

고압산소요법이 재식치아 치주조직치유에 미치는 영향

경희대학교 치과대학 소아치과학 교실

정일영 · 김광철 · 이금호

Abstract

THE EFFECTS OF HYPERBARIC OXYGEN THERAPY ON PERIODONTAL WOUND HEALING OF REPLANTED RAT TOOTH

Ill-Young Chung, Kwang-Chul Kim, Keung-Ho Lee

Dept. of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Kyung Hee University

The present study investigated the effects of hyperbaric oxygen therapy on periodontal wound healing of replanted rat tooth. 80 rats (Sprague-Dawley strain) weighting 130 ± 5 gm were selected and divided into experimental and control group, each group consisting of 40 rats.

Rats were administered 0.4% β -aminopropionitrile for 5 days to achieve gentle tooth extraction. The maxillary first molars were extracted under anesthesia with pentobarbital, washed in sterile distilled water, treated with bacterial collagenase to remove collagen fibers on the root surfaces. After washing in water overnight, the mesial root surface were demineralized by application of citric acid, washed, dried and stored at 4°C .

Immediately after tooth extraction and bleeding control, the treated molars extracted previously from other rats were replanted.

The experimental group was exposed to hyperbaric oxygen at 2.5 atm. for 2 hrs. a day during experimental period.

Eight animals of each group were sacrificed 1, 3, 6, 8, 10 days after reimplantation of teeth by intracardiac perfusion with 4% paraformaldehyde. The replanted molars and surrounding tissues were cut, demineralized, dehydrated and embedded in paraffin. Sections were stained with azan, toluidine blue and hematoxylin.

Some other sections were stained by means of immunostaining achieved by the avidin-biotin complex method.

The results as follows :

1. Experimental group showed fast healing of gingival epithelium.
2. Macrophage and newly formed blood vessels appeared early in the gingival connective tissue of experimental group.
3. Experimental group showed fast, abundant fibroblast proliferation and regularity of collagen fiber.
4. In both group, collagen was distributed along the collagen fiber. The distribution was strong and regular in the experimental group.
5. In the regenerated periodontal ligament of experimental group, fibers showed regular arrangement and invaded root surface fast.

I. 서 론

치아재식술은 외상에 의해 탈구된 치아를 다시 치조와 속에 넣어 재부착시키는 술식으로 치주조직의 치유과정을 거치면서 정상적인 치아지지조직구조를 갖게 한다. 재식치아의 치주조직 치유는 치아뿌리면에 잔존하는 치주인대의 생활력에 의해 크게 영향을 받게 되는데 Söder등¹⁾은 치주인대의 세포배양실험에서 치주인대가 공기중에 방치되면 생활력이 있는 세포가 급격히 감소되어 60분간 방치시 생활력이 거의 없다고 하였고, Andreasen²⁻⁴⁾은 동물치아 재식실험을 통한 연구에서 탈구치아가 공기중에서 노출된 시간이 길수록 치아뿌리흡수는 증가한다고 하였다.

재식치아의 치주조직 치유와 관련된 요소로는 치아뿌리의 성숙도⁵⁻⁷⁾, 재식시까지의 경과시간⁸⁾, 치아 보관방법⁹⁻¹⁰⁾ 및 보관용액¹¹⁻¹⁴⁾, 발치와의 상태와 처치여부^{15,16)}, 치아뿌리면 약제처리 여부¹⁷⁻²⁰⁾, 치아의 고정방법과 기간^{8,21)}, 신경치료 여부^{22,23)} 등이 있다. Andreasen등²⁴⁾은 탈구되어 재식된 영구중절치 400개를 조사하여 치주인대의 치유에 영향을 미치는 요인들을 분석하고 치유와의 상관관계를 보고하면서 가장 중요한 요인은 재식시까지의 경과시간으로 발

거후 즉시 재식하는 경우에 가장 좋은 치유효과를 기대할 수 있다고 하였고, Proye와 Polson²⁵⁾은 재식할 때까지의 경과시간이 짧고 적절히 보관되었다 하더라도 재식후 치주조직세포의 변성을 보일 수 있는데 이는 치아발거시의 조작과정에서 기인하는 것이라고 하였다. 치아 재식후 치유과정과 이에 영향을 미치는 요인에 관한 연구보고는 많으나 1주일 이내의 초기치유과정에 대해 기술한 경우는 드물다²⁶⁻²⁹⁾.

조직이 손상을 받게 되면 일반적으로 지혈단계, 염증단계, 섬유모세포증식단계 및 성숙단계를 거쳐 치유되는데 이때 혈액순환, 영양, 감염, 나이, 호르몬과 산소등이 영향요소로 작용한다³⁰⁾. 창상의 치유과정에서 산소는 에너지생산과 아교질생성증진, 모세혈관재생 및 세포증식등에 필수적이고 세포분화에 관여하므로 창상주위조직의 적절한 산소압유지는 매우 중요하다³¹⁻³⁴⁾. 고압산소는 조직내 산소분압을 높여 섬유모세포증식, 신생혈관증식촉진 및 다형핵백혈구의 탐식능력을 증진시켜 창상치유를 촉진시키며 유리산소기의 발생으로 살균작용 및 독소분비억제 효과를 나타나게 한다³⁵⁻³⁷⁾.

고압산소요법은 정상 대기압보다 높은 압력의 환경에서 고농도의 산소를 이용하여 여러가지 질병의 치료나 임상증세의 개선을 기하는 요

법으로 1956년 화란의 Boerema³⁵⁾가 고압산소의 이론적배경을 설명한 이래 가스괴저치료, 일산화탄소중독등의 치료에 적용하여 좋은 효과를 보기도 하였으나 충분한 실험의 검토 및 임상 시험에도 갖추지 못하였고 막대한 시설비 등으로 인해 한때 퇴조를 겪기도 하였다. 1980년대 와서 창상치유에 대한 고압산소요법의 효과가 실험적 및 임상적으로 입증되면서 사용이 활성화되어 최근에는 화상, 골절, 골이식, 혼합세균에 의한 연조직 감염, 골수염, 방사선상 골괴사 등에 응용되고 있다³⁸⁻⁴²⁾. 국내에서는 당뇨백서의 발치창 및 골절^{43, 44)}, 구강내의 허혈성 연조직 창상⁴⁵⁾, 방사선성 골괴사⁴⁶⁾, 골수염^{47, 48)}의 치유시 고압산소요법의 효과에 관한 연구가 보고되고 있다. 이와 같이 재식치아의 치주조직 치유에 영향을 미치는 다양한 요소들과 고압산소요법의 창상치유 촉진효과가 보고되어 있으나 재식치아에서 고압산소요법이 치주조직 치유에 미치는 영향에 관한 연구는 시행된바 없어 이에 저자는 흰쥐 상악 제1대구치를 발거하고 재식시킨 후 고압산소요법을 시행하여 손상받은 치주조직의 치유과정을 조직학 및 면역조직화학적으로 관찰하고 그 결과를 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

(1) 실험동물

실험동물로는 동일한 조건하에서 사육된 체중 $130 \pm 5\text{gm}$ 의 Sprague Dawley계 흰쥐 80마리를 사용하여 치아재식후 고압산소요법을 시행하는 실험군에 40마리, 재식후 고압산소요법을 시행하지 않는 대조군에 40마리씩을 배정하였다. 각 군은 다시 재식후 1일, 3일, 6일, 8일, 10일 경과군으로 나누어 각각 8마리씩 사용하였다.

(2) 고압산소통 제작

고압산소통은 직경 30cm, 길이 80cm의 원통형으로 제작된 용기로 원통주위는 두께 12mm의 특수 투명 아크릴을 사용하여 내부관찰이 용이하게 하였으며 산소의 유입과 유출을 위해

밸브가 달린 뚜껑을 듀랄루민을 이용하여 특수 고안 제작하였다, 또한 일정한 압력을 유지하면서 100% 산소를 공급하고자 압력계, 압력 조절용 배기변을 부착하였으며 과도한 산소압력에 의한 폭발사고를 미연에 방지하고자 안전압력밸브를 뚜껑주위에 부착하였다.

2. 실험방법

(1) 재식시술

① 치아발거

치아발거가 용이하도록 발거 5일전부터 각 실험동물에 0.4% β -aminopropionitrile을 1일 3회 경구투여한 후 0.15ml의 sodium pentobarbital(32.5mg/ml)로 전신마취하여 상악 제1대구치를 발거하였다.

② 발거치의 처리 및 보관

발거한 치아를 0.1M 인산완충액으로 수세하여 혈병을 제거한 후 Tris buffered saline에 800unit/ml의 농도로 희석시킨 아교분해효소로 37°C에서 4시간 저어주면서 처리하여 치아뿌리 표면의 주위조직 및 치주인대 성분을 제거하였으며 아교분해효소 처리후 0.1M 인산완충액으로 수세하고 건조시킨다음 구연산(pH 1.12)으로 안쪽 뿌리면을 1분간 탈회하고 멸균 증류수로 30분간 수세하여 실온에서 건조시켜 보관하였다.

③ 재식

발거후 다른 쥐에서 미리 발거하여 처리보관된 치아를 즉시 재식시켰으며 치아고정은 시행하지 않았다.

(2) 고압산소요법 시행

재식후 실험군은 고압산소통에 넣고 산소를 공급하면서 서서히 압력을 높여 5분후 2.5기압에 도달시키고 압력밸브를 조절하여 2.5기압을 유지시키면서, 호흡에 의한 배기가스는 공급되는 산소와 함께 배출구로 배출시켰다. 마지막 5분간은 서서히 압력을 낮추어 대기압에 도달시키는 방법으로 1일, 2시간씩 1일, 3일, 6일, 8일 및 10일간 고압산소요법을 시행하였다.

(3) 조직절편 제작

각 실험동물을 에칠 에테르로 흡입 마취시

키고 10% 중성완충 포르말린(pH 7.0)으로 전신관류고정한 후 상악대구치부를 포함한 상악골을 절취하여 같은 용액에 4시간 고정하였다. 그 후 0.1M 인산완충액(pH 7.4)으로 30분간 수세하여 인산완충액으로 희석한 10% EDTA(pH 7.4)로 4°C에서 10일간 탈회하고 일련의 에탄올로 탈수한 후 자이렌을 거쳐 파라핀으로 포매하여 약 5 μ m의 조직절편을 얻었다. 이렇게 얻어진 조직절편의 일부를 azan 염색 및 toluidine blue 염색을 시행하였다.

(4) 면역조직화학염색 및 Mayer's hematoxylin 염색

제1형 아교질의 분포를 보기 위해서 조직절편의 파라핀을 자이렌으로 제거하고 일련의 에탄올과 증류수로 각각 5분씩 함수시켰다. 내재성 과산화효소를 불활성화시키기 위해 메탄올에 희석한 0.3% H₂O₂로 실온에서 30분간 처리하였다. 0.01M 인산완충액으로 10분씩 2회 수세한 후, 비특이적 반응을 방지하기 위해 정상혈청으로 20분간 반응시켰다. 여분의 혈청을 제거해 내고, 조직절편에 일차항체로서 rabbit anti-rat 제1형 아교질 항체(Chemicon International Inc.)를 25°C에서 2시간 반응시켰다. 0.01M 인산완충액으로 5분씩 3회 수세한 후, 이차항체로서 biotinylated goat anti-rabbit IgG를 실온에서 30분 반응시켰다. 0.01M 인산완충액으로 5분씩 2회 수세 후 avidin-biotin conjugate reagent로 실온에서 30분간 작용시켰다. 절편을 0.01M 인산완충액으로 5분간 수세하고, 마지막으로 0.1M Tris-HCL buffer(pH 7.2)에 희석한 0.02% diaminobenzidine tetrahydrochloride와 0.02% H₂O₂를 혼합한 후 적용하여 암조건에서 5분간 반응시켰다. 다음에 흐르는 물에 10분간 수세하고 수용성 봉입제로 봉입하여 광학현미경으로 관찰하였다. 대조염색이 필요한 조직은 Mayer's hematoxylin액으로 3분간 염색하고, NH₃H₂O₂로 처리한 후 봉입하였다. 대조군에서는 일차항체 대신에 인산완충액을 사용하였다.

III. 실험성적

(1) 재식후 1일 소견

대조군에서 잇몸상피는 손상되어 불규칙하게 되어 있고 잇몸고유판의 결합조직은 손상되어 혈병으로 채워져 있었으며 이 부위에서는 다른 부위보다 더 많은 아교질이 분포되었다(Fig. 1).

실험군에서 잇몸상피는 대조군에 비해 두께가 많이 증식되어 있었으며 혈병의 일부는 육아조직으로 대체되어 있었고 각 면에는 염증세포가 출현하였다. 염증세포 사이의 바탕질에는 대조군에 비해 아교질이 더 강하게 분포되었다(Fig. 2).

대조군의 손상된 결합조직은 혈병으로 채워져 있었고 많은 수의 염증세포 침윤상을 보였으며 급성염증시 나타나는 다형핵백혈구들이 관찰되었다(Fig. 3).

실험군의 고유판 결합조직에는 많은 수의 큰포식세포가 관찰되었고 신생혈관의 출현도 보였다(Fig. 4).

(2) 재식후 3일 소견

대조군에서 잇몸상피의 증식을 보였으며 고유판의 결합조직에서는 섬유모세포의 수가 증가되었고 신생아교섬유가 형성되었다. 이 아교섬유의 주행방향으로 아교질이 형성되었다(Fig. 5).

실험군에서 잇몸상피가 대조군보다 더 빨리 증식되었고 고유판의 결합조직에서는 섬유모세포의 증식과 신생아교섬유가 대조군에 비해 강하고 규칙적이었다(Fig. 6).

대조군에서 고유판 결합조직의 세포수가 증가하고 신생아교섬유가 형성되어 규칙성을 보이기 시작하였고 큰포식세포가 관찰되었다(Fig. 7).

실험군에서 고유판 결합조직의 세포수가 대조군에 비해 훨씬 증식되었고 세포사이 바탕질의 섬유들이 대조군에 비해 강하고 특히 모세혈관이 빠르고 왕성하게 증식되었다(Fig. 8).

(3) 재식후 6일 소견

대조군에서 잇몸상피가 뿌리 쪽으로 많이

증식되어 있었고 고유판 결합조직의 섬유가 재생되어 다소 불규칙하게 배열되었다(Fig. 9).

실험군에서 잇몸상피가 뿌리쪽으로 상당히 증식되어 거의 정상상태로 관찰되었고 고유판 결합조직의 섬유가 치아뿌리쪽을 향해 직각방향으로 배열되었다(Fig. 10).

대조군에서는 고유판 결합조직에 많은 세포와 섬유들이 증식되어 있으나 불규칙하게 배열되었다(Fig. 11).

실험군에서 고유판 결합조직의 세포수가 대조군에 비해 더욱 증식되었으며, 아교섬유도 대조군에 비해 더욱 굵고 규칙적으로 배열되었다(Fig. 12).

(4) 재식후 8일 소견

대조군에서 치주인대가 치유되어 치조골과 치아뿌리 사이의 공간을 채웠으며 아교질이 섬유방향대로 분포되었다(Fig. 13).

실험군에서 치주인대가 재생되어 완벽하게 치조골과 치아뿌리 사이의 공간을 채웠으며 아교질의 분포도 대조군에 비해 균일하였다(Fig. 14).

대조군에서 일부 아교섬유가 치아뿌리면에 부착되었지만 그 섬유들은 완전히 성숙되지 못하고 불규칙한 배열을 보였다(Fig. 15).

실험군에서 재생된 치주인대 섬유의 끝이 치아뿌리면에 강하고 규칙적으로 배열되었다(Fig. 16).

(5) 재식후 10일 소견

대조군에서 재생된 치주인대가 치아와 치조골 사이를 완전히 채웠지만 아직 증식된 혈관이나 섬유주행방향이 뚜렷하지 못하고 섬유모세포의 방향성이 불규칙하였다(Fig. 17).

실험군의 치주인대는 섬유모세포의 수가 많고 방향성이 대조군에 비해 규칙적이며 아교섬유가 굵고 강하게 거의 정상으로 재생되었다(Fig. 18).

IV. 총괄 및 고안

재식된 치아는 서로 다른 유형으로 치유되는데 정상적인 치주인대로 치유되거나 치아뿌

리면이 국소적으로 흡수되고 백악질로 채워지는 경우가 있으며 치주인대가 소실되면서 골유착이 일어나는 경우, 염증성 흡수를 야기하는 경우로 나누어 질 수 있다³³⁾.

치아재식과 관련된 다수의 연구들은 발거된 치아 뿌리면 치주인대의 생활력 보존과 재식후 치유과정에 영향을 미칠 수 있는 요인들에 관련된 것으로 모든 요인들 가운데 가장 중요한 것은 재식시까지의 경과시간으로 알려져 있다²⁵⁾.

본 연구에서는 발거된 치아를 그대로 재식할 경우 실험동물 특성상 치유가 빨라 일정기간 치유효과를 비교관찰하는 것이 불가능하므로 다른 쥐에서 미리 발거하여 치아뿌리면 조직과 치주인대 성분을 제거하고 표면처리하여 보관해 둔 치아를 발거 후 즉시 재식시켜 치조골에 남아 있는 치주인대로부터 치아뿌리면으로 조직이 치유되는 과정에서 고압산소의 효과를 관찰하였다. 치아발거 5일전부터 β -aminopropionitrile을 투여하였는데 이는 치주인대 아교질의 장력을 감소시켜 치아발거를 용이하게 하고 치조골의 손상을 최소화하여 일정한 두께로 치주인대가 치조골에 남을 수 있도록 한다고 하였고⁴⁹⁻⁵¹⁾, 잔존하는 치주인대의 변연부를 제외한 대부분의 섬유모세포들이 구조적으로 온전하며 생리적인 기능에 영향을 받지 않아 생활력을 유지하고 증식력을 갖는다고 하였다⁵²⁾.

고압산소요법의 효과는 압력효과, 조직내 산소분압 상승효과와 산소의 약리작용효과에 의해 이루어지는데 압력효과로 고압환경하에서 혈액이나 체액내 발달된 기포의 크기를 줄여서 병변의 진행을 중단시켜 치료를 도와주고 조직분압 상승효과로 고압환경하에서 흡입된 산소는 Henry의 법칙에 따라 혈장내 용해되는 산소량이 증가하여 조직세포의 저산소증을 해소시킨다. 또한 산소의 약리작용으로 혐기성균의 증식 및 독소생성을 저하시켜 가스괴저 치료에 특효를 나타내며 백혈구의 탐식능력을 증진시키고, 세포재생력을 증진시켜 치유과정의 개선, 반흔의 축소등을 가져온다^{37, 53, 54)}.

고압산소요법의 부작용인 산소중독에 대해 Donald^{55, 56)}은 산소에 대한 감수성이 사람에 따

라 다르며 주어진 환경에 따라 같은 개체에서도 서로 다르다고 보고하였으며, 호흡곤란, 폐조직 손상등의 호흡기계통 증상과 불안, 오심, 경련, 뇌세포손상등 중추신경계통의 증상을 나타낸다고 하였다. 즉 사람의 경우 저기압(0.6~2기압)의 산소에 노출된 경우에는 폐 및 기도에 증상이 오며 고압의 산소(3~4기압 이상)에 장시간 노출된 경우에는 중추신경계 증상이 나타난다고 하였다^{32, 44, 57)}. Joanny등⁵⁸⁾은 대뇌피질절편을 배양시켜 화학적으로 분석하여 산소중독과 관련된 것으로 보이는 과산화지질의 형성이 고압산소의 기압이 상승됨에 따라 증가된다고 하였다.

본 연구에서는 Penttinen등³⁶⁾과 박⁴⁵⁾의 연구를 통해 가장 이상적으로 알려진 2.5기압하 2시간씩 매일 적용방식을 사용하여 실험군에서 산소중독이 나타나지 않았다.

재식치아의 초기치유과정에 관하여 Andreasen²⁶⁾은 원숭이 치아를 발거하고 재식시킨 후 즉시 결합조직세포가 증식되어 3~4일 후에는 치주인대 사이공간을 초기 결합조직으로 채우게 되고 1주일 후에는 섬유모세포의 증식과 혈관 증식이 보이고 상피는 법랑백악질 연결부위에 재부착하게 되며 잇몸아교섬유는 대부분 연결되어 있는 반면 골하섬유는 일부분에서만 결합되었고 2주후에는 치주인대의 갈라진 빈 공간이 치유되어 아교섬유가 치조골에서 백악질로 뻗어있는 양상을 보였다고 하였다. Proye와 Polson²⁵⁾은 원숭이 치아를 재식한 결과 1일후 손상받은 치주조직의 세포수가 감소한 양상을 보였으며 3일후 세포들이 재분포하기 시작하여 7일후 뿌리사이중격부위에서 세포재생이 거의 완성되어 치주인대보다 빠른 치유양상을 보였으며 21일후 뿌리사이중격부위는 정상상태를 보였고 치주인대는 세포의 재생과 섬유연속성은 회복되었으나 정상적인 방향성을 갖지 못하였다고 하였다. Nasijeti등²⁷⁾은 치아재식후 즉시 상피세포가 증식하여 3일후 최대로 증식하였고 7일후 법랑백악질 연결부위에 상피가 연결되고 결합조직의 증식이 최고조에 달한다고 하였다. Hurst²⁸⁾는 재식치아의 치주조직에 존재하는 모든 유형의 섬유들의 분포를 정상조직과 비교관찰하였으며 3주후 아교섬유의 재

부착이 완성된다고 하였고 Johansen²⁹⁾은 재식치아 재부착의 초기과정은 신생골이나 백악질의 형성없이 치주인대의 혈관부위에서 직접 유합되는 것이라고 하였으며 Mandel과 Viidik⁵⁹⁾은 손상받은 치주인대의 기계적 성질은 2주후에 손상받지 않은 치주인대의 50~60%를 회복하며 3~4주후에 거의 치유되고 8주후에는 손상받은 경우와 손상받지 않은 경우를 조직학적으로 구별할 수 없다고 하였다. Shannon등⁶⁰⁾은 잇몸에 썩기모양의 절개를 시행하여 창상부위를 만든후 다양한 기압과 농도의 산소가 치유에 미치는 영향을 조사하여 처음 2주 동안은 2.4기압 하에서 가장 결합조직의 치유가 빨랐으며 정상기압하에서는 대조군과 차이가 없다고 하였다. 본 연구에서는 재식 1일후 잇몸상피와 고유판 결합조직의 손상된 양상을 보였고 3일후에는 잇몸상피의 증식과 결합조직에서 세포와 섬유의 증가를 관찰할 수 있었으며 6일후 잇몸상피가 뿌리쪽으로 증식되었고 결합조직에서 섬유들이 재생되어 방향성을 보이기 시작하였다. 원숭이를 이용한 경우 실험방법에 따라 2~3주후 치주인대가 회복되었으나 본 연구에서는 이보다 빠른 8일 이후에 치주인대가 회복되어 8일 소견에서 치아뿌리면과 손상받은 치주인대 사이의 공간이 채워져 있었고 아교섬유들이 치아뿌리면에 부착된 양상을 보였으며 10일후 치주인대에서 혈관과 섬유모세포의 증식이 보이고 섬유들이 방향성을 보였다. 실험군에서는 대조군에 비해 잇몸상피, 신생모세혈관, 섬유모세포의 증식과 아교질 형성이 빨랐고 치주인대에서도 아교질 형성, 섬유의 뿌리면 매일, 섬유의 방향성등이 빠르게 나타났다.

Andreasen과 Andreasen³⁰⁾은 조직이 손상을 받게 되면 포식세포는 24시간후에 나타나 2~4일후에 최대로 증가하여 치유가 끝날때까지 존재하고 박테리아의 탐식뿐 아니라 창상부위의 섬유모세포증식, 아교질형성, 신생혈관형성에 관여하므로 치유과정을 조절한다고 하였다. Mader등⁶¹⁾은 낮은 산소분압 상태하에서의 백혈구는 박테리아 탐식능력이 감소되는 반면 증가된 산소분압은 백혈구의 탐식능력을 증진시킨다고 하였으며 Knighton등⁶²⁾은 흡입된 산

소의 양이 병소 크기에 미치는 영향을 관찰하여 조직의 산소분압이 30mmHg 이상일 때 다형핵백혈구의 박테리아에 대한 탐식효과가 증대되어 병소가 작게 나타났다고 하였다.

본 연구에서는 재식후 1일 대조군의 손상된 결합조직에서 많은 수의 염증세포 침윤상을 보였으며 급성염증시 나타나는 다형핵백혈구들을 관찰할 수 있었다. 실험군에서는 재식후 1일에 큰포식세포가 관찰된 반면 대조군에서는 재식후 3일에 큰포식세포를 관찰할 수 있었다. 이는 백서의 허혈성 연조직 창상치유시 고압산소요법을 시행한 경우 실험 2일째부터 다형핵백혈구가 포식세포로 치환된 반면 고압산소요법을 시행하지 않은 경우 6일째부터 포식세포로 치환되었다는 박⁴⁵⁾의 조건과 유사하였다.

고압산소요법에 의한 신생혈관형성의 효과는 조직의 저산소상태를 정상 생리적 수준으로 회복시켜 세포증식과 모세혈관의 증식이 도모되는데 있으며 아교질이 이러한 신생혈관의 성장을 위한 격자와 지지의 역할을 한다^{40, 54, 63, 64)}.

Knighon등⁶⁵⁾은 혈관형성은 창상치유에 필수적이고 저산소상태인 창상의 중심사강부위가 없어질 때까지 계속되고 조직산소압의 변화는 혈관신생의 주요 자극제로 모세혈관형성 비율과 밀도에 영향을 줄 수 있다고 하였다. Ketchum³⁶⁾은 화상창상의 혈관재생의 미세혈관조영연구에서 고압산소요법 영향하에서 주된 새로운 혈관이 성장된다고 보고하였고 Knighon등⁶⁶⁾은 포식세포는 혈관형성과 조직재생력에 기여하여 저산소상태인 경우 정상산소분압에 도달할 때까지 혈관형성효소를 분비함으로써 창상치유에 있어 혈관형성이 다른 세포형태나 생화학적 상호관계 없이 조직산소분압에 의해 조절된다고 하였다.

본 연구에서는 재식후 1일 실험군에서 대조군보다 신생혈관의 출현이 빨랐으며 재식후 3일 소견에서도 모세혈관의 증식상이 대조군에 비해 빠르고 왕성하였다. 이는 흰쥐를 대상으로 발치창과 하악골하연에 외부창상을 형성하고 고압산소요법을 시행하여 치료초기부터 모세혈관의 고도의 증식상을 보여 치유증진효과가 있었다는 유⁴⁶⁾의 소견과 유사하였다.

창상치유과정에서 동맥산소압이 섬유모세포의 분화와 아교질형성에 미치는 영향에 관해 Niinikoski등³¹⁾은 쥐에서 조직산소압이 20~30 mmHg일때 섬유모세포의 증식이 가장 활발하며 창상의 중심부인 사강의 산소압은 0~3 mmHg인 반면 육아조직 변연부의 산소압은 5~15mmHg로 저산소압을 나타낸다고 하였고 이때 100% 산소의 흡입은 모세혈관에 큰 산소압차를 유발시키며 산소요구량은 아교질 형성 부보다 섬유모세포의 증식이 왕성한 부위에서 더욱 크다고 하였다.

이중 섬유모세포의 증식을 도와주는 기전은 난치성 창상의 조직에서는 산소분압이 5~15 mmHg로 저산소증을 보이므로 고압산소요법을 통해 기존 혈행을 조장하여 30~40mmHg 정도로 상승시켜 섬유모세포의 활성을 자극하므로써 섬유모세포의 아교질합성을 촉진시키는 한편, 혈행이 없는 조직속으로 모세혈관의 신생을 위한 아교질의 기질이 발육되도록 한다는 것이다³³⁾.

본 연구에서 대조군은 재식후 3일 소견에서 잇몸고유판 결합조직의 섬유모세포 수가 증가되고 신생아교섬유가 형성되었으며, 6일 소견에서 섬유들은 방향성을 보였다. 실험군은 대조군보다 세포의 증식이 빠르고 섬유들이 강하게 나타났으며 8일, 10일후 재생된 치주인대에서도 실험군의 섬유모세포증식과 섬유의 방향성이 빠르게 나타났다. 이와 같은 섬유모세포의 증식은 하악골수염, 허혈성 연조직 창상, 당뇨백서의 하악골 골절 및 발치창 치유시 고압산소요법을 시행한 경우에서도 관찰할 수 있었다^{43-45, 47)}.

고압산소요법에 의한 아교질합성 효과에 관해서는 Kao등⁶⁸⁾은 육아조직형성 과정중에서 아교질합성이 대기중의 산소농도가 95Vol%까지 상승될 때 가속화됨을 관찰하였고, Chvapil등⁶⁹⁾은 병아리의 배자에서 아교성 및 비아교성 단백질의 합성이 산소증가가 20Vol%일때 촉진되기 시작하여 60Vol%까지 증가되고 더 높은 산소농도에서는 합성과 감성이 같은 비율로 일어나며 창상주위의 산소농도가 증가함에 따라 아교질의 성숙과 결합이 증가된다고 하

였다. Stephens와 Hunt³⁴⁾는 창상장력이 아교 질형성 및 축적과 관련이 있으므로 창상유발 후 서로 다른 농도의 산소를 흡입시킨 결과 산소농도가 증가할수록 장력이 증가한다고 하였다.

Basset과 Herrmann⁷⁰⁾은 산소공급의 변화는 뼈에서 유래된 세포의 배양에서 분화된 결합 조직의 형태를 결정하는데 35Vol%의 산소농도에서 아교섬유의 형성이 유리하다고 하였고 Shaw와 Basset⁷¹⁾은 골형성과 연골형성시 다양한 산소농도의 효과에 대해 조사한 결과 최대 골형성은 산소농도가 35Vol% 일때 얻어졌으며 골형성과 아교섬유의 형성은 산소농도가 5Vol% 까지 낮아짐에 따라 지연되었고 20-65Vol%의 중간농도에서 다수의 굵은 아교섬유가 생성되었다고 하였다. Hunt와 Pai⁷²⁾는 창상의 사강을 채우는데 필수적인 신생조직은 신생혈행공급이 있어야 생성되는데 이 혈행공급은 아교질이 도와주지 않는 한 성장할 수 없고 섬유모세포들과 아교질은 항상 신생모세혈관형성에 선행되어 형성된다고 하였고 고압산소요법시 모세혈관 산소압의 증가는 이들 세포가 더 멀리 이동하게 함으로써 혈액공급을 조기에 가능케하여 창상의 빠른 치유를 가져온다고 하였다.

결합조직의 주요 구성성분인 아교질 합성시 분자산소와 프롤린과 리신의 결합은 필수적이며 두 아미노산은 성장하는 아교질 사슬에 결합되고 산소가 추가될 때 수산화되는데 프롤린과 리신의 특정부분이 수산화되지 않으면 프로콜라겐이 형성되지 않아 아교질을 만들 수 없다고 하였다^{32, 33, 67)}.

본 연구에서는 재식후 1일 대조군 소견에서 결합조직의 재식된 부위는 혈병으로 채워져 있었고 이 부위에서 다른 부위보다 더 많은 아교질이 분포되고 실험군에서는 염증세포사이의 바탕질에서 대조군에 비해 더 강하게 아교질이 분포되었다.

재식후 8일 치유된 치주인대에서도 아교섬유의 방향을 따라 아교질의 본포를 관찰할 수 있었으며 실험군에서는 치주인대재생이 대조군에 비해 더욱 성숙되고 아교질의 본포도 균일

하게 나타났다.

이상을 종합해 보면 치아재식후 고압산소요법을 시행하므로 상피증식, 섬유모세포의 증식, 모세혈관 형성, 아교질형성이 촉진되어 창상치유에 효과가 있는 것으로 관찰되었으나 사람에서 적용가능한 것인가를 증명키 위해서는 실험동물의 선택과 이에 따른 산소압의 변화등 다양한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

치아재식후 치유과정에서 고압산소요법의 효과를 규명하기 위하여 동일한 조건에서 사육된 체중 $130 \pm 5\text{gm}$ 의 Sprague Dawley계 흰쥐(실험군 40마리, 대조군 40마리)를 사용하여 발치가 용이하도록 0.4% β -aminopropionitrile을 5일간 경구투여하고 마취하에서 상악제1대구치를 발거한 후 치아뿌리면의 치주인대를 아교분해효소로 제거하고 구연산 처리하여 보관하였으며 발거후 즉시 다른 쥐에서 미리 발거하여 처리보관된 치아를 재식시키고 치아고정은 시행하지 않았다. 재식후 실험군은 고압산소요법을 시행하고 대조군과 함께 1일, 3일, 6일, 8일 및 10일에 각각 동물을 희생시켜 azan, toluidine blue, Mayer's hematoxylin 및 면역조직화학염색한 후 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 잇몸상피는 대조군에 비해 실험군에서 빨리 치유되었다.
2. 잇몸고유판 결합조직에서 큰포식세포의 출현과 신생모세혈관의 증식이 대조군에 비해 실험군에서 빨랐다.
3. 잇몸고유판의 섬유모세포증식은 실험군이 대조군에 비해 빠르고 왕성하였고 아교섬유의 방향성도 실험군에서 더 빠르게 나타났다.
4. 아교질은 실험군이나 대조군에서 모두 아교섬유의 주행방향을 따라 형성되었으며 대조군보다 실험군에서 강하고 규칙적이었다.
5. 치주인대의 섬유재생은 실험군에서 보다

규칙적이었고 섬유의 치아뿌리면 매입은 대조군에 비해 빨랐다.

REFERENCES

1. Söder, P. O., Otteskog, P., Andreasen, J. O. and Modeer, T. : Effect of drying on viability of periodontal membrane. *Scand. J. Dent. Res.*, 85 : 164~168, 1977.
2. Andreasen, J. O. : Periodontal healing after replantation and autotransplantation of incisors in monkeys. *Int. J. Oral Surg.*, 10 : 54~61, 1981.
3. Andreasen, J. O. : Interrelation between alveolar bone and periodontal ligament repair after replantation of mature permanent incisors in monkeys. *J. Periodont. Res.*, 16 : 228~235, 1981.
4. Andreasen, J. O. : Effect of extra-alveolar period and storage media upon periodontal and pulpal healing after replantation of mature permanent incisors in monkeys. *Int. J. Oral Surg.*, 10 : 43~54, 1981.
5. Kristerson, L. and Andreasen, J. O. : Influence of root development on periodontal and pulpal healing after replantation of incisor in monkeys. *Int. J. Oral Surg.*, 13 : 313~323, 1984.
6. Schwartz, O., Bergmann, P. and klausen, B. : Autotransplantation of human teeth. a life table analysis of prognostic factors. *Int. J. Oral Surg.*, 14 : 245~258, 1985.
7. Schwartz, O., Bergmann, P. and klausen, B. : Resorption of autotransplanted human teeth : a retrospective study of 291 transplantation over a period of 25 years. *Int. Endo. J.*, 18 : 119~131, 1985.
8. Andreasen, J. O. : The effect of splinting upon periodontal healing after replantation of permanent incisor in monkeys. *Acta Odontol. Scand.*, 33 : 313~323, 1975.
9. Blomlöf, L., Andersson, L., Lindskog, S., Hedström, K. G. and Hammarström, L. : Periodontal healing of replanted monkey teeth prevented from drying. *Acta Odontol. Scand.*, 41 : 117~123, 1983.
10. 김광철, 이궁호 : 완전탈구된 치아의 보관 방법에 따른 재식후 치주인대회복과 섬유아세포의 변화에 관한 연구. *대한소아치과학회지*, 16 : 36~56, 1989.
11. Lindskog, S. and Blomlöf, L. : Influence of osmolality and composition of some storage media on human periodontal ligament cells. *Acta Odontol. Scand.*, 40 : 435~441, 1982.
12. 현원섭, 김광철, 이궁호 : 치주인대세포의 보관방법에 따른 생활력에 관한 연구. *대한소아치과학회지*, 21 : 193~208, 1994.
13. Blomlöf, L., Lindskog, S., Andersson, L., Hedström, K. G. and Hammarström, L. : Storage of experimentally avulsed teeth in milk prior to replantation. *J. Dent. Res.*, 62 : 912~916, 1983.
14. Lindskog, S., Blomlöf, L. and Hammarström, L. : Mitoses and microorganisms in the periodontal membrane after storage in milk or saliva. *Scand. J. Dent. Res.*, 91 : 465~472, 1983.
15. Andreasen, J. O. : The effect of removal of the coagulum in the alveolus before replantation upon periodontal and pulpal healing of mature permanent incisors in monkeys. *Int. J. Oral Surg.*, 9 : 458~461, 1980.
16. Morris, M. L., Moreinis, A., Patel, R. and Prestup, A. : Factors affecting healing after experimentally delayed tooth transplantation. *J. Endo.*, 7 : 80~84, 1981.
17. 남순현, 최영철, 이궁호 : 완전탈구된 치아의 재식전 치근면 약제처리에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 18 : 20~43, 1991.
18. Barbarkow, F. H., Cleaton-Jones, P. E., Austin, J. C. and Vieira, E. : Healing of

- replanted teeth following topical treatment with fluoride solutions and systemic admission of thyrocalcitonin : a histometric analysis. *J. Endo.*, 7 : 302~308, 1981.
19. Nevins, A. T., Laportd, R. F., Borden, B. G. and Lorenzo, P. : Replantation of enzymatically treated teeth in monkeys. *Oral Surg.*, 50 : 277~281, 1980.
 20. Klings, B., Nilveus, R. and Selvig, K. A. : The effect of citric acid on repair after delayed tooth replantation in dogs. *Acta Odontol. Scand.*, 42 : 351~359, 1984.
 21. Kristerson, L. and Andreasen, J. O. : The effect of splinting upon periodontal and pulpal healing after autotransplantation of mature and immature permanent incisors in monkeys. *Int. J. Oral Surg.*, 12 : 239~249, 1983.
 22. Rothschild, D. L., Goodman, A. A. and Blakey, K. R. : A histologic study of replanted and transplanted endodontically and nonendodontically treated teeth in dogs. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 28 : 871~876, 1969.
 23. Knight, M. K., Gans, B. J. and Calandra, J. C. : The effect of root canal therapy on replanted teeth of dogs : a gross, roentgenographic, and histologic study. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 18 : 227~242, 1964.
 24. Andreasen, J. O., Borum, M. K., Jacobsen, H. L. and Andreasen, F. M. : Replantation of 400 avulsed permanent incisors. 4. Factors related to periodontal ligament healing. *Endod. Dent. Traumatol.*, 11 : 76~89, 1995.
 25. Proye, M. P. and Polson, A. M. : Repair in different zones of the periodontium after tooth reimplantation. *J. Periodontol.*, 53 : 379~389, 1982.
 26. Andreasen, J. O. : A time-related study of root resorption activity after replantation of mature permanent incisors in monkeys. *Swed. Dent. J.*, 4 : 101~110, 1980.
 27. Nasjleti, C. E., Caffess, R. G., Castell, W. A. and Hoke, J. A. : Healing after tooth reimplantation in monkeys. A radioautographic study. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 39 : 361~375, 1975.
 28. Hurst, R. V. V. : Regeneration of periodontal and transseptal fibers after autografts in rhesus monkeys : a qualitative approach. *J. Dent. Res.*, 51 : 1183~1192, 1972.
 29. Johansen, J. R. : Reimplantation of mandibular incisors in the guinea pig : a histologic and autoradiographic study. *Acta Odontol. Scand.*, 28 : 633~660, 1970.
 30. Andreasen, J. O. and Andreasen, F. M. : Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth. Munksgaard, pp. 13~62, 1994.
 31. Niinikoski, J., Hunt, T. K. and Dunphy, J. E. : Oxygen supply in healing tissue. *Am. J. Surg.*, 123 : 247~252, 1972.
 32. Niinikoski, J. : Effect of oxygen supply on wound healing and formation of experimental granulation tissue. *Acta Physiol. Scand.*, 334 : 1~72, 1969.
 33. Hunt, T. K., Inderfeldt, B. and Goldstick, T. K. : Oxygen and healing. *Am. J. Surg.*, 118 : 521~525, 1969.
 34. Stephens, F. O. and Hunt, T. K. : Effects of changes in inspired oxygen and carbon dioxide tensions on wound tensile strength. *Ann. Surg.*, 173 : 515~519, 1971.
 35. Boerema, I. : Life without blood. *J. Cardiovasc. Surg.*, 1 : 133~146, 1960.
 36. Ketchum, F. A. : Angiographic studies of the effect of hyperbaric oxygen on burn wound revascularization. Proceedings of the forth international congress on hyperbaric medicine. The williams wilkins Co., pp. 383~394. 1970.
 37. 윤덕로 : 고압산소요법. 신광출판사, pp.

- 15~27, 1981.
38. Penttinen, R., Niinikoski, J. and Kulonen, E. : Hyperbaric oxygenation and fracture healing. *Acta Chir. Scand.*, 138 : 39~44, 1972.
 39. Marx, R. E. and Ames, J. R. : The use of hyperbaric oxygen therapy in bony reconstruction of the irradiated and tissue deficient patient. *J. Oral Maxillofac. Surg.*, 40 : 412~420, 1982.
 40. Bornside, G. H. : Bactericidal effect of hyperbaric oxygen determined by direct exposure. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 130 : 1165~1167, 1969.
 41. Hudson, J. W. : Osteomyelitis of the jaw : A 50-year persepective. *J. Oral Maxillofac. Surg.*, 51 : 1294~1301, 1993.
 42. Mansfield, M. J. : Hyperbaric oxygen as an adjuvant in the treatment of osteoradionecrosis of mandible. *J. Oral Surg.*, 39 : 585~589, 1981.
 43. 전동호 : 당뇨백서 발치창 치유시 고압산소 요법이 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한악안면성형재건외과 학회지*, 12 : 14~26, 1990.
 44. 상재우 : 고압산소요법이 당뇨백서 하악골 골절 치유에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한악안면성형재건외과 학회지*, 12 : 1~13, 1990.
 45. 박창준 : 고압산소요법이 백서 구강내외 허혈성 연조직 창상치유에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한악안면성형재건외과 학회지*, 11 : 153~167, 1989.
 46. 유재하 : 백서 방사선상 하악골괴사 발생과 고압산소요법이 치유에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한악안면성형재건외과 학회지*, 16 : 85~100, 1990.
 47. 김태인 : 고압산소요법이 백서 하악골 골수염의 치유에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한악안면성형재건외과 학회지*, 17 : 110~121, 1991.
 48. 한인수 : 백서 하악골 골수염의 감염세균에 대한 고압산소요법의 억제효과에 관한 연구. *대한악안면성형재건외과 학회지*, 18 : 27~43, 1992.
 49. Lin, W. L., Christopher, A. G. and Cho, M. I. : Differentiation of periodontal ligament fibroblast into osteoblasts during socket healing after tooth extraction in the rat. *Anat. Rec.*, 240 : 492~506, 1994.
 50. Bornstein, P. : The cross-linking of collagen and elastin and its inhibition in osteolathyrisms. *Am. J. Med.*, 49 : 429~432, 1970.
 51. Fry, P. M., Harkness, M. L., Harkness R. D. and Nightinggale, M. : Mechanical properties of tissues of lathyritic animals. *J. Physiol.*, 164 : 77~89, 1962.
 52. Cho, M. I. and Garant, P. R. : The effect of beta-aminopropionitrile on the periodontal ligament. I. Ultrastructure of fibroblasts and matrix. *J. Periodont. Res.*, 19 : 247~260, 1984.
 53. Wallyn, R. J., Gumbiner, S. H., Goldfein, S. and Pascale, L. R. : The treatment of anaerobic infections with hyperbaric oxygen. *Surg. Clin. Am.*, 44 : 107~112, 1964.
 54. Davis, J. C. : *Hyperbaric oxygen therapy*, Undersea Medical Society, Inc. Bethesda, Maryland, pp. 3~122, 1977.
 55. Donald, K. W. : Oxygen poisoning in man I. *Brit. Med. J.*, 1 : 667~672, 1947.
 56. Donald, K. W. : Oxygen poisoning in man II. *Brit. Med. J.*, 1 : 712~717, 1947.
 57. Foster, J. H. : Hyperbaric oxygen therapy : contraindications and complications. *J. Oral Maxillofac. Surg.*, 50 : 1081~1086, 1992.
 58. Joanny, P., Corriol, J. and Brue, F. : Hyperbaric oxygenation : effects on metabolism and ionic movement in cerebral cortex slices. *Science*, 167 : 1508~1509, 1970.
 59. Mandel, U. and Viidik, A. : Effect of splin-

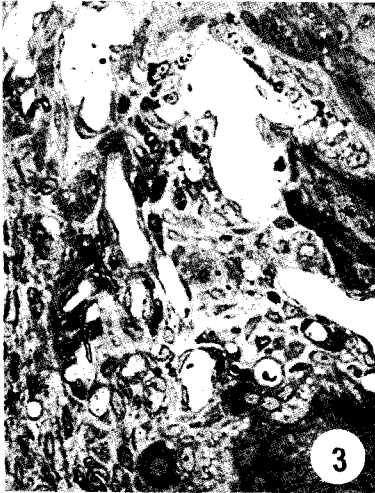
- ting on the mechanical and histological properties of the healing periodontal ligament after experimental extrusive luxation in the vervet monkey. *Arch. Oral Biol.*, 34 : 209~217, 1989.
60. Shannon, M. D., Hallmon, W. W., Mills, M. P. and Newell, D. H. : Periodontal Wound healing responses to varying oxygen concentrations and atmospheric pressures. *J. Clin. Periodontol.*, 15 : 222~226, 1988.
 61. Mader, J. T., Brown, G. L., Guckian, J. L., Wells, C. M. and Reinartz, J. A. : A mechanism for the amelioration by hyperbaric oxygen of experimental staphylococcal osteomyelitis in rabbits. *J. Infect. Dis.*, 142 : 915~922, 1980.
 62. Knighton, D. R., Halliday, B. and Hunt, T. K. : Oxygen as an antibiotic : the effect of inspired oxygen on infection. *Arch. Surg.*, 119 : 199~204, 1984.
 63. Remensnyder, J. P. and Majno, G. : Oxygen gradients in healing wounds. *Am. J. Pathol.*, 52 : 301~323, 1968.
 64. Niinikoski, J. and Hunt, T. K. : Measurement of wound oxygen with implanted silastic tube. *Surg.*, 71 : 22~26, 1972.
 65. Knighton, D. R., Silver, I. A. and Hunt, T. K. : Regulation of wound healing angiogenesis : effect of oxygen gradients and inspired oxygen concentration. *Surg.*, 90 : 262~270, 1981.
 66. Knighton, D. R., Hunt, T. K., Scheuenstuhl, H., Halliday, B. T., Werb, Z. and Banda, M. J. : Oxygen tension regulates the expression of angiogenesis factor by macrophages. *Science*, 221 : 1283~1285, 1983.
 67. Udenfriend, S. : Formation of hydroxyproline in collagen. *Science*, 152 : 1335~1340, 1966.
 68. Kao, K. Y. T., Hitt, W. E., Dawson, R. L. and McGavack, T. M. : Connective tissue VIII. factors affecting collagen synthesis by sponge biopsy connective tissue. *Proc. Soc. Exp. Biol.*, 113 : 762~766, 1963.
 69. Chvapil, M., Hurych, J. and Ehrlichova, E. : The influence of various oxygen tensions upon proline hydroxylation and the metabolism of collagenous and noncollagenous proteins in skin slices. *Hoppe-Seyler's I. Physiol. Chem.*, 349 : 211~217, 1968.
 70. Bassett, C. A. L. and Herrmann, I. : Influence of oxygen concentration and mechanical factors on differentiation of connective tissues in vitro. *Nature*, 190 : 460~461, 1961.
 71. Shaw, J. L. and Bassett C. A. L. : The effects of varying oxygen concentrations on osteogenesis and embryonic cartilage in vitro. *J. Bone and Joint Surg.*, 49 : 73~80, 1967.
 72. Hunt, T. K. and Pai, M. P. : Effect of varying ambient oxygen tension on wound metabolism and collagen synthesis. *Surg. Gynecol. Obstet.*, 135 : 561~567, 1972.

EXPLANATION OF FIGURES

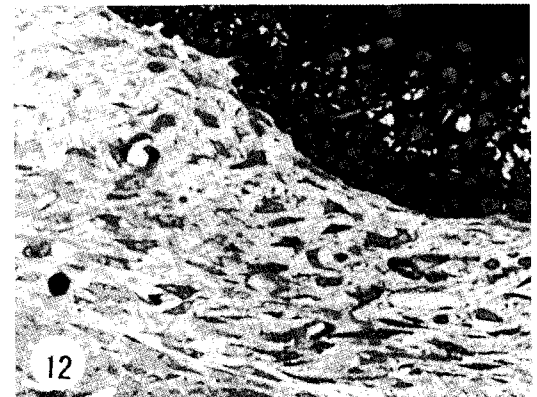
- Fig. 1. Gingival epithelium is severed irregularly.
Connective tissue is filled with blood clot.
Around the blood clot, Intense distribution of collagen is observed.
(One-day control specimen, $\times 100$)
- Fig. 2. A part of blood clot is replaced with granulation tissue.
Collagen is distributed intensively in the lamina propria.
(One-day experimental specimen, $\times 100$)
- Fig. 3. Inflammatory cells and polymorphonuclear leukocytes are found in the connective tissue.
(One-day control specimen, $\times 200$)
- Fig. 4. A large number of macrophage and newly formed capillaries are found in the connective tissue.
(One-day experimental specimen, $\times 200$)
- Fig. 5. The number of fibroblast increase.
Collagen is distributed along the newly formed collagen fiber.
(Three-day control specimen, $\times 100$)
- Fig. 6. Gingival epithelium continue to proliferate.
Fibroblasts and collagen fibers show regular and intense distribution.
(Three-day experimental specimen, $\times 100$)
- Fig. 7. Fibroblasts start to increase in number.
Collagenous fibers show regularity.
Macrophage is observed.
(Three-day control specimen, $\times 200$)
- Fig. 8. Proliferation of cells and capillaries is more prominent.
(Three-day experimental specimen, $\times 200$)
- Fig. 9. Gingival epithelium proliferates close to the root surface and shows fiber arranged irregularly.
(Six-day control specimen, $\times 100$)
- Fig. 10. Gingival epithelium shows almost normal condition.
Fibers are arranged perpendicular to the root surface.
(Six-day experimental specimen, $\times 100$)
- Fig. 11. Cells and fibers proliferate in the connective tissue but do not show regularity.
(Six-day control specimen, $\times 200$)
- Fig. 12. The number of cell increase and large, regular collagen fibers are observed.
(Six-day experimental specimen, $\times 200$)
- Fig. 13. The space between alveolar bone and root is filled with periodontal ligament.
Collagen is distributed along the collagen fiber.
(Eight-day control specimen, $\times 100$)

- Fig. 14. Regeneration of periodontal ligament is almost normal.
Distribution of collagen is uniform.
(Eight-day experimental specimen, $\times 100$)
- Fig. 15. Collagen fibers attached to root surface are irregular and immature.
(Eight-day control specimen, $\times 200$)
- Fig. 16. Collagen fibers are attached to the root surface firmly and regularly.
(Eight-day experimental specimen, $\times 200$)
- Fig. 17. The space is filled with periodontal ligament, but proliferation of capillaries and direction of fibroblast is not obvious.
(Ten-day control specimen, $\times 200$)
- Fig. 18. Periodontal ligament is regenerated with regular collagen fiber and fibroblast.
(Ten-day experimental specimen, $\times 200$)

논문사진부도 ①



논문사진부도 ②



논문사진부도 ③

