

백서구치의 교정적 치아이동 중 압박축

치조골의 골개조에 관한 연구

경희대학교 치과대학 교정학교실

송 요 선 · 이 기 수

-목 차-

- I. 서 론
- II. 실험재료 및 방법
- III. 연구성적
- IV. 총괄 및 고찰
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록
- 사진부도 설명
- 사진부도

I. 서 론

치아에 힘을 가하면 압박축에서는 치조와의 표면과 골수강에 파골세포가 나타나서 골을 흡수하고, 장력축에서는 조골세포가 나타나 신생골을 첨가시키면서 치아는 이동된다. 교정력에 의한 치아이동 기구를 규명할 목적으로 광학현미경을 이용한 조직학적 연구가 시행되어 왔으며¹⁻⁸⁾ 아울러 치주조직의 반응에 관한 전자현미경적 연구에서 Rygh와 Reitan^{9), Rygh¹⁰⁻¹³⁾는 백서 및 교정환자를 대상으로 압박축 혈관, 세포 및 교원섬유의 변화를 관찰하였고, Kurihara¹⁴⁾는 백서치아의 압박축에서 잠식성 골흡수가 일}

어나는 부위에 나타나는 조섬유세포, 내피세포 및 미분화세포의 미세구조에 관하여 보고하였다.

인체의 피질골에서 골개조는 휴지, 활성화, 반전, 골형성 및 휴지의 과정을 거치면서 진행되는데¹⁵⁾, 골개조 과정에서의 활성화는 수 시간내에 이루어지며, 흡수는 약 한 달간 계속되고 다양한 반전기를 거친 다음에 골형성이 2-3개월간 지속된다고 하였다^{16,17,18)}. 교정력에 의한 치조골의 반응은 정상적인 골개조 과정에서 관찰되는 소견과 유사한 것으로 생각되고 있으며¹⁹⁾, Miura와 Kurihara²⁰⁾는 Waldo²¹⁾의 방법에 의한 치아이동시에 압박축에서 12시간에 파골세포가 나타나서 7일간 존속하며, 골흡수는 1-14일까지 지속되고 골첨가는 21일부터 시작된다고 하였으며, Reitan²²⁾은 교정력이 가하여진 후 수시간 내에 파골세포의 수가 증가되며, 교정력을 제거한 다음에도 쥐에서는 수 일, 사람에서는 10일까지 파골세포가 존속한다고 하였다.

치아의 이동은 궁극적으로 골개조의 과정에 관여하는 세포의 활성에 의존하는 것으로 알려져 있다¹⁹⁾. 그러나 교정력에 의한 압박축 치조골의 골개조 과정에 나타나는 골흡수 및 골형성에 관여하는 세포들의 순차적인 동태에 관한 전자현미경적 관찰은 희소하였다. 이에 저자는 백서구치에 지속적인 교정력을 가했을 때, 압박축 치조골에서 일어나는 골개조 과정을 전자

현미경으로 관찰하므로써 치아이동 기구의 일단을 밝히기 위하여 실험을 실시하였으며, 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

실험동물은 체중 220그램内外의 건강한 웅성배서(Sprague-Dawley계) 24마리를 사용하였다. 실험군은 교정력의 부여기간에 따라 3시간, 6시간, 1일, 2일, 3일, 7일, 14일의 7개군으로 나누고 각군에 3마리씩 배정하였으며 정상대조군에 3마리를 배정하였다. 실험동물은 고형사료와 물을 충분히 공급하여 사육하였다.

실험장치는 Reitan과 Kvam²³⁾ 및 이와 이²⁴⁾가 사용한 장치를 약간 변형하여 상악제1대구치를 협측경사이동시킬 수 있도록 고안하였다. sodium pentobarbital(5mg/100gm 체중)을 복강내에 주사하여 마취시킨 후 상악의 인상을 취득하고, 경석고를 부어 작업모형을 제작하였다. 상악절치에 밴드를 제작하고, 직경 0.028인치 교정선으로 스프링 유지선을 만들고 직경 0.011인치 교정선으로 만들어진 스프링을 유지선에 부착시킨 후, 이를 절치 밴드에 납착하였다(Fig. 1). 모형상에서 15그램의 교정력으로 상악제1대구치를 협측이동시킬 수 있도록 스프링을 활성화시킨 후, 실험동물의 상악 절치에 이를 인산씨멘트로 고정하였다.

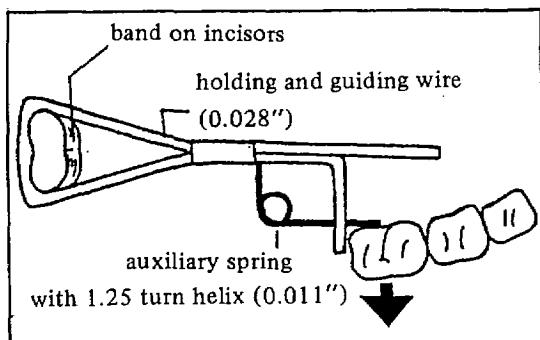


Fig. 1. Schematic drawing of orthodontic appliance for moving the upper first molar of the rat buccally. Arrow indicates the direction of tooth movement.

각 실험기간 동안 치아를 협측으로 이동시킨 후 sodium pentobarbital(5mg/100gm 체중)로 마취하고, 2.5% glutaraldehyde(0.1M sodium cacodylate 완충액, pH 7.4)로 혈관관류법에 의하여 고정하면서 회생시켰다. 상악구치부를 절제하여 치조점막하의 연조직을 완전히 제거한 다음, 상기의 고정액으로 2-3시간 동안 전고정하였다. 0.1M sodium cacodylate 완충액(pH 7.4)으로 15분간 2회 세척한 후 2.5% glutaraldehyde를 함유한 0.1M EDTA 액(pH 7.4)로 섭씨 4도의 냉장고에서 7-8주간 탈회하였다. 탈회된 악골조직을 0.1M sodium cacodylate 완충액(pH 7.4)으로 30분간 세척한 다음 1% osmium tetroxide (0.1M sodium cacodylate 완충액, pH 7.4)로 2시간 동안 후고정하였다. Maleate 완충액(pH 7.4)로 15분간 세척하고, 1% uranyl acetate(0.1M maleate 완충액, pH 6.2)로 en block 염색하였다. 다시 maleate 완충액(pH 5.2)로 10분간 세척하고, 통법에 따라 농도를 높여가면서 에틸알콜로 탈수한 후, propylene oxide로 처리하고 섭씨 60도에서 3일 간 합성수지(Epon 812)를 중합시켜 포매하였다.

광학현미경 관찰용 표본은 초박절편기(LKB III, Sweden)를 사용하여 협설 방향으로 1μm 두께의 절편을 만들어 1% toluidine blue로 염색하였다.

전자현미경 관찰을 위하여 치조골의 개조가 일어나고 있는 부위를 초박절편기로 90-100nm 두께의 초박절편을 만들고 uranyl acetate와 lead citrate로 중염색하였다.

III. 연구성적

정상대조군

광학현미경 소견에서 협측 치조와 골면은 대체로 불규칙한 파상을 이루나 편편하였으며, Sharpey 섬유등이 매식되어 있었고, 골 표면에는 간혹 극소수의 조골세포 및 파골세포가 관찰되었다. 치주인대의 두께는 약 120μm内外를 유지하고 있었으며 이 범위를 초과하는 부위에는

골형성이 진행되고 있었다(Fig. 2).

실험군

광학현미경소견에서는 3-6시간 경과 후에 골표면에 타원형 또는 불규칙한 형태의 파골세포가 산재되어 있는 것이 관찰되었으며(Fig. 3, 4), 2일 경과군에서는 치주인대의 초자양변성과 잠식성 골흡수가 관찰되었다(Fig. 5).

7일경과군에서는 치주인대의 초자양변성이 일어난 부위의 상단과 하단의 골에서 잠식성 골흡수가 혼자히 진행되고 있었다(Fig. 6). 치주인대에 인접된 치조골면에는 농염되는 다수의 단핵성 파골세포가 부착되어 골을 흡수하고 있었으며, 골흡수가 많이 진행된 부위에서는 단핵세포가 단층으로 배열되어 있었다. 대체로 치근표면에서 $120\mu\text{m}$ 내외에 있는 골조직 표면에서는 파골세포가 관찰되었고 이보다 더 먼 부위의 치조골면에는 파골세포가 관찰되지 않았으며, 부위에 따라서는 조골세포가 분화되고 있었다. 파골세포, 단핵세포 및 조골세포들이 나타나는 부위에 인접한 결합조직은 치주인대와는 달리 소성결합조직으로 구성되어 있었고, 다수의 모세혈관이 출현하고 있었다(Fig. 7, 8). 14일경과군에서는 극히 일부분의 골표면에서만 파골세포가 진존하고 있었으며, 치조정 인접치조골의 대부분에서 조골세포에 의한 골형성이 진행되고 있었다(Fig. 9). 잠식성 골흡수가 활발하게 진행되고 있는 부위의 전자현미경적 소견은 해을 여러 개 함유하고 있는 전형적인 파골세포가 투명대에 의하여 골에 부착되어 있었다(Fig. 10). 투명대에는 세포소기관이 없었으며 무구조로 보이는 미세사가 함유되어 있었다. 투명대와 투명대 사이에는 세포막의 합입에 의하여 주름모양을 하는 주름변연이 잘 발달되어 있었다.

주름변연에 인접한 세포질에는 다수의 커다란 공포와 전자밀도가 높은 물질로 채워진 일차용해소체가 관찰되었으며(Fig. 11), 세포핵은 합입이 심한 불규칙한 원형이거나 타원형으로서 진염색질이 풍부하게 함유되어 있었고, 핵소사체가 잘 발달된 핵인이 핵막에 인접하여 나타나고 있었다(Fig. 12). 핵막의 내면에는 얇은 섬

유판이 존재하고 그 안쪽에는 이염색질이 얕게 부착되어 있었으며, 핵 주위에는 잘 발달된 Golgi기관이 존재하고 있었다. Golgi기관에는 편평한 소낭이 3-4층으로 존재하고, 주위에 다수의 소포와 공포들이 존재하고 있었으며, 공포에는 전자밀도가 높은 물질이 충만되어 있는 것이 많았다. 소능이 잘 발달된 타원형 또는 구형의 사립체들이 투명대와 주름변연을 제외한 전체의 세포질내에서 많이 관찰되었다(Fig. 10, 13). 세포질 전체에 걸쳐서 유리리보솜과 짧은 과립내형질세망이 산재하고 있었다(Fig. 11).

파골세포에 인접하고 있는 단핵세포에는 두 가지 종류가 관찰되었다. 하나는 구형의 어둡게 보이는 세포(암세포; dark cell)로서 대체로 세포질의 발달은 미약하나 사립체와 유리리보솜이 상대적으로 많이 함유된 세포이고(Fig. 14), 또 하나는 비교적 세포질이 발달된 밝게 보이는 세포(명세포; bright cell)로서 세포질에는 과립내형질세망이 잘 발달되어 있었고 진염색질이 풍부한 핵과 잘 발달된 핵인을 가지고 있었다(Fig. 15).

잠식성 골흡수가 일어난 후 신생된 치주조직 속에는 다수의 신생혈관과 그 주위에 대식세포가 출현하였으며(Fig. 16), 골흡수가 중단되어 파골세포가 골에 부착되어 있지 않은, 즉 반전이 시작되는 일부에서는 과립내형질세망과 핵인이 중등도로 발달된 입방형 또는 불규칙한 형태의 단핵세포가 골표면에서 약간 멀리 존재하고 있었고(Fig. 17), 다른 일부에서는 세포들 사이에 교원섬유들이 골표면에 수직방향으로 배열되어 있는 것이 관찰되었다(Fig. 18).

골형성이 진행되고 있는 부위에서는 원주형, 원추형 또는 입방형의 조골세포가 발달되고 있다(Fig. 19). 국소적으로는 세포돌기를 내면서 골세포로 분화되어 가는 조골세포도 관찰되었다(Fig. 20). 활동중인 조골세포는 핵이 한쪽으로 편재하고, 핵에는 진염색질이 풍부하고 핵인이 핵막에 부착되어 있는 것이 대부분이었으며 세포질에는 잘 발달된 과립내형질세망이 다양 함유되어 있었고, Golgi기관이 발달되어 있었다(Fig. 21).

IV. 총괄 및 고찰

본 실험에서 교정력을 이용하여 치아를 이동 시킬 때 암박축 치조골에서 일어나는 골개조 과정에서 파골세포의 동원과 파골세포에 의한 골흡수, 반전 및 조골세포에 의한 골형성과정을 확인할 수 있었다.

골흡수가 진행되고 있는 부위에서 Kurihara¹⁴⁾의 보고와 같이 잘 발달된 파골세포가 관찰되고 있었다. 파골세포의 골흡수 작용과 관련하여 가장 특징적인 구조는 투명대와 주름변연인데, 주름변연은 골흡수가 진행되는 동안에만 존재하는 기관이며, 투명대는 파골세포를 골에 밀착시켜 주고 골흡수에 용이한 미세환경을 유지시켜 주는 역할을 하는 것으로 알려져 있고, Bonucci²⁵⁾는 이들이 빌달할수록 파골세포의 골흡수기능이 활발하다고 보고하였다. 이 실험에서도 주름변연과 투명대가 잘 발달된 파골세포가 다수 출현하고 있었다. 일반적으로 정상골의 개조과정에서 해면골은 표면에서부터 60 micron 깊이까지 골흡수가 진행되고, 퍼질골은 100micron 까지 진행된다고 보고되어 있고²⁶⁾, 본 실험에서도 치조표면에서 일정한 거리까지 골흡수가 진행되다가 이보다 먼 부분에서 반전현상이 일어나고 있음을 확인하였다.

파골세포의 기원에 관하여는 아직 확실히 밝혀져 있지 않으며, 교정력이 가하여졌을 때에 출현하는 파골세포의 기원에 관하여 Robert들¹⁹⁾은 기존하였던 불활성의 파골세포, 인접한 골에서 이주하여 온 파골세포, 치근막 속의 대식세포에 의한 파골세포의 신생, 혈류를 통하여 들어온 단핵구에 의한 파골세포의 신생과 같이 4가지의 경로가 가능하다고 하였다. 파골세포는 세포분열을 수반하지 않으며 그 수가 수시간내에 증가하기 때문에 세포분열이 이미 끝난 단핵세포들이 유합되어 파골세포가 되는 것으로 믿고 있다^{27,28)}. 파골세포는 단핵식세포계의 선조세포들이 골수에서 생성된 다음 단핵구로 분화하여 혈류내로 들어오고, 골에 도달하여 파골세포가 되는 것으로 알려져 있으며²⁹⁾, Jee³⁰⁾는 Howship소강에 나타나는 세포 중에서 사립체와 유리리보솜이 풍부한 세포가 파골세포의 선조세포라고

하였다. Kurihara¹⁴⁾는 파골세포의 인접부위에서 사립체와 유리리보솜이 풍부하면서 어둡게 보이는 구형의 암세포가 mononuclear preosteoclast라고 추정하였으며 본 연구에서도 파골세포의 인접부위에서 이와 같은 암세포를 확인할 수 있었다. 그러나 생체내에서 단핵세포가 유합되어 파골세포가 되는 과정은 아직 명확하지 않으나, 본 실험에서도 파골세포의 생성과정을 밝히지 못하였다. 파골세포가 출현하는 부위에서는 다수의 혈관이 발달되어 있는 것으로 알려져 있으며^{14,31)}, 본 실험에서도 Howship소강내에서 다수의 모세혈관을 확인할 수 있었다. 파골세포 또는 파골세포의 선조세포가 골을 인지하여 찾아가는 기전에는 골기질이나 무기질에 대한 화학 주성에 의한 것으로 믿고 있으며, 화학주성물질로서 골세포가 생산한 교원질과 osteocalcin, 간에서 생산되는 α_2 계 당단백등이 알려져 있다³²⁾.

파골세포사이에 Kurihara¹⁴⁾가 보고한 방추형의 명세포와 유사한 구조를 보이는 과립내형질세망과 Golgi기관이 발달된 명세포가 이 실험에서도 관찰되었다. Kurihara¹⁴⁾는 이 세포를 조골세포, 섬유아세포, 대식세포 또는 파골세포의 일부일 것으로 추정하였다. 골개조과정에서 골형성과 골흡수가 인접부위에서 동시에 일어날 수 있으며, 조골세포는 파골세포의 활성을 조절하는 연결인자(coupling factor)를 생산분비하는 것으로 추정하고 있기 때문에³³⁾ 파골세포사이에 존재하는 명세포는 이러한 조골세포의 역할을 담당할 가능성도 있다고 생각된다.

본 연구에서 치근표면으로부터 약 120micron 이상되는 치주인대속에서 파골세포가 존재하지 않는는데, 이는 골개조과정에서 파골세포에 의한 골흡수의 중단은 골세포나 골이장세포에 의하여 생산된 prostacylin과 같은 물질의 억제작용에 기인하는 것으로 추정하고 있다¹⁵⁾.

파골세포가 물러나고 반전이 일어나고 있는 부위에서는 불규칙한 형태의 작은 단핵세포가 존재하고 있었는데, 아마도 이를 세포에서 조골세포가 분화되는 것으로 생각된다. 골흡수가 중단되고 단핵세포들이 존재하는 골표면에서 수직으로 배열된 섬유들이 관찰되는데, 이들은 골

기질이 침가됨에 따라 Sharpey섬유가 되는 것으로 추정된다. Kurihara와 Enlow³⁴⁾는 정상적인 치조골의 개조과정에서 관찰되는 치주인대섬유의 부착에 관한 전자현미경적 연구에서 치아의 생리적 이동에 의한 골흡수의 면에서 접착성결합, 연속형결합, 중간형결합의 3가지 부착형태가 관찰된다고 하였다. 이 중에서 접착성결합이 가장 많으며 이는 섬유아세포가 골표면에 기질을 만든 다음 교원원섬유가 기질에 매입되고, 이어서 교원원섬유는 치주인대의 교원섬유와 연결된다고 하였다. 본 연구에서도 골표면에 수직으로 배열된 교원섬유에 인접하고 있는 세포들중에서 조섬유세포와 유사한 세포가 관찰되었으나 이 세포와 조골세포의 미성숙형을 감별하기는 곤란하였다.

골형성 부위에서 과립내형질세망과 Golgi기관이 잘 발달된 세포들이 출현하고 있었으며 유골에는 골표면에 평행인 교원섬유와 수직인 교원섬유가 같이 나타나고 있었다. 아울러 조골세포가 세포돌기를 내면서 골세포로 분화되는 소견도 관찰되었다.

V. 결 론

교정적 치아이동시 압박측 치조골의 골개조과정에 관여하는 세포의 순차적 동태를 광학현미경 및 전자현미경적으로 관찰하기 위하여 채증 220그램 전후의 웅성 백서의 상악제1대구치를 약 15그램의 지속적인 교정력으로 협측이동시켰다. 치아이동 3시간, 6시간, 1일, 2일, 3일, 7일, 14일 경과후 혈관관류법에 의하여 2.5% glutaraldehyde(0.1M sodium cacodylate 완충액)으로 조직을 고정하면서 회생시키고 상기액으로 전교정 한 후, 협설방향으로 절단한 절편을 얻어 toluidine blue로 염색하여 광학현미경으로 관찰하고, 골개조가 진행중인 부분의 초박절편을 얻어 uranyl acetate와 lead citrate로 중염색하여 전자현미경으로 관찰한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 치아이동 3시간부터 압박측에서 파골세포에 의한 골의 흡수가 관찰되었다.
2. 치아이동 2일 후부터 잠식성 골흡수가 관

찰되었으며 7일 후 초자양변성된 치주인대부에서 골흡수, 반전 및 골형성이 동시에 관찰되었다.

3. 골흡수 부위에는 주름변연, 투명대, 사립체, Golgi기관 및 일차용해소체가 발달된 파골세포가 관찰되었고, 파골세포에 인접하여 유리리보솜과 사립체를 많이 함유한 암세포와 과립내형질세망이 발달된 명세포가 관찰되었다.

4. 반전부위에서는 소량의 과립내형질세망을 함유하고 Golgi기관의 발달이 미약한 단핵세포와 골조직에 수직배열하는 교원섬유가 관찰되었다.

5. 골형성부위에서는 과립내형질세망과 Golgi기관이 잘 발달된 조골세포가 관찰되었다.

REFERENCES

1. Schwarz, A.M.: Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement, Am. J. Orthod. 18:331-352, 1932.
2. Oppenheim, A.: A possibility for physiologic orthodontic movement, Am. J. Orthod. and Oral Surg. 30:277-328, 1944.
3. Gottlieb, B.: Some orthodontic problems in histologic illumination, Am. J. Orthod. 32:113-133, 1946.
4. Macapanpan, L.C., Weinman, J.P. and Brodie, A.G.B.: Early tissue change following tooth movement in rats, Angle Orthod. 24:79-95, 1954.
5. Waldo, C.M. and Rothblatt, J.M.: Histologic response to tooth movement in the laboratory rat: procedure and preliminary observation, J. Dent. Res. 33:481-486, 1954.
6. Zaki, A.E. and Van Hyusen, G.: Histology of the periodontium following tooth movement, J. Dent. Res. 42:1373-1379, 1963.
7. Azuma, M.: Study on histologic changes of periodontal membrane incident to experi-

- mental tooth movement, Bull. Tokyo Med. Dent. Univ. 17:149-178, 1970.
8. 유영규, 이인환 : 백서의 실험적 치아이동에 따른 치주조직의 조직학적 연구, 대치교지, 19 : 141-145, 1981.
9. Rygh, P. and Reitan, K.: Ultrastructural changes in the periodontal ligament incident to orthodontic tooth movement, Europ. Orthod. Soc. Trans. 48:393-405, 1972.
10. Rygh, P.: Ultrastructural vascular changes in pressure zones of rat molar periodontium incident to orthodontic movement, Scand. Dent. Res. 80:307-321, 1972.
11. Rygh, P.: Ultrastructural cellular reactions in pressure zones of rat molar periodontium incident to orthodontic movement, Acta Odont. Scand. 30:575-593, 1972.
12. Rygh, P.: Ultrastructural changes in pressure zones of human periodontium incident to orthodontic tooth movement, Acta Odont. Scand. 31:109-122, 1973.
13. Rygh, P.: Periodontal responses to orthodontic forces in "malocclusion and the periodontium, Monograph No. 15, Cranio-facial Growth Series." ed. by McNamara, J.A. and Ribbens, K.A. pp. 17-42, 1983.
14. Kurihara, S.: An electronic microscopic observation of cell found in bone resorption area incident to experimental tooth movement, Bull. Tokyo Med. Dent. Univ. 24: 103-123, 1977.
15. Parfitt, A.M.: The cellular basis of bone remodelling: the quantum concept re-examined in the light of recent advances in the cell biology of bone, Calcif. Tissue Int. 36:537-545, 1984.
16. Frost, H.M.: Tetracycline-based histological analysis of bone remodellings, Calcif. Tissue Res. 3:211-237, 1969.
17. Jarwoski, Z.F.G. (ed): Bone morphometry. proceedings of the First international workshop, Ottawa, University of Ottawa press, 1976.
18. Meunier, P.J. (ed): Bone histomorphometry. proceedings of the Second International Workshop, Paris, Armour Montagu (Distributor), 1977.
19. Roberts, W.E., Goodwin, W.C. and Heiner, S.R.: Cellular response to orthodontic force, Dent. Clin. North Am. 25:3-17, 1981.
20. Miura, F. and Kurihara, S.: Alveolar bone reaction caused by orthodontic stimulus, Dent. Outlook, 61:1231-1242, 1983.
21. Waldo, C.M.: Method for the study of tissue response to tooth movement, J. Dent. Res. 32:690-691, 1953.
22. Reitan, K.: Biomechanical principles and reactions. in "Current orthodontic concept and techniques", ed. by Graber, T.M. and Swain, B.F., Philadelphia, Saunders Co., 1975.
23. Reitan, K. and Kvam, E.: Comparative behavior of human and animal tissue during experimental tooth movement, Angle Orthod. 41:1-14, 1971.
24. 이정훈, 이기수 : 백서 구치의 교정적 치아 이동중 장력측 치주조직의 반응에 관한 전자현미경적 연구, 대치교지, 17 : 234-248, 1987.
25. Bonucci, E.: New knowledge on the origin, function, and fate of osteoclast, Clin. Orthod. Rel. Res. 158:252-269, 1981.
26. Parfitt, A.M.: The physiologic and clinical significance of bone histomorphometric data, in "Bone Histomorphometry", 1983.
27. Hancox, N.M.. On the occurrence in vitro of cells resembling osteoclasts, J. Physiol.

- 105:66-77, 1962.
28. Cormack, D.H.: Bone, in "Ham's Histology", 9th. ed. J.B. Lippincott, Philadelphia, pp. 273-323, 1987.
29. Owen, M.: Histogenesis of bone cells, *Calcif. Tissue Res.* 25:205-207, 1978.
30. Jee, W. S.S.: In "Histology; Cell and Tissue Biology," ed. by Weiss, L., Elsevier science publishing Co. New York, pp. 207-244, 1983.
31. Lucht, U.: Osteoclasts and their relationship to bone as studied by electron microscopy, *Z. Zellforsch.* 135:211-228, 1972.
32. Chambers, T.J.: Phagocytic recognition of bone by macrophages, *Pathology*, 135:1-7, 1981.
33. Rodan, G.A. and Martin, T.J.: Role of osteoblasts in humoral control of bone resorption - A hypothesis, *Calcif. Tissue Int.* 33:349-, 1981.
34. Kurihara, S. and Enlow, D.H.: An electron microscopic study of attachments between periodontal fibers and bone during alveolar remodelling, *Am. J. Orthod.* 77:516-531, 1980.

— ABSTRACT —

AN ELECTRON MICROSCOPIC STUDY ON THE ALVEOLAR
BONE REMODELLING IN PRESSURE ZONES
OF RAT MOLAR PERIODONTIUM ASSOCIATED WITH
ORTHODONTIC TOOTH MOVEMENT

Yo Sun Soun, D.D.S., M.S.D., Ki Soo Lee, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

*Department of Orthodontics, College of Dentistry,
Kyung Hee University.*

The tissue reactions concerned in alveolar bone remodelling at the pressure zones of rat molar periodontium associated with the application of force (15 gm) to the maxillary first molar teeth of the albino rats were studied by the transmission electron microscopy.

Osteoclasts referable to bone resorption were observed thereafter 3 hour survival period and undermining resorption was generated thenceforth 2 day survival period. Bone resorption, reversal zone and new bone formation were simultaneously observed adjacent to the zone of undermining resorption in the 7 day survival period. Osteoclasts with well developed primary lysosome, ruffled border, clear zone, granules and Golgi apparatus were detected at the zone of the bone resorption, and dark and bright cells adjacent to the osteoclasts as well. Mononuclear cells and perpendicularly arranged collagenous fibers were observed in the reversal zone and, on the other hand, osteoblasts with well developed Golgi apparatus and rough endoplasmic reticulum were detected at the zone of bone formation.

{

EXPLANATION OF FIGURES

- Fig. 2.** Buccal periodontal ligament and alveolar bone(B) of maxillary first molar(T) of a control rat without orthodontic force application. Note the scalloped appearance (arrow) of bone surface with a few osteoblast and few osteoclast. Toluidine blue stain. Magnification, X400.
- Fig. 3.** Compressed buccal periodontal ligament and alveolar bone(B) of maxillary first molar(T) treated with 15 gm force for 3 hours. Note the disoriented periodontal fibers and the appearance of a few osteoclasts (arrows). Toluidine blue stain. Magnification, X400.
- Fig. 4.** Compressed buccal periodontal ligament and alveolar bone(B) of maxillary first molar treated with 15 gm force for 6 hours. Note the multinucleated osteoclasts (arrows) on the bone surface. Toluidine blue stain. Magnification, X400.
- Fig. 5.** Alveolar bone, bone marrow space and hyalinized periodontal ligament of maxillary first molar treated with 15 gm force for 2 days. Note the osteoclast (arrow) and a lot of cells in the bone marrow space adjacent to hyalinized periodontal ligament. Toluidine blue stain. Magnification, X400.
- Fig. 6.** Undermining bone resorption and hyalinized periodontal ligament of maxillary first molar treated with 15 gm force for 7 days. Note the undermining bone resorption at bone marrow and around under the hyalinized periodontal ligament. H, hyalinized periodontal ligament. Arrows, osteoclasts. Toluidine blue stain. Magnification, X400.
- Fig. 7.** Undermining bone resorption from the apical side under the hyalinized periodontal ligament(H) of maxillary first molar treated with 15 gm force for 7 days. Note that bone resorption by osteoclast (arrow) in the Howship's lacunae and bone formation (arrowhead) occurred simultaneously. Toluidine blue stain. Magnification, X400.
- Fig. 8.** Undermining bone resorption from the cervical side under the hyalinized periodontal ligament(H) of maxillary first molar treated with 15 gm force for 7 days. Note that bone resorption by osteoclast (arrow) and reversal zone (arrowhead) of bone formation occurs simultaneously in the resorbed area. Toluidine blue stain. Magnification, X400.
- Fig. 9.** Repaired periodontal ligament and bone surface of the rat maxillary first molar treated with 15 gm force for 14 days. Note the new bone formation, reversal line (arrowhead) and still persisting osteoclast (arrow). Toluidine blue stain. Magnification, X400.
- Fig. 10.** Electron microphotograph showing a portion of osteoclast appeared in the undermining resorption area of rat maxillary first molar after 7 day force application. Note two nuclei (N) containing much euchromatin and a lot of mitochondria (arrows). Magnification, X6,000.
- Fig. 11.** Electron microphotograph showing a portion of osteoclast on the bone surface(B) appeared in the undermining resorption area of rat maxillary first molar after 7 day force application. Note the well developed clear zone(CZ), ruffled border(RB), and

cytoplasm contained a lot of primary lysosomes(L), vacuoles(V) and a lot of free ribosomes. Magnification, X9,000.

Fig. 12. Electron microphotograph showing a portion of osteoclast appeared in the undermining resorption area of rat maxillary first molar after 7 day force application. Note the indented large nucleus contained distinct nucleoloneme (arrow), and a lot of Golgi apparatus (G) near the nucleus. Magnification, X15,000.

Fig. 13. Electron microphotograph showing a portion of osteoclast appeared in the undermining resorption area of rat maxillary first molar after 7 day force application. Note that Golgi complex(G) consisted of flattened saccules, vesicles and vacuoles, and that mitochondria showed well-developed cisternae. Magnification, X24,000.

Fig. 14. Electron microphotograph of dark mononuclear cell(DC) near the osteoclast(OC) adjacent to bone(B) in the undermining bone resorption area. Duration, 7 days. Magnification, X6,000.

Fig. 15. Electron microphotograph of bright mononuclear cell(BC) near the osteoclast(OC) adjacent to bone(B) in the undermining bone resorption area. Duration, 7 days. Magnification, X6,000.

Fig. 16. Electron microphotograph of macrophages(M) adjacent new capillary(C) in the area of repair of undermining bone resorption. Duration, 7 days. Magnification, X9,000.

Fig. 17. Electron microphotograph of the reversal zone in the undermining bone resorption area. Note a few mononuclear cells with moderately developed rER in the reversal zone. Duration, 7 days. Magnification, X9,000.

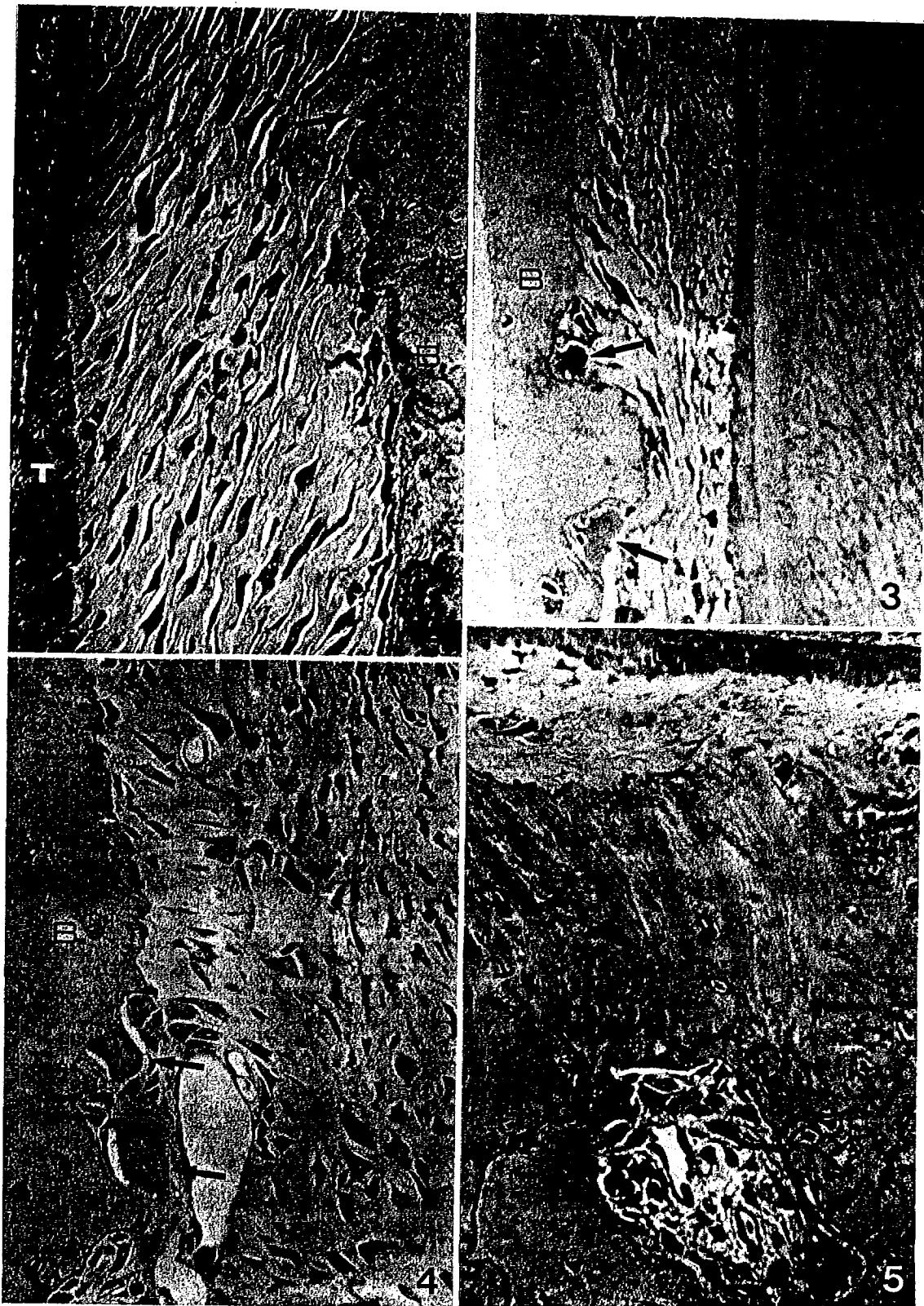
Fig. 18. Electron microphotograph of the reversal zone in the undermining bone resorption area. Note that a part of collagen fibrils(CF) oriented perpendicular to the resorbed bone surface and a part of collagen fibrils detached from the bone surface(B). Mononuclear fibroblast-like cell(F) founded adjacent to the collagen fibers. Duration, 7 days. Magnification, X6,000.

Fig. 19. Electron microphotograph of the reversal zone in the undermining bone resorption area. Note the osteoblast-like cells(O) with well developed rER on the bone surface. Duration, 7 days. Magnification, X9,000.

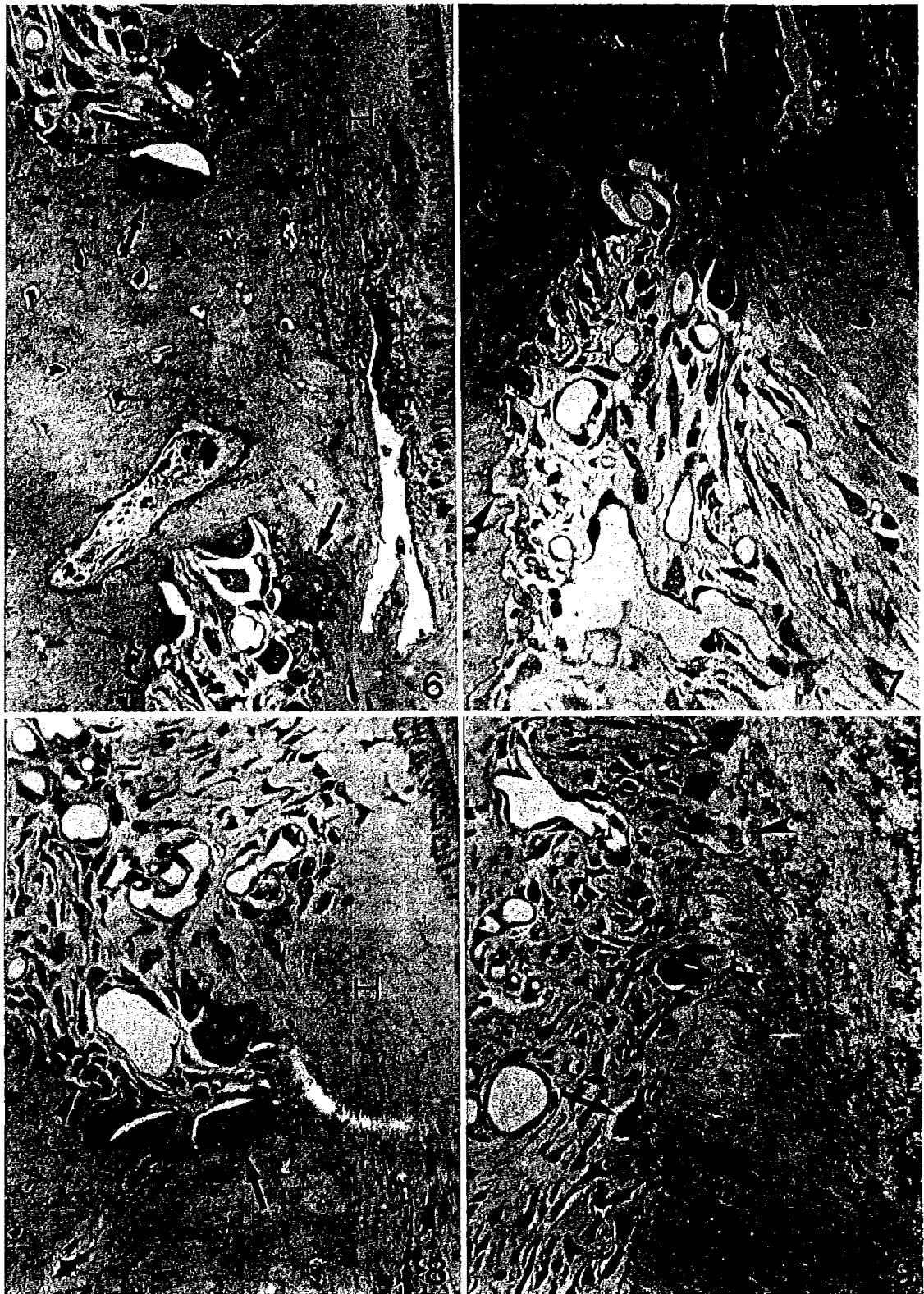
Fig. 20. Electron microphotograph of osteoblast(OB) in the new bone formation area. Note the osteocyte differentiation from the osteoblast. Duration, 14 days. Magnification, X6,000.

Fig. 21. Electron microphotograph of osteoblast in the new bone formation area. Note the osteoblast(OB) with well developed rER and eccentric nucleus adjacent to bone. Duration, 14 days. Magnification, X9,000.

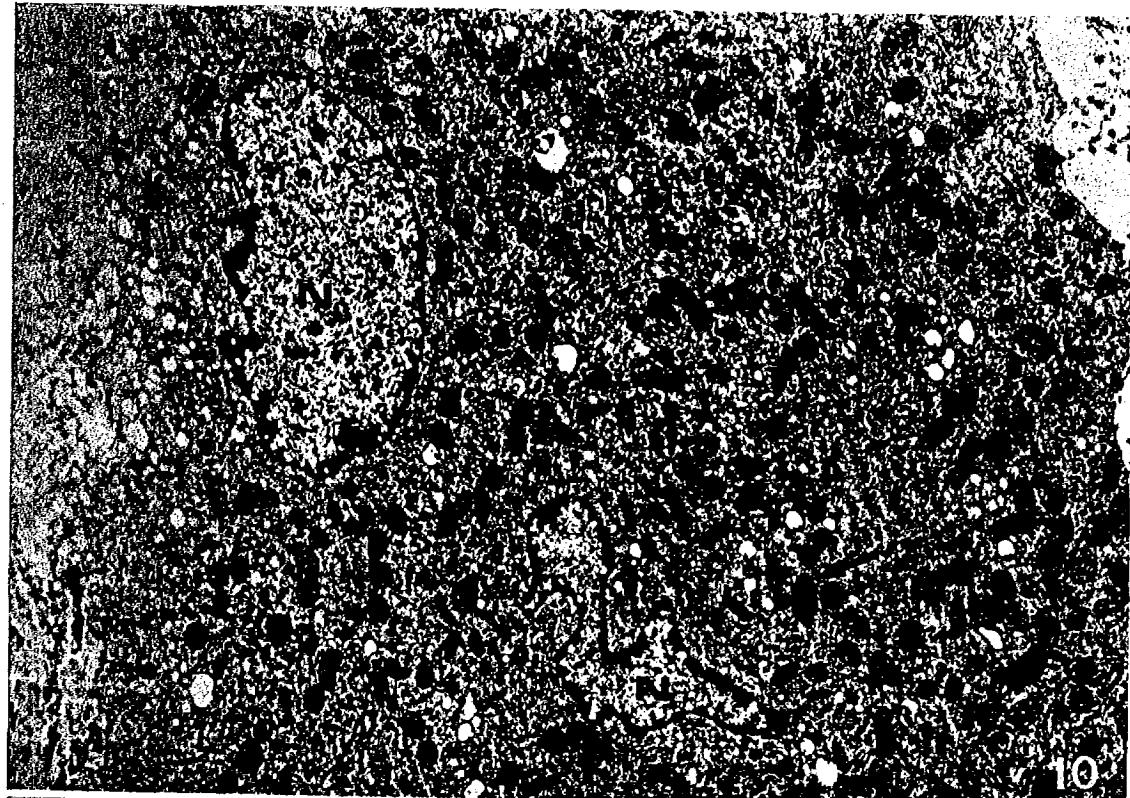
논문 사진부도 ①



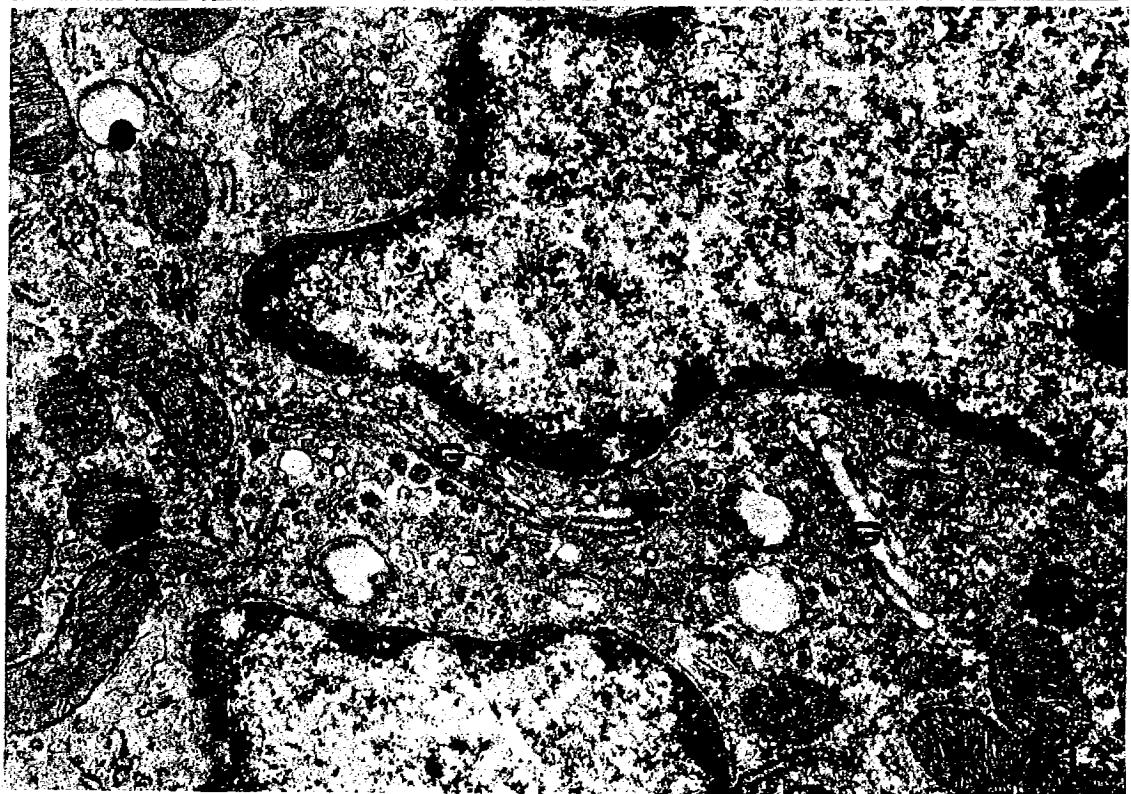
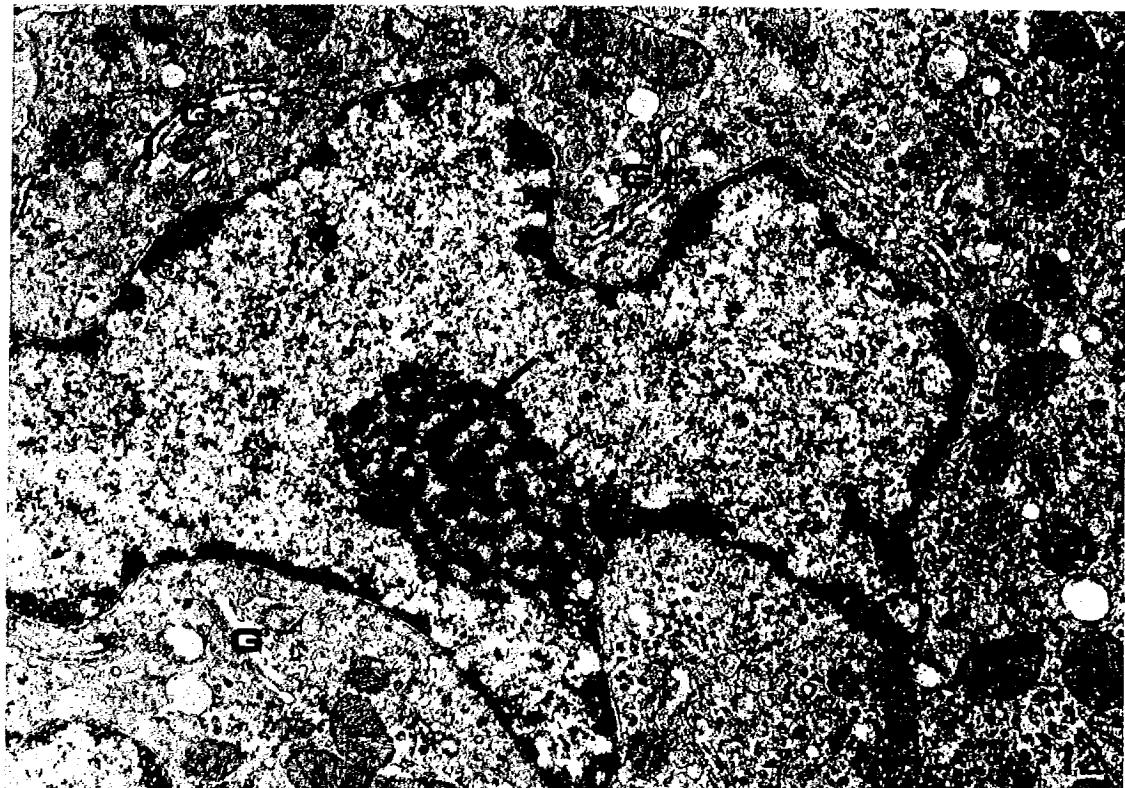
논문 사진부도 ②



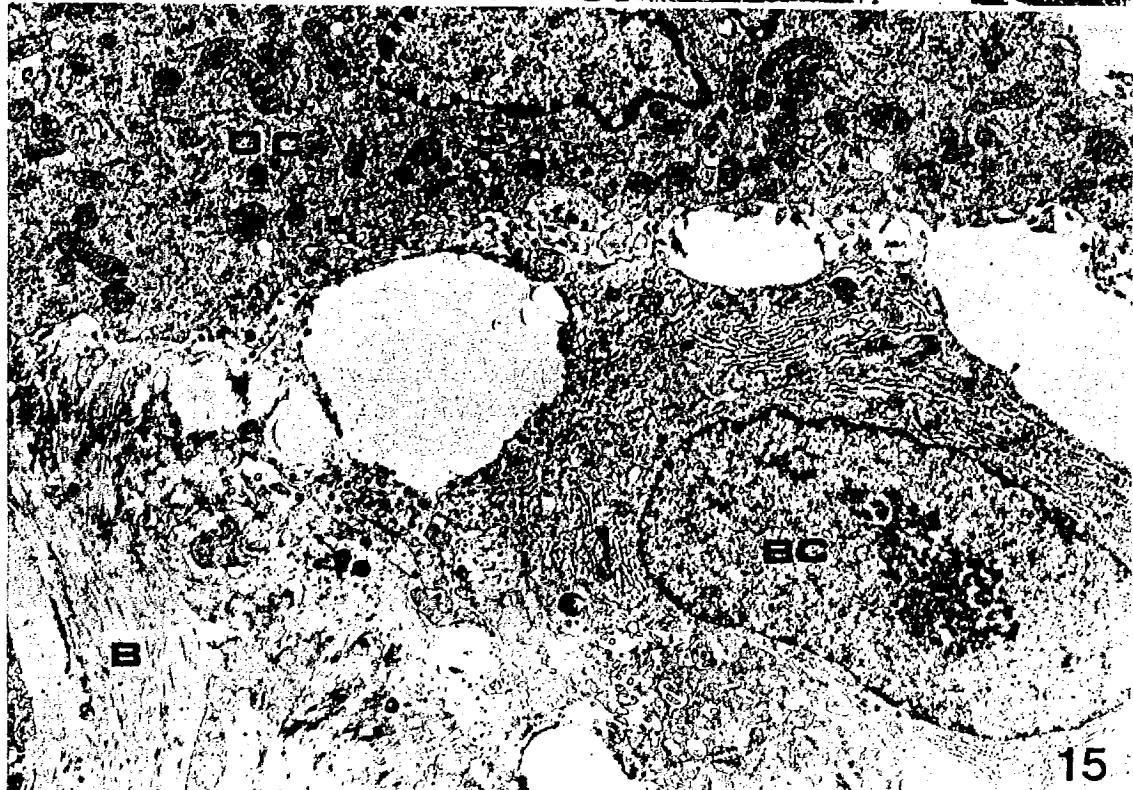
亡云 仙人玉 (3)



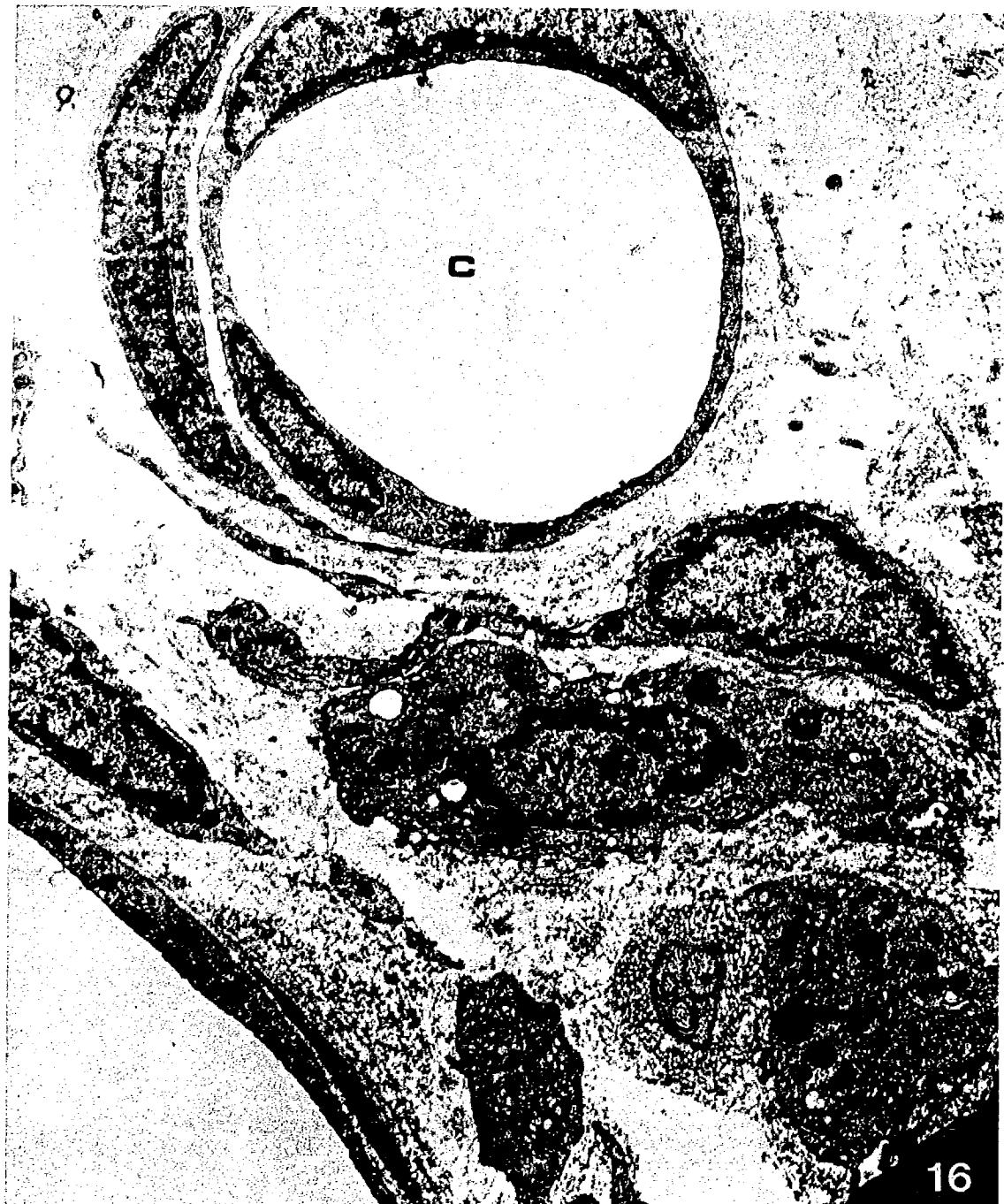
LETTER ④



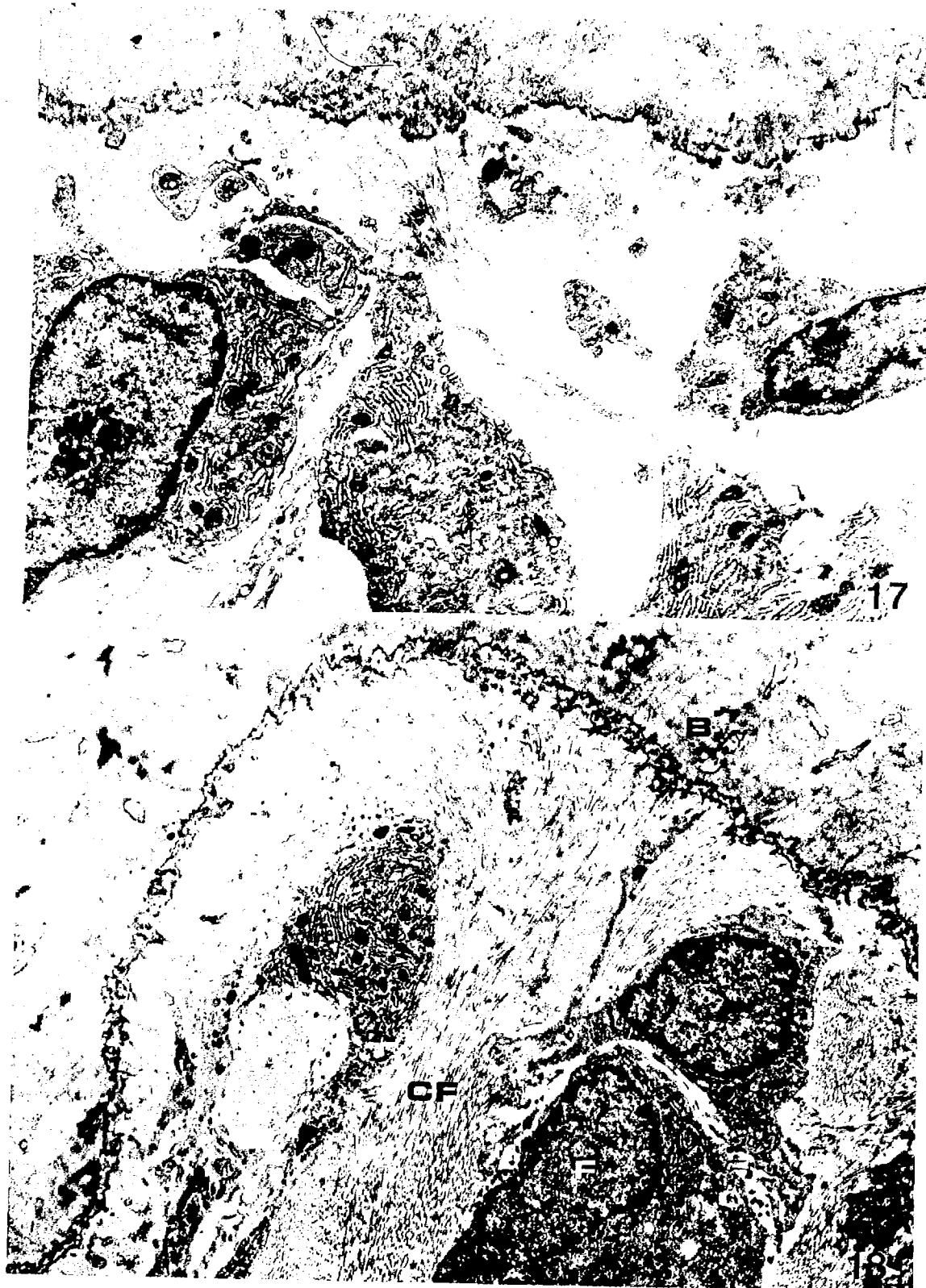
논문 사진부도 ⑤



존눈 사신부노 ⑥



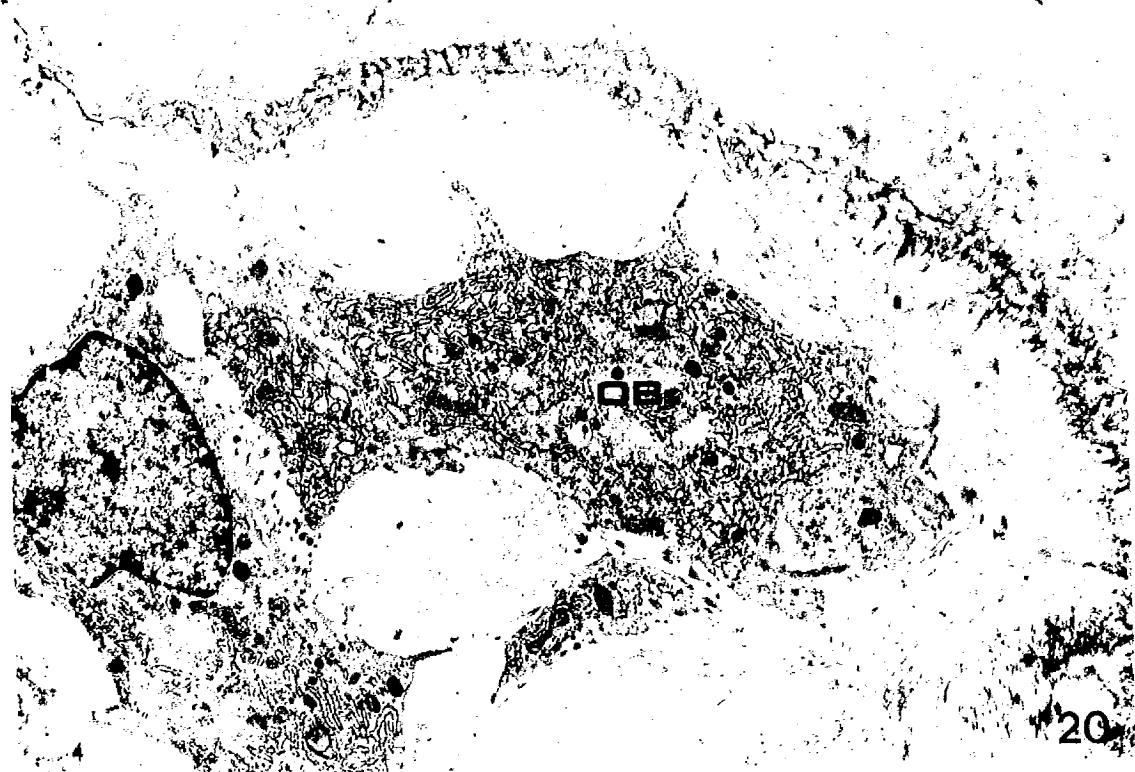
논문 사진부도 ⑦



논문 사진부도 ⑧



19



20

논문 사진부도 ⑨

