구에서는 다행 거대 세포가 치근면과 골면에 뿐 아니라 제거 중인 초자양 변성 조직의 변연에도 위치하고 있었는데 이로 미루어 이 세포가 초자양 조직 내로 침투하는 최초의 세포는 아니라 해도 변성 조직의 제거에 참여하는 세포 중 하나라고 사료된다. (Fig. 15, 24)

초자양 변성 조직의 제거와 관련해서 Kvam³⁸⁾은 초자양 변성 조직의 변연에서 중심부로 간질 세포가 침투하여 제거한다고 하였으나 Rygh²¹⁾, Azuma⁵⁹⁾, Reitan¹¹⁾, Macapanpan 등⁵⁸⁾은 골면의 개방된 골수로부터 결체적 세포가 침투한다고 하여 본 실험 결과와 일치하였다. (Fig. 32)

초자양 변성 조직이 제거되면서 동시에 치근과 골의 흡수도 함께 일어나고 있었다. 치근은 골보다 흡수 저항성이 높은데 Rygh²²⁾는 치근을 덮고 있는 성숙한 교원섬유와 백악전질 그리고 백악질 표면의 높은 불소농도가 방어막으로 작용하기 때문이라고 하였고 Reitan¹³⁾은 백악전질과 상아전질의 흡수 저항성이 방어막이 된다고 하였으며 Kvam^{32,33)}은 조백악세포의 배열이 벗겨지면 치근 흡수가 일어난다고 하였다. 본 연구에서는 초자양 변성 조직의 변연에서 치근 흡수가 시작되었는데 초자양 변성 조직에 덮인 치근면은 백악전질이나 조백악세포가 모두 소실되어 있었지만 세포의 침윤이 없는 부분은 아무 변화가 없었다. 이는 치근의 방어막이 소실되어도 흡수세포의 관여가 없으면 치근 흡수는 일어나지 않는다는 것을 말한다. 일단 치근 흡수가 일어나면 힘이 제거되어도 흡수과정은 당분간 계속되고 치근 표면을 따라서 진행되기 보다는 치근의 내면을 따라서 잠행성 흡수의 양상을 보였다. (Fig. 24) 이런 소견은 Rygh²²⁾, Kvam³³⁾, Stenvik과 Mjör⁶¹⁾의 보고와 일치하였다.

한편 견인측의 신생골은 치근막 섬유의 주행 방향을 따라서 형성되었다. (Fig. 31) Heller와 Nanda⁶²⁾는 교원 섬유를 물리적 화학적으로 변

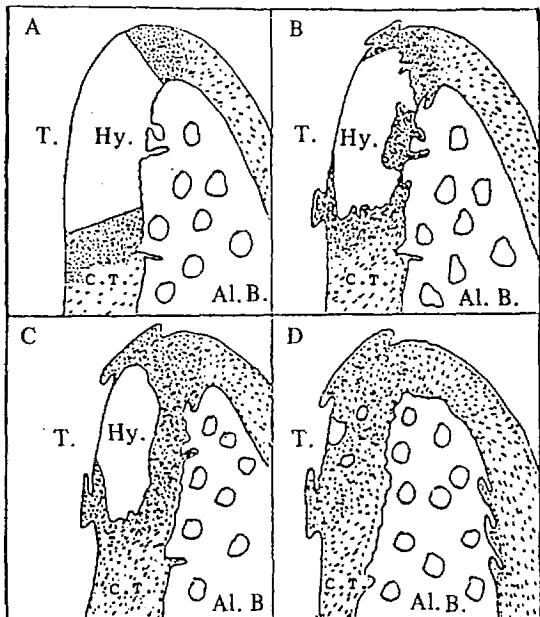


Fig. 32. Elimination of hyalinized tissue.

T: tooth, Hy.:hyalinized tissue, Al.B.:alveolar bone, C.T.:connective tissue cells.

A: The number of connective tissue cell was increased around the hyalinized tissue. B: Connective tissue cells infiltrated into the hyalinized tissue from the bony cleft and open bone marrow and along the bone and root surface. At the same time, bone and root resorption occurred. C: Osteoblasts were lined on the resorbed bone surface and the size of hyalinized tissue was reduced. D: Remnants of hyalinized tissue were observed on the root surface and in the middle of periodontal space. Apposition of new bone occurred on the opposite side of interseptal bone along the direction of periodontal fibers.

성시키는 Lathyrogen을 투여한 백서 견인측의 신생골 형성이 대조군보다 많은 것을 보고 치근막 섬유는 치조골에 힘을 전달하는 수동적인 역할을 할 뿐이고 직접적인 골형성에는 관여하지 않는다고 하였다. 골의 흡수와 침착이 치조골의 힘 때문이라고 하더라도 물리적, 화학적으로 변성된 치근막 섬유가 정상 섬유보다 힘을 더 잘 전달하였다는 것은 타당하지 않다. 본 실험에서는 견인측 신생골의 형성은 치아의 경사이동

(Fig. 17) 과 몸체이동 (Fig. 18-a, b, 23-a, b) 을 잘 반영하고 있었다. 즉 경사이동의 경우에는 치조정 부근에서 골의 형성이 많았고 몸체이동의 경우에는 견인측 치조골 전체면에 균일한 신생골 형성을 보였다. 더우기 Sharpey 섬유가 없는 골의 열구 부분에서 신생골의 형성이 없었던 것은 신생골 형성에 치근막 섬유의 견인이 중요한 신호가 됨을 보여 준다고 사료된다.

Aisenberg¹²⁾는 교정 이동 중 휴지기가 있으면 유골조직이 침착되어 치아이동을 자연시키므로 미약한 교정력을 지속적으로 사용하는 것이 유리하지만 이는 치아 이동거리가 짧은 경우에 그려하고 멀리 이동시켜야 하는 경우에는 휴지기를 두어 지속적 교정력으로 인한 조직의 손상이 회복되도록 해야 한다고 하였다. 이는 지속적 교정력과 간헐적 교정력의 문제점을 함께 지적한 것이라고 사료된다. 치아이동에 대한 유골조직과 신생골의 영향에 대하여 Follin 등¹⁵⁾은 혈관이 풍부한 신생골로 치아를 이동시킴으로써 치근흡수를 줄일 수 있다고 하였고 Reitan²⁰⁾은 신생골은 암박에 의하여 쉽게 흡수된다고 하였으나 Murphrey⁴⁵⁾는 기존의 골이 신생골보다 더 빠른 반응을 보인다고 하였다. 본 연구에서 신생골의 치아 이동에 대한 영향은 제4군에서만 관찰되었는데 여기서도 신생골에 의한 치아 이동의 자연인지 초자양 변성 조직으로 인한 자연인지는 분명하지 않았다. 그러나 휴지기간이 짧을 수록 초자화가 더 심하고 광범위하게 일어난 것은 매우 중요하다. Reitan²¹⁾은 미약한 힘을 발휘하는 기능적 교정장치는 암박측에 세포성분을 증가시키고 작은 초자양 변성 조직을 형성하지만 곧 제거되어 빠르고 조직손상이 없는 치아이동을 이를 수 있다고 하였다. 이는 교정력의 지속시간과 초자양 변성 조직의 지속시간에는 밀접한 관계가 있다는 것을 의미한다.

V. 결 론

저자는 간헐적 교정력에 의한 치주조직의 변화를 손상된 조직의 치유과정과 재적용된 교정력에 대한 치주조직의 반응이라는 두 가지 면에

서 관찰하였다.

이를 위해서 웅성 백서 60마리의 상악 좌우측 제1대구치를 100gram으로 7일간 근심 견인한 후 우측은 장치를 제거하고 좌측은 0일, 1일, 4일, 및 7일의 휴지기에 따라 4개 군으로 나눈 후 20gram으로 힘을 낮추어 1일, 4일, 7일, 10일 및 14일에 각 3마리씩 희생하였다. 모든 백서는 실험시작 5일 전, 장치 제거시, 교정력 변경시에 체중 1kg 당 oxytetracycline 50mg, calcein 20mg 및 oxytetracycline 50mg를 복강내 주사하여 생체 염색하였다. 함께 희생된 백서 3마리 중 2마리는 탈회 표본을 작성하여 hematoxylin-eosin 중염색과 Masson's trichrome 염색을 하였고 1마리는 polyester resin으로 포매하여 연마표본을 작성한 후 microradiogram을 촬영하고 형광현미경과 광학현미경으로 검정하여 다음과 결론을 얻었다.

1. 초자양 변성 조직과 접촉하고 있는 골면을 따라 혈관과 섬유아 세포가 침투하여 초자양 변성 조직의 제거와 골흡수 및 치근흡수를 유발시켰다.
2. 치근과 골은 직접성 및 잠행성 흡수상을 모두 보였다.
3. 초자양 변성 조직은 교정력을 제거한 후 5일 이내에 제거되었다.
4. 휴지기간이 길수록 초자양 변성 조직의 범위가 작고 빨리 제거되었다.
5. 이미 형성된 초자양 변성 조직에 가해진 20gram의 힘은 초자화를 더 빠르고 광범위하게 진행시켰으며 10일 이상 지속시켰다.

REFERENCES

1. Reitan, K.: Effects of force magnitude and direction of tooth movement on different alveolar bone types. Angle Orthod. 34:244-255, 1964.
2. Reitan, K.: Some factors determining the evaluation of forces in orthodontics. Am. J. Orthod. 43:32-45, 1957.

3. Reitan, K.: Clinical and histological observations on tooth movement during and after orthodontic treatment. *Am. J. Orthod.* 53:721-745, 1967.
4. Reitan, K.: Tissue behavior during orthodontic tooth movement. *Am. J. Orthod.* 46:881-900, 1960.
5. Robinson, R.O.: A system of positive and painless tooth movement. *The International Journal of Orthodontia* 1:497-509, 1915.
6. Stuteville, O.H.: A summary review of tissue changes incident to tooth movement. *Angle Orthod.* 8:1-19, 1937.
7. Moyers, R.E., Bauer, J.L.: The periodontal response to various tooth movement. *Am. J. Orthod.* 36:572-580, 1933.
8. Hemley, S.: The clinical significance of tissue changes incidental to tooth movement. *Am. J. Orthod.* 41:5-26, 1955.
9. Stuteville, O.H.: Injuries caused by orthodontic forces and the ultimate results of these injuries. *Am. J. Orthod.* 24:103-119, 1938.
10. Oppenheim, A.: Human tissue response to orthodontic intervention of short and long duration. *Am. J. Orthod.* 28:263-301, 1942.
11. Schwarz, A.M.: Tissue changes incident to orthodontic tooth movement. *The International Journal of Orthodontia* 18:331-352, 1932.
12. Aisenberg, M.S.: The tissues and changes involved in orthodontic tooth movement. *Am. J. Orthod.* 39:855-859, 1948.
13. Reitan, K.: Initial tissue behavior during apical root resorption. *Angle Orthod.* 44: 68-82, 1974.
14. Reitan, K., Kvam, E.: Comparative behavior of human and animal tissue during experimental tooth movement. *Angle Orthod.* 41:1-14, 1971.
15. Follin, M.E., Ericsson, I., Thilander, B.: Occurrence and distribution of root resorption in orthodontically moved premolars in dogs. *Angle Orthod.* 56:164-175, 1986.
16. Midgett, R.J., Shaye, R., Fruger, J.F.: The effect of altered bone metabolism on orthodontic tooth movement. *Am. J. Orthod.* 80:256-262, 1981.
17. Gisondi, J.G., Kronman, J.H.: Thyroid influence on bone histology during tooth movement in hamsters. *Angle Orthod.* 42:310-318, 1972.
18. Goldie, R.S., King, G.J.: Root resorption and tooth movement in orthodontically treated, calcium-deficient, and lactating rats. *Am. J. Orthod.* 85:424-430, 1984.
19. Reitan, K.: Tissue rearrangement during retention of orthodontically rotated teeth. *Angle Orthod.* 29:105-113, 1959.
20. Reitan, K.: Bone formation and resorption during reversed tooth movement. *Vistas in orthodontics* edited by Kraus and Riedel. 1962.
21. Rygh, P.: Elimination of hyalinized periodontal tissues associated with orthodontic tooth movement. *Scand. J. Dent. Res.* 82: 57-73, 1974.
22. Rygh, P.: Orthodontic root resorption studied by electronmicroscopy. *Angle Orthod.* 47:1-16, 1977.
23. Rygh, P.: Ultrastructural cellular reactions in pressure zones of rat molar periodontium incident to orthodontic tooth movement. *Acta. Odont. Scand.* 30:575-593, 1972.
24. Rygh, P.: Ultrastructural changes in pressure zones of human periodontium incident to orthodontic tooth movement. *Acta. Odont. Scand.* 31:109-122, 1973.
25. Rygh, P.: Ultrastructural changes in tension

- zones of rat molar periodontium incident to orthodontic tooth movement. Am. J. Orthod. 70:269-281, 1976.
26. Rygh, P.: Ultrastructural changes of the periodontal fibers and their attachment in rat molar periodontium incident to orthodontic tooth movement. Scand. J. Dent. Res. 81:467-480, 1973.
27. Kurihara, S., Enlow, D.H.: An electron microscopic study of attachments between periodontal fibers and bone during alveolar remodeling. Am. J. Orthod. 77:516-531, 1980.
28. Kurihara, S.: An electron microscopic observation on cells found in bone resorption area incident to experimental tooth movement. Bull. Tokyo Med. Dent. Univ. 24:103-123, 1977.
29. 이인환 : Guinea pig에서 실험적 치아이동에 따른 치아주위조직의 변화에 관한 전자현미경적 연구. 대치교지. 13 : 165-176, 1983.
30. 장지우 : 실험적 치아이동시 견인측 치주조직에 미치는 영향에 관한 전자현미경적 연구. 대치교지. 14 : 65-74, 1984.
31. 이정훈, 이기수 : 백서구치의 교정적 치아이동중 장력측 치주조직의 반응에 관한 전자현미경적 연구. 대치교지. 17 : 223-234, 1987.
32. Kvam, E.: Organic tissue characteristics on the pressure side of human premolars following tooth movement. Angle Orthod. 43: 18-23, 1973.
33. Kvam, E.: Scanning electron microscopy of tissue changes on the pressure surface of human premolars following tooth movement. Scand. J. Dent. Res. 80:357-368, 1972.
34. Harry, M.R., Sims, M.R.: Root resorption in bicuspid intrusion. A scanning electron microscope study. Angle Orthod. 52:235-258, 1982.
35. Wakimoto, Y.: Scanning electron microscopic observations of root resorption in the rat molar following experimental tooth movement. 114:1-15 : 618-637, 1986.
36. King, G.J., Fischlschweiger, W.: The effect of force magnitude on extractable bone resorptive activity and cemental cratering in orthodontic tooth movement. J. Dent. Res. 61:775-779, 1982.
37. King, G.J., Collier, J.: A bone resorptive agent extractable from orthodontically treated tissues of the rat. Angle Orthod. 56:299-308, 1986.
38. Kvan, E.: Cellular dynamics on the pressure side of the rat periodontium following experimental tooth movement. Scand. J. Dent. Res. 80:369-383, 1972.
39. Tayer, B.H., Gianelly, A.A., Ruben, M.P.: Visualization of cellular dynamics associated with orthodontic tooth movement. Am. J. Orthod. 54:515-520, 1968.
40. Shackleford, J.M.: The indifferent fiber plexus and its relationship to principal fibers of the periodontium. Am. J. Anat. 131:427-442.
41. Carmichael, G.G., Fullmer, H.M.: The fine structure of the oxytalan fiber. The Journal of Cell Biology 28:33-36, 1966.
42. 임진환 : 실험적 치아이동시 나타나는 백서 치주조직의 변화에 대한 조직학적 및 조직화학적 연구. 대치교지 6 : 33-38, 1976.
43. Sato, T.: Observations on the periodontal tissue changes in undecalcified specimens during molar depression in rats. 114:1-15 : 607-617, 1986.
44. Utley, R.K.: The activity of alveolar bone incident to orthodontic tooth movement as studied by oxytetracycline induced

- fluorescene. Am. J. Orthod. 54:167-201, 1968.
45. Murphey, W.H. Jr.: Oxytetracycline micro-fluorescent comparison of orthodontic retraction into recent and healed extraction sites. Am. J. Orthod. 58:215-239, 1970.
46. Burstone, C.J., Baldwin, J.J., Lawless, D.T.: The application of continuous forces to orthodontics. Angle Orthod. 31:1-14, 1961.
47. Burstone, C.J.: Vistas in Orthodontics. edited by Kraus, B.S., Riedel, R.A. Lea & Febiger, 1962, Philadelphia.
48. Ricketts, R.M., Bench, R.W., Gugino, C.F., Hilgers, J.J., Schulhof, D.J.: Biopressive therapy Part 6. Forces used in biopressive therapy. 93-110, Rocky mountain/orthodontics 1979.
49. Begg, P.R.: Differential forces in orthodontic treatment. Am. J. Orthod. 42:481-509, 1956.
50. Storey, E.: The nature of tooth movement. Am. J. Orthod. 63:292-314, 1973.
51. Jarabak, J.P., Fizzel, J.A.: Technique and treatment with light wire edgewise appliances. 48-92, C.V. Mosby, 1972, Saint Louis.
52. Hixon, E.H., Aasen, T.O., Arango, J., Clark, R.A., Klosterman, R., Miller, S.S., Odom, W.M.: On force and tooth movement. Am. J. Orthod. 57:476-489, 1970.
53. Furstman, L., Bernick, S., Aldrich, D.: Differential response incident to tooth movement. Am. J. Orthod. 59:600-608, 1971.
54. Mitchell, D.L., Boone, R.M., Ferguson, J.H.: Correlation of tooth movement with variable forces in the cat. Angle Orthod. 43:154-161, 1973.
55. Weinstein, S.: Minimal forces in tooth movement. Am. J. Orthod. 53:881-903, 1967.
56. Sicher, H., Weinmann, J.P.: Bone growth and physiologic tooth movement. Am. J. Orthod. 30:109-132, 1944.
57. Kronman, J.H.: Tissue reaction and recovery following experimental tooth movement. Angle Orthod. 41:125-132, 1971.
58. Macapanpan, L.C., Brodie, A.G.: Early tissue changes following tooth movement in rats. Angle Orthod. 24:79-95, 1954.
59. Azuma, M.: Study on histologic changes of periodontal membrane incident to experimental tooth movement. Bull. Tokyo Med. Dent. Univ. 17:149-178, 1970.
60. Buck, D.L., Church, D.H.: A histologic study of human tooth movement. Am. J. Orthod. 62:507-516, 1972.
61. Stenvik, A., Mjör, I.A.: Pulp and dentine reactions to experimental tooth intrusion. A histologic study of the initial changes. Am. J. Orthod. 57:370-385, 1970.
62. Heller, I.J., Nanda, R.: Effect of metabolic alteration of periodontal fibers on orthodontic tooth movement. Am. J. Orthod. 75:239-258, 1979.

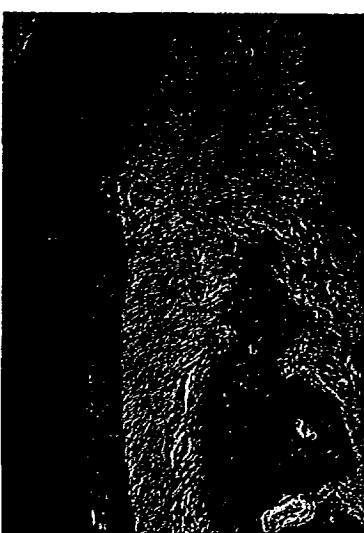
EXPLANATIONS OF PHOTOMICROGRAPHS

Abbreviations: Thick arrows indicate mesial direction. C;cementum, HY;hyalinized zone, CB; cementoblast, V;blood vessel, CD;cementoid layer, RL;reversal line, MG;multinucleated giant cell, NB;new bone layer, OBT;osteoblast, UR;undermining resorption, OD;osteoid layer.

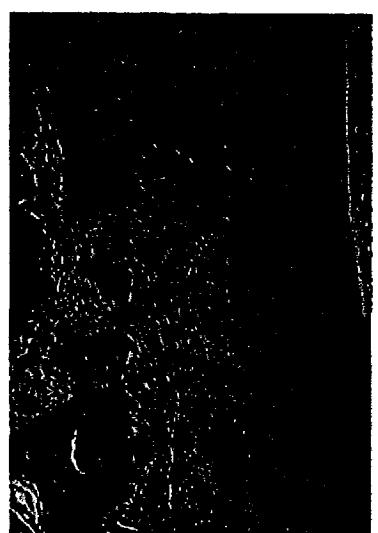
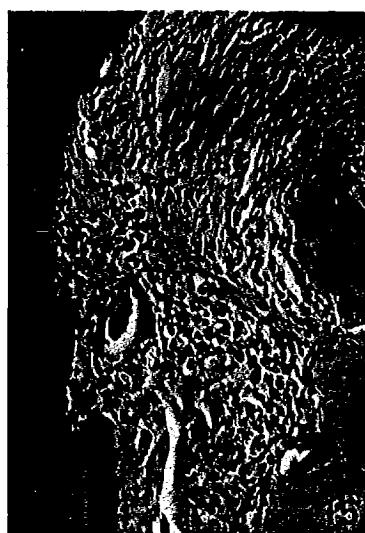
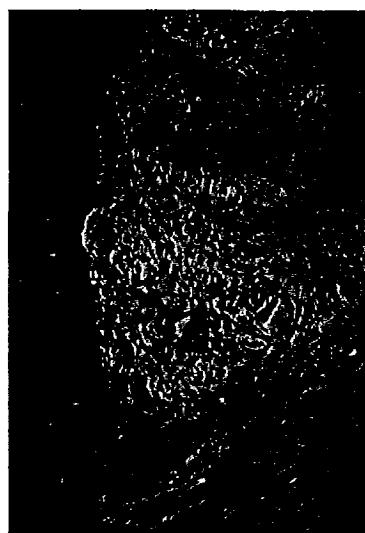
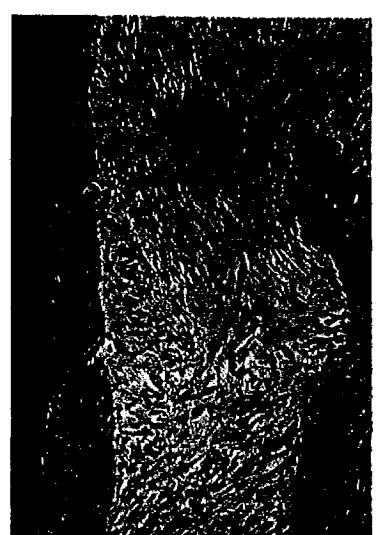
- Fig. 3-1.** Microradiogram 1 day after removal of orthodontic force 100gr (x40)
- 3-2.** Microradiogram 5 days after removal of orthodontic force 100gr (x40)
- 3-3.** Microradiogram 7 days after removal of orthodontic force 100gr (x40)
- 3-4.** Microradiogram 11 days after removal of orthodontic force 100gr (x40)
- 3-5.** Microradiogram 14 days after removal of orthodontic force 100gr (x40)
- Fig. 4.** 1 day after removal of orthodontic force 100gr. Hematoxylin-eosin stain x200 mesial side of distobuccal root.
- Fig. 5.** 1 day after removal of orthodontic force 100gr. Hematoxylin-eosin stain x200 distal side of distobuccal root.
- Fig. 6.** 5 days after removal of orthodontic force 100gr. Hematoxylin-eosin stain x100 mesial side of distobuccal root.
- Fig. 7.** 5 days after removal of orthodontic force 100gr. Hematoxylin-eosin stain x200 distal side of distobuccal root.
- Fig. 8.** 7 days after removal of orthodontic force 100gr. Hematoxylin-eosin stain x100 mesial side of distobuccal root.
- Fig. 9.** 7 days after removal of orthodontic force 100gr. Hematoxylin-eosin stain x100 distal side of distobuccal root. Small arrows indicate some of the multinucleated giant cells shown in this field.
- Fig. 10.** 11 days after removal of orthodontic force 100gr. Hematoxylin-eosin stain x200 mesial side of distobuccal root.
- Fig. 11.** 11 days after removal of orthodontic force 100gr. Masson's trichrome stain x200 distal side of distobuccal root. Small arrows indicate some of the multinucleated giant cells shown in this field.
- Fig. 12.** 14 days after removal of orthodontic force 100gr. Hematoxylin-eosin stain x200 mesial side of distobuccal root.
- Fig. 13.** 14 days after removal of orthodontic force 100gr. Hematoxylin-eosin stain x100 distal side of distobuccal root.
- Fig. 14.** 1 day after force change without rest. Hematoxylin-eosin stain x100 mesial side of distobuccal root.
- Fig. 15.** 10 days after force change without rest. Hematoxylin-eosin stain x200 mesial side of distobuccal root.

- Fig. 16.** 1 day after force change without rest. Hematoxylin-eosin stain x100 distal side of distobuccal root.
- Fig. 17.** 7 days after force change without rest. Hematoxylin-eosin stain x100 distal side of distobuccal root. New bone layer is located in between small arrows.
- Fig. 18-a.** Microradiogram. 14 days after force change without rest x40
- 18-b.** Fluorescence photomicrograph. 14 days after force change without rest x40 Small arrows indicate border of new bone layer.
- Fig. 19.** 1 day after force change with 1 day rest. Hematoxylin-eosin stain x400 mesial side of distobuccal root.
- Fig. 20.** 10 days after force change with 1 day rest. Hematoxylin-eosin stain x100 mesial side of distobuccal root.
- Fig. 21.** 1 days after force change with 1 day rest. Hematoxylin-eosin stain x200 distal side of distobuccal root.
- Fig. 22.** 14 days after force change with 1 day rest. Hematoxylin-eosin stain x100 distal side of distobuccal root.
- Fig. 23-a.** Microradiogram. 14 days after force change with 1 day rest x40.
- Fig. 23-b.** Fluorescence photomicrograph. 14 days after force change with 1 day rest x 40. Small arrows indicate border of new bone layer.
- Fig. 24.** 1 day after force change with 4 days rest. Hematoxylin-eosin stain x200 mesial side of distobuccal root.
- Fig. 25.** 14 days after force change with 4 days rest. Hematoxylin-eosin stain x200 mesial side of distobuccal root.
- Fig. 26.** 1 day after force change with 4 days rest. Hematoxylin-eosin stain x100 distal side of distobuccal root.
- Fig. 27.** 4 days after force change with 7 days rest. Hematoxylin-eosin stain x200 mesial side of distobuccal root.
- Fig. 28.** 7 days after force change with 7 days rest. Hematoxylin-eosin stain x100 mesial side of distobuccal root.
- Fig. 29.** 10 days after force change with 7 days rest. Hematoxylin-eosin stain x100 mesial side of distobuccal root.
- Fig. 30.** 1 day after force change with 7 days rest. Hematoxylin-eosin stain x200 distal side of distobuccal root.
- Fig. 31.** 7 days after force change with 7 days rest. Hematoxylin-eosin stain x100 distal side of distobuccal root.

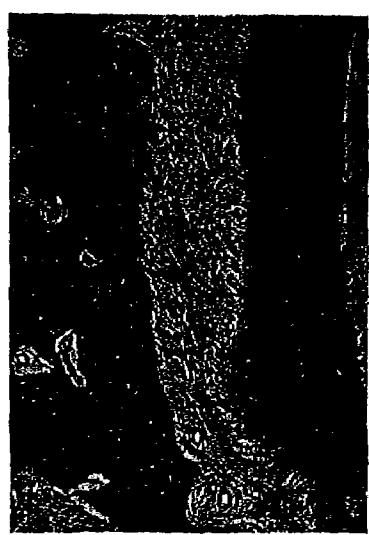
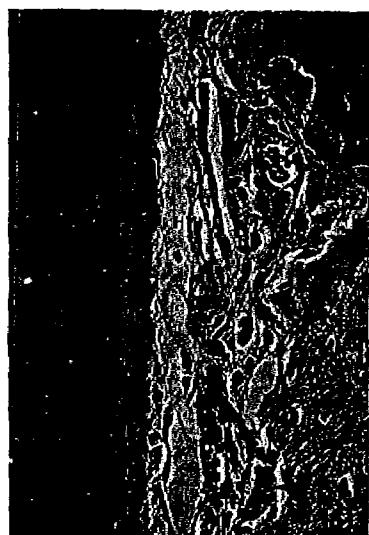
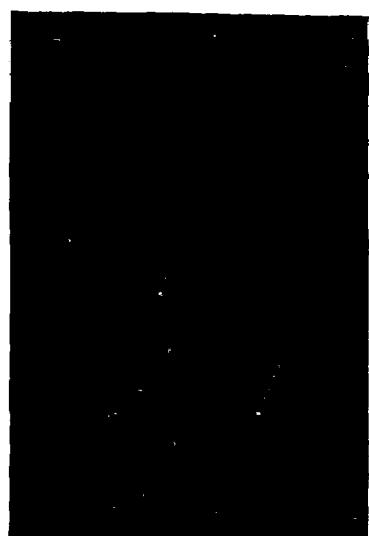
준분 사신우노 (1)



신증 사신구노 (2)



논문 사진부도 ③



논문 사진부록 (4)

