

## 수축력과 신장력을 병용한 골신장술에서의 다양한 힘의 비와 부여시기에 따른 신연골 반응

김옥규 · 신상훈 · 정인교 · 김철훈\* · 허 준\* · 윤 일\*\*

부산대학교 치과대학 구강악안면외과학교실, \*동아대학교 의과대학 구강악안면외과학교실

\*\*부산대학교 치과대학 구강생물공학연구소

### Abstract

#### THE REACTION OF BONE REGENERATE TO THE VARIOUS FORCE RATIO AND PERIODS ON DISTRACTION OSTEOGENESIS WITH COMBINED DISTRACTION FORCE AND COMPRESSION FORCE

Uk-Kyu Kim, Sang-Hun Shin, In-Kyo Chung, Cheol-Hun Kim\*, Jun Huo\*, Il-Yun\*\*

*Department of Oral and Maxillofacial Surgery, College of Dentistry, Pusan National University,*

*\*Dong-A University Medical School, \*\*Institute of Oral Biotechnology, Pusan National University*

The purpose of this study was to identify the effectiveness of the modified distraction osteogenesis (DO) method with the concept of overdistracted and compression stimulation which have been previously suggested by the authors in 2002 and to explore the optimal distraction-compression ratio and appropriate latency period for the compression force application during consolidation. The experimental specimens were assessed with radiography, histologic findings, and dual energy x-ray absorptiometry (DEXA) after the conventional DO method and the modified DO technique had been applied on rat mandibles.

Total 60 rats were used for the study. In experimental group of 54 adult rats, mandibular osteotomies between the first and second molar areas were performed and customized external distractors were applied. The surgeries on 6 rats of control group also were done with same osteotomy technique and DO device application. Final amount of distraction was set-up as 2 mm on both groups. But, in a experimental group of 54 rats, distraction osteogenesis with a compression force were performed with the different distraction-compression ratio and variant latency periods for compression. The three ratio-subgroups were made as distraction 4 mm group with compression 2 mm, distraction 3 mm group with compression 1 mm, and distraction 2.5 mm group with compression 0.5 mm. In addition, The three subgroups with 3, 7, 11 days latency period prior compression were allocated on each ratio-subgroups. Total 9 subgroups consisted of 6 rats on each subgroup. In control group of 6 rats, conventional distraction technique were routinely performed. The rats of control groups were sacrificed on postoperative 3, 6 weeks after 2 mm distraction. The rats in the experimental groups also were sacrificed on the same euthanasia days of control groups to compare the wound healing. Final available specimens were 55 rats except 5 due to osteomyelitis, device dislodgement.

Distraction-compression combined group on 6 weeks generally had showed increased bone mineral density than the same period group of conventional distraction technique on the DEXA study. More matured lamellar bone state and extended trabecular pattern in the combined group than those of control group were also observed in the histologic findings on 6 weeks. In the distraction-compression combined groups, the bone density of 2.5 mm distraction subgroups with 0.5 mm compression showed the highest value on the DEXA study among various force ratio groups. In the distraction-compression combined groups, the bone density of 3 day latency period subgroups showed the highest value on the DEXA study among various latency period groups for the compression application.

From this study, we could deduce that 1/5 force ratio for the compression versus distraction, 3 day latency period prior compression application would be the most effective condition if modified distraction osteogenesis technique might be applicable. The modified DO method with a compression force may improve the quality of bone regenerate and shorten total treatment period in comparison with conventional DO technique clinically.

**Key words :** Distraction Osteogenesis, Distraction force, Compression force, Force ratio, DEXA study

※ 본 연구는 부산대학교 2004년도 학술연구비 지원에 의해 수행되었음.

## I. 서 론

안면골의 선천적 기형, 외상, 중앙 등에 의해 발생하는 안면골의 결손은 다양한 방법의 골 이식술, 인공물질 삽입술 등으로 재건되어져 왔다. 하지만 골 이식술은 이식골의 흡수, 감염, 골 공여부의 결손 등의 단점이 있고, 인공물질은 염증의 발현이나 외부적 노출, 생체 적합성 등의 단점이 존재하여 골 조직의 완전한 대체물질로는 만족스럽지 못하다. 따라서 안면골의 재건을 위한 방법으로 안면골 자체에서 요구되는 만큼의 골 형성을 유도할 수 있다면 그것이 가장 이상적인 골 결손의 재건 방법이라 할 수 있을 것이다.

신연골형성술은 골절단술(osteotomy)이나 피질골 절단술(corticotomy)을 시행한 후 점진적인 견인력을 부여하여 골편을 이개시키고 신생골 생성을 유도하는 생물학적인 과정이다. 이 과정은 분리된 골절편들을 결합시키는 치유가골에 견인력이 가해졌을 때 시작하며, 조직이 늘려지는 한 계속된다. 점진적인 견인력에 의해 발생된 인장력의 영향으로 피부, 근막, 근육, 인대, 혈관 및 말초신경을 포함하는 다양한 조직에서 활발한 조직형성이 일어난다. 골결손부를 재건하거나 선천적으로 짧은 부위의 안면골 길이를 늘려줄 수 있다는 점에서 이 술식은 악안면 외과학의 중요한 분야로 되고 있다.

신연골형성술의 적용은 1905년 Codivilla<sup>1)</sup>에 의한 사지골 신연골형성술로 처음 시행되었고, 1950년대에 Ilizarov<sup>2,3)</sup>는 새로운 원형 외 고정기구를 이용하여 점진적이고 지속적인 신장력을 적용함으로써 상당한 신생골을 얻었다. 악안면 영역에서는 1973년 Snyder 등<sup>4)</sup>이 개의 하악골을 이용한 실험결과를 처음으로 보고하였고, 1992년 McCarty 등<sup>5)</sup>은 구외장치를 이용하여 하악골을 신장시킨 임상증례를 처음으로 보고하였다. 이후 구내장치<sup>6,7)</sup>를 이용한 골신연술식을 통하여 하악골 외에도 상악골, 협골, 안와, 두개 등의 악안면 기형의 치료에 많은 발전을 보이고 있다.

신연 골형성술은 골절단(osteotomy), 잠복기(latency period), 신연기(distraction period), 경화기(consolidation period)의 4단계로 구성되어지며, 이의 성공적인 임상 적용을 위해 최적의 잠복기의 기간, 신연속도, 신연빈도 등에 관해서 많은 연구들이 이루어져 오고 있다. 하지만 이러한 신연골 형성술식을 임상 적용시 장기간의 골 경화기를 부여하여야 하고 또한 신연기 동안 원치 않은 방향으로 악골의 재생이 이루어 질수 있다. 이에 저자 등은 신연후 단지 골화를 기다리는 시기로서의 골 경화기 역할이 아니라 경화기 동안 골신연 방향과 반대방향으로 골수축력을 작용시켜 신생골의 골화를 자극하고 이로서 전체 신연골의 골질을 보다 향상시키고 또한 신연기 동안 잘못된 방향으로 힘이 부여되어 비대칭성으로 신장된 악골 부위도 수축력을 적용시키면 물리적 수정이 가능하지 않을까 사료되었다. 이에 대

한 연구로서 신생 신연골의 골질향상을 위해 2002년 김 등<sup>8)</sup>은 실험연구를 통해 신생골의 보다 나은 골질 개선과 경화기 기간의 단축을 위해 통상적인 골절단, 잠복기, 신연기를 부여하고 경화기동안에는 부가적인 골 치유과정을 촉진시키기 위해 역으로 수축력(compression force)을 부여하는 술식을 개발하여 실험동물에 적용함으로써 조직학적, 방사선학적으로 보다 나은 골질 형성을 확인한바 있고, 전체 골 형성 유도기간도 단축시킬 수 있으리라 보고한바 있다. 다른 학자들도 비슷한 기간에 방법을 달리하여 신생골의 골질향상을 위해 수축력을 부여한 실험논문들<sup>9,10)</sup>을 보고한바 있으나 실제 임상에 적용하기에는 방법적으로 복잡하고 술중동통발생 등이 우려되어 제시한 술식 들의 임상적용 시 미흡한 점이 있다고 생각되었다.

이에 본 연구는 저자 등이 앞서 보고한 수축력과 신장력을 병용한 새로운 방식의 골신장 술식에 대해 재차 그 술식의 효능을 확인하고 이 술식의 임상적용을 위해 최적의 시술조건을 찾고자 연속적인 실험연구의 일환으로 본 논문을 계획하게 되었다. 하악골 신연술 적용시 신연량과 수축량의 비 및 신연 후 수축력 적용 시기 등에 대하여 다양한 조건을 부여하고 각각의 조건들을 조합하여 실험동물에 적용하여 획득된 신생 신연골에 대하여 조직조건, 방사선조건, 골밀도 수치분석등을 통해 비교 하고자 하였으며 이에 따른 신연력과 수축력을 병용한 새 개념의 신연골 형성 술식 개발을 위해 부가적인 기초자료를 얻고자 하였다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1. 연구재료

#### 1) 실험동물

체중 300~350g 내외의 웅성백서 Sprague Dawley계 60마리를 사용하였다. 최종적인 골신연량은 2 mm로 정하고 모든 실험에서 골절단술을 시행한 3일 후부터 골신연을 시작하였고, 하루 0.5 mm씩 2 회에 걸쳐 신연기를 가동하여 1 mm씩 신연을 도모하였다. 신연량과 수축량을 달리하여 3가지 방식 (2.5 mm 골 신연 후 0.5 mm 골수축을 시행, 3 mm 골신연 후 1 mm 골수축을 시행, 4 mm 골신연 후 2 mm 골수축을 시행)으로 신장력과 수축력을 적용한 세 군들과 수축력 적용 전의 잠복기 부여 (3, 7, 11일)를 달리하여 적용한 세 군들을 조합하여 총 9 개(3×3)군을 실험군으로 삼았고 각 군당 6 마리씩의 백서를 적용하여 총 54 마리를 실험 하였다. 추가로 6 마리는 골신연술만 시행하여 대조군으로 삼았다. 백서의 사료로는 실험동물용 분말사료를 이용하여 부정교합의 유발 이후에도 사료의 섭취가 가능하도록 하였다.

## 2) 실험장치

신장력 및 수축력을 적용하기 위한 골 신연장치는 교정용 확대스크류(Expansion screw, Dentarum, Germany)와 자가 중합레진(Clearfil F II, Kuraray, Japan)을 이용하여 자체제작하였으며, 백서 하악골의 고정을 위해 직경 1.5 mm, 길이 15 mm의 스크류포스트(Screw post, Sankin, Japan)을 이용하였다. 신연장치물은 교정용 확대스크류를 응용하여 제작하여 신장 혹은 수축되도록 하였으며 360도 회전시 0.5 mm의 선형적인 길이 변화를 확인하였다. 신장력은 장치물의 시계방향회전으로, 수축력은 반시계방향으로의 회전시켜 적용하였다 (Fig. 1~4).

## 2. 연구방법

### 1) 대조군(신장력만 부여) 및 실험군(신장력 및 수축력 적용) 실험방법

전신마취를 위해 Ketamine HCl (Ketalar®, Yuhan, Korea)과 Xylazine(Rumpun®, Bayer, Korea)을 1:4로 혼합하여 5mg/100g의 용량으로 백서의 대퇴부에 근육주사하였다. 마취유도된 백서의 하악부위를 제모한 뒤 베타딘으로 소독하여 수술대 위에 고정하였다. 수술 중 지혈의 목적으로 1:100,000 에피네프린을 함유한 2% Lidocaine HCl을 수술부위에 주사하였다. 또한 수술 후 감염 예방 목적으로 Ampicillin 25mg(Penbrex R, Yung-JIn Pharm.co., Korea)을 대퇴부에 술전에 근육주사하였다. 백서의 하악연을 따라 수평절개하고, 장치물 장착부위의 근육과 골막을 최소한으로 박리하였다. 장치물을 고정하기 위해 스크류의 전방위치는 이공의 직하방에, 후방위치는 제 3 대구치 후방의 하악골에 치과용 저속엔진을 이용해서 직경 1.0 mm의 스크류 장착을 위한 구멍을 생리식염수로 과열되지 않도록 하면서 양측의 피질골을 관통하여 형성하였다. 형성된 구멍을 직경 1.5 mm의 스크류포스트를 이용하여 고정하고, 이후에 생리식염수를 이용하여 과열되지 않도록 주의하면서 치과기공용 디스크를 이용한 중간부위의 골절단을 시행하였다. 스크류포스트와 장치물을 정위치로 위치시킨 후 자가중합레진(Clearfil F II, Kuraray, Japan)을 이용해 고정하였고 이후에 고정된 장치물이 잘 유지되는 것과 장치물에 열쇠를 이용하여 실제로 신장과 수축이 잘 적용되는지를 검사하였다. 이후 골막과 근육은 4-0 dextron으로, 피부는 5-0 nylon으로 일차봉합을 시행하였다.

백서 60마리 모두에서 골절단 이후 3일간의 잠복기를 가진 후 골 신연을 시행하였다.

저자들이 제안한 수축력병용 골신장술의 방식을 실험군 54 마리에 적용시켰다. 골 신장과 수축율의 변화 및 수축력 적용전 잠복기의 변화에 따른 골조직의 변화를 관찰하기 위해서, 골수축 비율의 변화(2.5 mm 골 신연 후 0.5 mm 골

수축을 시행, 3 mm 골신연 후 1 mm 골수축을 시행, 4 mm 골신연 후 2 mm 골수축을 시행)와 수축력 적용전의 잠복기 부여 변화(3, 7, 11일)를 시행하였으며, 이에 힘의 적용비와 잠복기부여시기를 달리한 군들을 조합하여 총 9 개군에서 각 군당 6마리의 백서를 이용하였다. 이 때 모든 백서는 실험군과 대조군의 표본비교를 위하여 대조군 6마리는 신장력 부여후 3주, 6주째 희생시켜 표본을 채취하였으며 실험군 에서도 대조군에서의 신연 2 mm가 완성된 이후 3주 및 6주에 해당하는 시점과 동일한 시점에서 3마리씩 희생하여 골절단부 주위의 골변화를 관찰하였다. 실험군의 실험 도중 3주 그룹에서 3마리, 6주 그룹에서 2마리의 백서에서 고정 포스트의 탈락, 감염증 등이 나타났으므로 이를 제외하고 총 55마리에서 실험결과를 얻을 수 있었다.

### 2) 표본제작

백서에 전신마취를 유도하여 조직고정을 위한 심장관류법을 시행하였다. 흉곽부에 Y절개를 통해서 심장을 노출시킨 후 관류펌프와 연결된 20게이지의 바늘을 좌심실 침부에 삽입하여 대동맥으로 통하게 한 뒤에 지혈겸자로 고정하고 인산완충식염수(PBS용액)를 주입한 후 우심방벽을 절개하여 체순환된 혈액이 체외로 배출되도록 하였다. 이후에 조직의 고정을 위해서 4% 중성 포르말린 용액을 30분간 주입하였다.

관류고정 이후에 고정장치를 장착한 측면의 하악골을 적출하였다. 적출한 조직은 4%의 중성 포르말린 고정액에 24 시간 고정시킨 후 흐르는 물에 세척하고, 5% 포름산과 구연산나트륨을 희석한 탈회액에서 8주간 탈회를 시행하였다. 이후 조직을 조직 캡슐에 넣어 흐르는 물에 12시간 동안 수세한 다음, 통상적인 방법에 따라 알콜과 크실렌으로 탈수와 투명화를 시킨 후 파라핀에 포매하고 6μm 두께로 횡단연속절편을 제작하였다.

### 3) 육안적 관찰

실험기간 동안 백서의 체중과 활동성 등의 생활력 및 장치물 주위 조직의 감염조건이나 동요도, 골신연이나 수축 후 절치의 정중선 변이나 과성장을 관찰하였다. 백서의 희생 후 절제된 하악골에서 골의 치유 상태나 골생성 정도, 신생골의 골질을 육안적으로 관찰하였다.

### 4) 방사선학적 검사

백서를 희생하여 골 신연을 시행한 쪽의 하악골을 적출한 이후, 치과용 표준필름(KODAK INSIGHT IP-21)을 이용하여 방사선 촬영튜브(Gendex GX, Germany)와 약 10 cm의 거리에서 65 kvp, 7.5 mA, 20 msec의 조건하에 촬영하여 관찰하였다.

5) 조직학적 검사

제작된 표본을 관찰하기 위해 Masson's trichrome으로 염색하여 광학현미경(Olympus BH 60, Japan)으로 관찰하였다.

6) 방사선 골밀도 측정 (Dual Energy X-ray Absorptiometry)

최종적으로 형성된 2 mm의 신생골 부위에서, 지정된 범위내 전체 골수 면적에 대한 석회화된 골의 질량(g/cm<sup>2</sup>)을 백분율로 표시하는 골밀도(bone mineral density) 측정을 시행하였다. 골밀도 측정은 dual energy x-ray absorptiometry(DEXA)를 이용하는 bone densitometer (Piximus, USA)를 사용하여 시행하였다.

7) 골밀도 측정치에 대한 통계학적인 분석

상기 조직형태학적으로 계측된 자료를 SPSS 10.0 program을 이용한 다항목적도에 대한 신뢰도 통계량을 산출하였고 척도화 분석법중 신뢰도 분석법을 적용하였다. 신뢰도 계수는 Cronbach alpha를 써서 유의수준을 검증하였다.

III. 연구결과

1. 육안적 소견

모든 실험동물들은 전반적으로 잠복기와 신연초기에는 습식정도가 술전에 비해 활발하지 못한 것으로 관찰되었고 약간의 체중감소가 나타나기도 하였으나 신연 및 골수축 이후 경착기간이 증가할수록 습식정도나 체중이 점차 증가하는 양상을 보였다.

골 신연량이 증가할수록 백서의 하악골은 정중부가 신연부의 반대편으로 편위되는 양상이 나타났다. 하악의 편위에 따른 절치의 치아간 접촉이 상실됨에 따라 상,하악 절치는 과성장이 나타났고, 이로 인해 반대편 악궁의 구강내 점막에 외상을 일으키기도 하였다.

골 신연술만 시행하는 경우에 비해 골수축량 비율이 많은 군일수록(예: 4 mm 신연, 2 mm 수축), 신연후 수축력 적용 전 잠복기가 길수록(예: 11일) 골수축력 적용시 상대적으로 저항감이 조금 더 크게 느껴졌다.

대조군 및 실험군 모두에서 신연 후 3주 그룹과 6주 그룹을 비교하였을 경우 3주 그룹에 비해 6주 그룹에서 보다 진전된 골형성이 나타났고 주위골과 잘 구별되지 않을 정도로 치유되어 있었다. 이러한 골 형성 양상은 육안적으로 볼 때는 같은 3주, 6주 그룹내에서는 각 군당 골질의 차이가 거의 없는 것으로 보였다.

2. 방사선학적 소견

백서의 하악골에서 이전에 스크류포스트가 위치했던 곳에 방사선 투과 상이 나타나고, 그 사이에 인접 정상골과는 구별되는 골 신연부가 위치하고 있음을 볼 수 있었다.

신연후 3주에 해당하는 그룹에서는 신연부 2 mm에 해당하는 부위가 인접 정상골에 비해 방사선 투과성이 여전히 높게 나타난 가골 형성이 보였다. 대조군인 2 mm 신연만 시행한 군이 다른 실험군에 비해 방사선 불투과성이 증가한 것으로 보였다. 하지만 각 실험군별 비교에서는 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었다.

신연후 6주에 해당하는 그룹에서는 3주 그룹에 비해 확연하게 골형성의 증가를 보여주는 방사선 불투과성을 관찰하였다. 하악 하연의 피질골 연속성이 나타났으며, 중앙부 해면골의 골형성도 증가한 양상을 보였다. 6주 그룹 중에서는 각 군별 방사선학적 비교에서 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었다 (Fig. 5~12).

3. 방사선 골밀도 측정 (Dual Energy X-ray Absorptiometry)

먼저 3주 그룹에서 대조군인 2 mm 신연군의 골밀도 측정치가 가장 높게 나타났다. 신연-수축 복합군은 모두 신연군에 비해 낮은 골밀도 수치를 보였고, 그 중에서는 3-1-7-3군(3 mm 신연-1 mm 수축, 수축력 적용 전 7일의 잠복기 부여군)이 가장 좋은 골밀도 수치로 평가되었다.

6주 그룹에서는 대조군인 2 mm 신연군에 비하여 2.5-0.5-3-6군(2.5 mm 신연-0.5 mm 수축, 수축력 적용 전 3일의 잠복기 부여군), 2.5-0.5-7-6군(2.5 mm 신연-0.5 mm 수축, 수축력 적용 전 7일의 잠복기 부여군), 3-1-3-6군(3 mm 신연-1 mm 수축, 수축력 적용 전 3일의 잠복기 부여군), 4-2-3-6군(4 mm 신연-2 mm 수축, 수축력 적용 전 3일의 잠복기 부여군)에서 골밀도 측정 수치가 더 높은 것으로 나타났고, 다른 실험군들에서는 대조군보다 낮은 골밀도 수치가 나타났다 (Table 1).

4. 골밀도치 통계분석

3주 그룹 중에서는 대조군인 2 mm 신연군에 비해 신연-수축 복합군은 모두 골밀도 수치가 낮게 나타났으나 신뢰도 계수는 0.4167로서 유의성은 높지 않아서 두 군간의 골밀도차는 크지 않은 것으로 나타났다(standard item  $\alpha = 0.4167$ ).

6주 그룹 중에서는 대조군인 2 mm 신연군에 비해 2.5-0.5-3-6군, 2.5-0.5-7-6군, 3-1-3-6군, 4-2-3-6군 등, 총

**Table 1.** The DEXA Values of Bone Density on Both Groups

Postoperative 3 week groups	Bone density (g/cm <sup>2</sup> )	Postoperative 6 week groups	Bone density (g/cm <sup>2</sup> )
2-0-0-3	0.1694	2-0-0-6	0.1854
2.5-0.5-3-3	0.1291	2.5-0.5-3-6	0.2000
2.5-0.5-7-3	0.1397	2.5-0.5-7-6	0.2053
2.5-0.5-11-3	0.1292	2.5-0.5-11-6	0.1546
3-1-3-3	0.1507	3-1-3-6	0.2240
3-1-7-3	0.1659	3-1-7-6	0.1847
3-1-11-3	0.1267	3-1-11-6	0.1392
4-2-3-3	0.1113	4-2-3-6	0.2079
4-2-7-3	0.1287	4-2-7-6	0.1705
4-2-11-3	0.0972	4-2-11-6	0.1622

\* The 4 numeric values on each subgroups were indicated respectively as distraction length (mm) - compression length (mm) - precompression latency period (days) - sacrifice day after distraction application (weeks).

4개 군에서 높은 골밀도 수치를 보였고, 나머지 신연-수축 복합군은 비교적 낮은 골밀도 수치를 보였으나 신뢰도계수는 0.4167로서 각 군간의 골밀도차는 크지 않는 것으로 분석되었다(standard item  $\alpha = 0.4167$ ).

신연-수축 복합군 중에서 신연-수축 비의 변화에 따른 골밀도 수치의 평가를 시행한 경우, 3주 그룹에서는 2.5 mm 신연-0.5 mm 수축군, 3 mm 신연-1 mm 수축군, 4 mm 신연-2 mm 수축군의 각각 평균값이 0.1331, 0.1478, 0.1103으로 그중 3 mm 신연-1 mm 수축군의 골밀도 수치가 가장 높게 나타났고, 6주 그룹에서는 각 군의 평균값이 0.1866, 0.1800, 0.1814로 그중 2.5 mm 신연-0.5 mm 수축군의 골밀도 수치가 가장 높게 나타났으며, 이 실험의 유의성(standard item  $\alpha$ )은 0.6000이었다.

신연-수축 복합군 중에서 수축력 적용 전 잠복기의 부여 변화에 따른 골밀도 수치의 평가를 시행한 경우, 3주 그룹에서는 3일, 7일, 11군의 평균값이 0.1328, 0.1468, 0.1163으로, 수축력 적용전 7일의 잠복기를 부여한 경우에 골밀도 수치가 가장 높게 나타났고, 6주 그룹에서는 각 군의 평균값이 0.2106, 0.1859, 0.1520으로, 수축력 적용전 3일의 잠복기 부여한 경우의 골밀도 수치가 가장 높게 나타났으며, 이 실험의 유의성(standard item  $\alpha$ )은 0.6000이었다.

주어진 cronbach  $\alpha$ 값은 0.6 이상이면 유의성이 있는 데이터로 판정됨에 따라 골치유기간이 6주인 신연-수축 복합군내에서 2.5 mm 신연-0.5 mm 수축군과 수축력 적용전 3일 잠복기군은 타 조건의 군들보다 가장 유의성 있게 골밀도수치가 높게 나타난 것으로 판정되었다.

## 5. 조직학적 소견

3주 그룹 중에서 대조군인 2 mm 신연군의 경우 골의 신

연 부위에 남아 있는 출혈소견과 함께 콜라젠 섬유, 신생혈관 증가가 관찰되었고 소량의 연골내골화 중심의 가골 형성이 보였다 (Fig. 13).

3주 그룹 중 신연-수축 복합군의 경우 부분적인 막내골화가 존재하나 역시 연골내골화 중심의 가골 형성이 이루어졌고 대조군에 비해 약간 골형성의 양이 증가하였으나 의미있는 차이를 보이지 않았으며 더 이상의 진행된 골성숙은 관찰되지 않았다 (Fig. 14~16).

6주 그룹의 대조군인 2mm 신연군은 3주군에 비해 골소주 및 층판골의 재형성이 더 넓은 부위에서 진행되어 골형성의 증가가 관찰되었고 대부분 성숙골로 대체된 모습을 보였다 (Fig. 17).

6주 그룹 중 신연-수축 복합군의 경우, 대부분 3주군에 비해 골형성의 양이 증가함과 동시에 골성숙도도 증가하였으나, 6주 대조군에 비해서는 골형성이 증가하거나, 비슷하거나, 다소 못하게 나타나는 등 다양한 양상을 보였다 (Fig. 18~20).

특히, 3-1-3-6군과 4-2-3-6군의 경우 다른 군에 비하여 골형성의 양과 골성숙도가 증가하여 신연부위에 초기 섬유성 조직이 대부분 성숙골로 대체되는 모습이 나타났다 (Fig. 19, 20).

이상의 소견으로 6주군이 3주군에 비해 골형성의 양과 성숙도가 더 진행되었음을 알 수 있고, 6주 실험군 중 3-1-3-6군과 4-2-3-6군이 가장 우수한 골형성 정도를 보인다는 것을 조직학적으로 확인할 수 있었다.

## IV. 총괄 및 고찰

골격기형의 재건을 위한 신연골형성술의 발달은 골격전인, 골절편의 고정 및 골 절단술의 발달과 함께 이루어져 왔다. 1905년 Codivilla<sup>1)</sup>는 대퇴골의 사선 골절제술 후에 외

부골격 견인을 이용하여 지속적인 확장(continuous expansion)의 개념을 도입한 사지연장술을 최초로 시행하였다. 하지만 제한된 외과적 기술과 피부괴사, 핀 삽입로를 통한 감염 등의 문제로 인해 부정적인 방법으로 여겨지다가 1950년대에 이르러 러시아 외과의사인 Ilizarov<sup>2,3)</sup>에 의해 신연골형성술이 크게 발달하게 되었다. 그는 사지골절 환자에서 외고정장치를 이용하여 불유합된 골절의 치료를 시행하다 우연히 반대로 작용한 골신연부에 골형성이 일어남을 발견한 후, 일련의 연구들을 통해서 새로운 고정장치인 원형외고정장치와 피질골절단술을 고안했으며 이후 신연골형성술이 광범위한 사지기형을 교정하는 실용적인 방법으로 정착되게 하였다. 1992년 McCarthy 등<sup>5)</sup>이 악안면 영역의 수술에 신연술식의 적용을 언급한 이래로 전세계적으로 널리 신연수술이 시행되고 있다.

임상적으로 신연골 형성술은 골절단술, 잠복기, 신연기, 경착기, 개조기의 5단계로 구성된다. 먼저 신연시킬 부위의 골절단술 또는 피질골절단술을 시행하는데, 이때 성공적인 신연골 형성을 위해서는 골외막, 골내막 및 골수강내의 혈류를 최대한 보존하는 것이 중요하다고 보고되고 있다<sup>2,11)</sup>. 골절단술에 대하여 Ilizarov<sup>2,3,12)</sup>는 수질골내의 혈류공급을 보존하기 위해 피질골절단술이 중요함을 강조하였다. 반면에 Kojimoto 등<sup>13)</sup>은 수질골이 손상된 후에도 골막이 보존된다면 우수한 골치유가 일어날 수 있으므로 골수강내 혈류의 보존보다는 골막을 보존하는 것이 더 중요하다고 하였으며, Delloye 등<sup>14)</sup>은 골치유 정도나 형성된 신생골의 정도는 골절단술이나 피질골절단술에 상관없다고 하였다. 본 실험에서는 골절단술 시행시 조직의 보존을 위해 최소한의 골막박리만을 시행하였고 골절단을 시행하면서 충분한 생리식염수를 사용하여 절단부위가 과열되지 않도록 주의하였으며, 이후에 골막을 흡수사로 봉합하였다.

잠복기(latency period)는 골절단 후 신연장치를 장착하고 신연을 시행하기 전 골절단부의 재혈관화와 염증의 소실을 위해 일정한 기간을 두는 것으로 이 때 골절의 치유과정과 유사한 일차가골이 형성되는 시기이다. 골신연시 잠복기가 너무 길면 조기 경착이 일어나고, 너무 짧으면 신연부위의 섬유성결합이나 불유합을 초래할 수 있으므로 적절한 잠복기를 허용한 후 신연을 시행하여야 한다<sup>15,16)</sup>. Aronson 등<sup>17)</sup>은 백서의 경골에서 일주일의 잠복기를 두었고, Rowe 등<sup>18,19)</sup>은 3일간의 잠복기를 허용한 이후 신연골형성술을 시행한 결과를 보고하였다. Warren 등<sup>20)</sup>은 백서의 하악골 실험에서 5일간의 잠복기가 가장 이상적이라고 보고하였고 7일 정도의 지연된 골신장은 조기경화를 가져오고 이후의 연속된 골신연이 세포의 기질 골격을 붕괴시켜 적절하지 않은 치유과정이 나타나게 된다고 하였다. 본 실험에서는 최초로 연성가골이 형성되는 시기인 3일의 신연전 잠복기를 부여하였다.

신연기(distraction period)는 연성가골이 생성된 후 절단된 골절편 사이 조직에 견인력을 작용하여 신생조직의 형성을 촉진하는 시기이다. 신연속도와 신연빈도는 실험동물의 크기나 생체내 대사의 활성, 조직학적으로는 세포의 크기 등에 따라 아주 다르게 적용되어야 한다. Ilizarov<sup>3)</sup>는 개의 경골을 이용한 실험에서 하루 1 mm의 속도로 4회 나누어 신연하는 것이 이상적이라고 하였고, 신연 속도에 관하여 김 등<sup>21)</sup>은 백서 경골에서 하루 0.5 mm의 신연속도가 가장 우수했으며, 1 mm 신연속도에서는 지연된 골결합, 2 mm 신연속도에서는 섬유성결합 또는 불유합을 보였다고 하였다. Paccicone 등<sup>22)</sup>은 백서 하악골에서 0.25 mm의 신연속도일 때 가장 좋은 골형성을 보이나 0.5 mm의 신연속도로도 더 짧은 기간내에 동일한 결과를 얻어낼 수 있다고 하였으며 신연속도가 일정할 때 신연빈도가 증가할수록 골형성이 촉진된다고 보고하였다. 최근에는 계속적으로 연속적인 골신연을 시행하는 것으로 더 빠른 골형성을 가져올 수 있다는 가설하에서 새로운 신연장치들이 고안되어 연구되고 있다<sup>23,24)</sup>. 본 실험에서는 백서 하악골에서 우수한 골형성을 보인다고 밝혀진 하루 0.5 mm의 신연속도와 하루 2회의 수축빈도를 채택하였다.

경착기(consolidation period)는 신연 완료 후부터 신연장치가 제거되기 전까지의 기간으로 신연 후 형성되는 신생골이 더욱 성숙되고 필요한 강도를 얻게 되는 시기이며 임상적으로 장치물을 제거한 뒤에도 신연부위가 골절이나 변형없이 보존되어질 수 있는 기간을 의미한다<sup>3,25)</sup>.

신장력과 더불어 사용된 수축력(compression force)에 대한 실험적인 연구를 고찰해보면, 1986년 Wolff<sup>26)</sup>는 stress에 대한 반응으로 생기는 기능적인 골 적응의 개념에 대해 기술하였고, 몇몇 임상연구들에서<sup>27-29)</sup> long bone fracture가 일어난 부위에 수축력을 적용한 경우 가골 부피의 증가, 골절 치유의 증진, 골결합 시간의 단축을 가져올 수 있었다고 보고하고 있으며, Burger 등<sup>30)</sup>에 의한 연구에 의하면 간헐적인 수축력이 작용될 때 광물질의 대사과정에서 동화작용을 일으킬 수 있으며, 지속적인 수축력이 작용하면 반대로 이화작용이 나타난다고 하였으며, 2000년 Castello 등<sup>31)</sup>은 성장기 가토의 악안면부에 수축력을 가한 실험에서 골절단없이도 골모세포의 활성이 급격히 증가하고 골격구조의 수축을 도모할 수 있다고 하였으며, 2002년 Mofid 등<sup>32)</sup>은 일정기간의 신연술 이후 생긴 가골에 경착기 초기에 신연력과 수축력을 번갈아 적용함으로써 통상적인 신연술식에 비해 골성속도의 증가를 가져올 수 있다고 보고하였다.

1993년 Kershaw 등<sup>33)</sup>은 골절부의 치유초기에 0.7 mm 정도의 미세운동(micromovement)은 골절치유 기간을 단축시킨다고 보고하였으나, 1995년 Noordeen 등<sup>34)</sup>은 혈관망(vascular network)이 완성된 이후의 지연된 미세운동

은 골절치유에 위해한 작용을 한다고 보고하였다.

본 연구는 신장력에 의해 활발하게 골형성과정이 촉진되어 있는 상태의 백서에서 반대로 수축력을 가한 실험으로, 신연량과 수축량의 비율과 신연기 후 수축력 적용 시기 등에 대하여 다양한 조건하에서 실험을 시행하여 최적의 골형성 조건들을 파악하고자 하였다.

실험 3주 그룹에서는 대조군인 2 mm 신연만 시행한 군에 비해 모든 실험군에서 골밀도 수치가 오히려 떨어지는 것으로 나타났는데, 이는 골수축기간 및 수축전 잠복기간으로 말미암아 상대적으로 골 경화기간이 대조군에 비해 짧아 골밀도수치가 떨어진 것이 아닌가 사료되었다.

실험 6주 그룹에서는 대조군인 2 mm 신연군에 비해 전체 실험 9개군 중 4개군에서 비교적 높은 수치의 골밀도 수치 (standard item  $\alpha = 0.4167$ )를 보이고, 조직학적인 소견에서도 골재생과 광화의 정도가 우수한 것을 확인할 수 있었다. 이 실험결과를 보면 신연-수축 복합군의 경화기 초기 골화정도는 일반적인 신연군에 비해 떨어지지만 이후 급격한 골질의 향상으로 신연군에 비해 우월한 골재생이 나타나고, 이 때 수축력에 의해 골신장부위의 치유가 도움을 받았다는 사실을 파악할 수 있었다.

신연-수축 복합군간의 비교에서는 수축량이 신연량의 1/5에 해당하는 군에서 가장 좋은 골밀도가 나타났는데, 신연-수축비가 높아질수록(신연량의 1/3, 1/2) 신연만 시행하는 군에 비해 전체 신연-수축 소요기간이 증가하고 수축력 적용시의 저항 증가, 잦은 기구의 조작에 의한 고정핀의 주위감염 및 고정핀의 탈락등의 위험성이 높아짐에 따라 오히려 골밀도 측정치가 낮게 나타났다고 사료되었다. 신연-수축 비가 높아지면 과도한 신연에 의한 이차적 악관절 장애의 가능성을 배제하지 못하므로 높은 신연-수축비를 적용하기 보다는 수축량을 신연량의 1/5 정도로 제한하는 것이 합당할 것으로 사료된다.

신연-수축 복합군 중 수축력 적용전 잠복기 부여시기는 3일에 해당하는 군에서 가장 좋은 골밀도를 나타냈는데, 잠복기를 늘리는 것은 골절단부사이의 조직치유 과정 중 지연성 미세운동을 허용하는 것과 같은 작용을 하여<sup>32)</sup> 골치유 속도가 감소하기 때문인 것으로 생각되었다.

본 실험의 결과들을 볼 때, 수축력을 병용한 새 개념의 골신장술을 통하여 신연골 술식 적용시 총 치료기간을 단축하면서 보다 나은 골질을 얻을 수 있으리라 사료되었고 이 술식을 악안면 영역 및 정형외과영역에 적용시 기존의 신연술식에 비해 상당한 잇점들을 얻을 수 있을것으로 판단되었다. 이에 저자는 신장력과 수축력을 복합 적용한 새 신연술식에 대해 생역학적 평가, 악관절의 해부 생리적 변화 및 신연골의 유전자적 특성 등에 대한 연구들을 지속하여 새 개념의 신연술식에 대한 효용성을 객관적으로 검증해 나갈 계획이다.

## V. 결 론

선행연구로서 저자 등이 제시한바 있는 수축력을 병용한 하악골 신연술 방식에 대하여 보다 적절한 신장력과 수축력의 적용비와 신연후 효율적인 수축력 적용시기를 파악하고자 여러 실험조건하에서 백서하악골에 신연술식을 적용하였다. 총 60마리 백서를 두 군으로 나누어 실험군 54 마리는 신장력과 수축력을 복합적용한 군으로, 대조군 6마리는 통법의 신장력만 적용한 군으로 나누어 백서하악골에 각각 술식들을 적용하였다. 표본은 대조군인 통법의 하악 신연골 술식군에서는 신연 2 mm가 완성된 후 3주, 6주째 하악 표본을 획득하였고 또한 신장력, 수축력 복합 신연골 술식표본은 대조군의 표본획득시기와 동일한 시기에 2번에 걸쳐 획득하였다. 신연골에 대하여 육안적, 방사선학적, 조직학적으로 관찰하였고 또 각 조직표본에 대하여 방사선 골밀도 측정계(DEXA)를 이용하여 시기별로 대조군과 실험군의 표본에 대해 골밀도측정치들 산출하였다.

1. 방사선 골밀도 측정결과 통법의 골신연술만 시행한 군을 비해 골신연-수축력 복합적용군에서 술후 3주째까지는 골밀도가 대체로 낮게 측정되었으나 술후 6주째에서는 통법의 골신연술식 보다 향상된 골밀도치를 나타내었다. 시간이 갈수록 신연부에서 골밀도수치가 증가되었다.
2. 술후 6주군에 획득된 조직학적 소견상 골신연-수축력 복합적용군에서 골소주의 증가와 증판골 생성이 더 관찰되어 골신연술만 시행한 대조군에 비해 골성속도가 빠르게 나타났다.
3. 술후 6주째의 골신연-수축력 복합적용군 표본들간 비교시 골신연후 수축력량을 신연량의 1/5로 적용한 표본군에서 골밀도수치가 가장 높았다.
4. 술후 6주째의 골신연-수축력 복합적용군 표본들간 비교시 골신연후 수축력 적용시기를 비교한 표본군에서는 잠복기 3일째 수축력을 부여한 군에서 골밀도 수치가 가장 높았다. 상기의 결과를 요약하면 신연골 형성술 적용시 신장력적용후 적정시기에 수축력을 부가하는 변형된 수축력 병용 신연 술식을 행한다면 신생골의 골질도 보다 단단하게 성숙시키면서 전체 치료기간도 단축 시킬수 있으리라 보였다.

## 참고문헌

1. Codivilla A : On the means of lengthening in the lower limbs, the muscles, and tissues which are shortened through deformity. Am J Orthop Surg 2:353. 1905(cited from a reprint of the original article under the title "The Classic" in Clin Orthop 301 : 4, 1994.
2. Ilizarov GA : The tension-stress effect on the genesis and growth of tissue : Part I The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation. Clin Orthop 238 : 249, 1989.
3. Ilizarov GA : The tension-stress effect on the genesis and growth of tissue : Part II The influence of the rate and fre-

- quency of distraction. *Clin Orthop* 239 : 263, 1989.
4. Snyder CC, Levine GA, Swanson HM, Browne EZ jr : Mandibular lengthening by gradual distraction. *Plast Reconstr Surg* 51 : 506, 1973.
  5. McCarthy JG, Schreiber J, Karp N, Thorne CH, Grayson BH : Lengthening of the human mandible by gradual distraction. *Plast Reconstr Surg* 89 : 1, 1992.
  6. Guerrero CA, Bell WH, Contasti GI, Rodriguez AM : Mandibular widening by intraoral distraction osteogenesis. *Br J Oral Maxillofac Surg* 35 : 383, 1997.
  7. Diner PA, Kollar EM, Martinez H, Vazquez MP : Submerged intraoral device for mandibular lengthening. *J Craniofac Surg* 25 : 116, 1997.
  8. Kim UK, Lee KH, Chung IK, et al : Tissue reaction by combined distraction force with compression force with mandible in the rat. *J Kor Oral Maxillofac Surg* 28 : 103, 2002.
  9. Greenwald JA, Luchs JS, Mehrara BJ, et al : Pumping the regenerate: an evaluation of oscillating distraction osteogenesis in the rodent mandible. *Ann Plast Surg* 44(5) : 516, 2000.
  10. Luchs JS, Steinick EJ, Rowe NM, et al : Molding of the Regenerate in mandibular distraction: Part 1: laboratory study. *J Craniofac Surg* 13(2) : 205, 2002.
  11. Klotch DW, Ganey TM, Slater-Hasse A, Sasse J : Assessment of bone formation during osteogenesis. A canine model. *Otolaryngol. Head Neck Surg* 112 : 291, 1995.
  12. Ilizarov GA : A new principle of osteosynthesis with the use of crossing pins and rings. In *Collection of Scientific Works of the Kurgan Regional Scientific Medical Society*. Kurgan, USSR, 145, 1954.
  13. Kojimoto H, Yasui N, Goto T, Matsuda S, Shimomura Y : Bone lengthening in rabbits by callus distraction : the role of periosteum and endosteum. *J Bone Joint Surg* 70-B : 543, 1989.
  14. Delloye C, Delefortrie G, Coutelier L, Vincent A : Bone regenerate formation in cortical bone during distraction lengthening. An experimental study. *Clin Orthop* 250 : 34, 1990.
  15. Block MS, Cervini D, Chang A, Gottsegen GB : Anterior maxillary advancement using tooth-supported distraction osteogenesis. *J Oral Maxillofac Surg* 53 : 561, 1995.
  16. Block MS, Brister GD : Use of distraction osteogenesis for maxillary advancement : preliminary results. *J Oral Maxillofac Surg* 52 : 282, 1994.
  17. Aronson J, Shen XC, Skinner RA, Hogue WR, Badger TM, Lumpkin CK Jr : Rat model of distraction osteogenesis. *J Orthop Res* 15 : 221, 1997.
  18. Rowe NM, Mehrara BJ, Dudziak ME, Steinbreck DS, Mackool RJ, Gittes GK, McCarthy JG, Longaker MT : Rat mandibular Distraction osteogenesis: Part I. Histologic and radiographic analysis. *Plast Reconstr Surg* 102 : 2022, 1998.
  19. Babak JM, Norman MR : Rat Mandibular Distraction Osteogenesis: II. Molecular Analysis of Transforming Growth Factor Beta-1 and Osteocalcin Gene Expression. *Plast Reconstr Surg* 103 : 536, 1999.
  20. Warren SM, Mehrara BJ, Steinbrech DS, Paccione MF, Greenwald JA, Spector JA, Longaker MT : Rat mandibular distraction osteogenesis: part III. Gradual distraction versus acute lengthening. *Plast Reconstr Surg* 107 : 441, 2001.
  21. Kim BK, Shin SH, Kim JR : A comparison study on distraction osteogenesis in the rat's tibia according to distraction rates. *J Kor Oral Maxillofac Surg* 26 : 620, 2000.
  22. Paccione MF, Mehrara BJ, Warren SM, Greenwald JA, Spector JA, Luchs Js, Longaker MT : Rat mandibular distraction osteogenesis: latency, rate, and rhythm determine the adaptive response. *J Craniofac Surg* 12 : 175, 2001.
  23. Kessler P, Wiltfang J, Neukam FW : A new distraction device to compare continuous and discontinuous bone distraction in mini-pigs : a preliminary report. *J Cranio-maxillofac Surg* 28 : 5, 2000.
  24. Wiltfang J, KeBler P, Merten H, Neukam FW : Continuous and intermittent bone distraction using a microhydraulic cylinder : an experimental study in minipigs. *Br J Oral Maxillofac Surg* 39 : 2, 2001.
  25. Ilizarov GA : Clinical application of tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop* 250 : 8, 1990.
  26. Wolff J : The Law of Bone Remodeling. *Orthopade*, 24 : 378, 1995.
  27. De Bastiani G, Aldegheri R, Renzi Brivio L : The treatment of fractures with a dynamic axial fixator. *J Bone Joint Surg Br* 66 : 538, 1984.
  28. Lazo-Zbikowski J, Aguilar F, Mozo F, Gonzalez-Buendia R, Lazo JM : Biocompression external fixation. sliding external osteosynthesis. *Clin Orthop* 206 : 169, 1986.
  29. Dehne E, Metz CW, Deffer PA, Hall RM : Nonoperative treatment of the fractured tibia by immediate weight bearing. *J Trauma* 1 : 514, 1961.
  30. Burger EH, Klein-Nulend J, Veldhuijzen JP : Mechanical stress and osteogenesis in vitro. *J Bone Miner Res Suppl* 2 : S397, 1992.
  31. Castello JR, Olaso AS, Chao JJ, McCarthy JG, Molina F : Craniofacial shortening by contraction osteogenesis: An experimental Model. *Plast Reconstr Surg* 105 : 617, 2000.
  32. Mofid MM, Inoue N, Atabay A, Marti G, Chao EY, Manson PN, Vander Kolk CA : Callus stimulation in distraction osteogenesis. *Plast Reconstr Surg* 15 : 109(5) : 1621, 2002.
  33. Kershaw CJ, Cunningham JL, Kenwright J : Tibial external fixation, weight bearing and fracture movement. *Clin Orthop* 293 : 286, 1993.
  34. Noordeen MH, Lavy CB, Shergill NS, Tuite JD, Jackson AM : Cyclical micromovement and fracture healing. *J Bone Joint Surg (Br)* 77 : 645, 1995.

#### 저자 연락처

우편번호 602-739  
부산시 서구 아미동 1-10  
부산대학교 치과대학 구강악안면외과학교실  
김 옥 규

원고 접수일 2005년 2월 14일  
게재 확정일 2005년 5월 24일

#### Reprint Requests

Uk-Kyu Kim  
Dept. of OMS, College of Dentistry, Pusan National University  
1-10, Ami-dong, Seo-gu, Pusan, 602-739, Korea  
Tel: 82-51-240-7803 Fax: 82-51-244-8334  
E-mail: kuksjs@pusan.ac.kr

Paper received 14 February 2005  
Paper accepted 24 May 2005



## Explanation of Figures

- Fig. 1. Orthodontic apparatus for expansion force. screw posts, expansion screw key.
- Fig. 2. Customized device for distraction and compression force.
- Fig. 3. Applied state of the customized device on rat's mandible.
- Fig. 4. Gross view of extracted rat mandible with the device.
- Fig. 5. Radiographic view of 2-0-0-3 control group (2mm distraction, 3 weeks sacrifice day after 2mm distraction: postoperation 27 days)
- Fig. 6. Radiographic view of 2.5-0.5-3-3 experimental group (2.5mm distraction, 0.5mm compression, 3 days latency period prior compression, 3 weeks after 2mm distraction: same sacrifice day as Fig. 5)
- Fig. 7. Radiographic feature of 3-1-11-3 (3mm distraction, 1mm compression, 11 days latency period prior compression, 3 weeks after 2mm distraction: same sacrifice day as Fig. 5)
- Fig. 8. Radiographic feature of 4-2-7-3 (4mm distraction, 2mm compression group, 7 days latency period prior compression, 3 weeks after 2mm distraction: same sacrifice day as Fig. 5)
- Fig. 9. Radiographic feature of 2-0-0-6 (2mm distraction group, 6 weeks after 2mm distraction: postoperation 48 days).
- Fig. 10. Radiographic feature of 2.5-0.5-3-6 (2.5mm distraction, 0.5mm compression, 3 days latency period prior compression, 6 weeks after 2mm distraction: same sacrifice day as Fig. 9).
- Fig. 11. Radiographic feature of 3-1-3-6 (3mm distraction, 1mm compression, 3 days latency period prior compression, 6 weeks after 2mm distraction: same sacrifice day as Fig. 9).
- Fig. 12. Radiographic feature of 4-2-3-6 (4mm distraction, 2mm compression, 3 days latency period prior compression, 6 weeks after 2mm distraction: same sacrifice day as Fig. 9).
- Fig. 13. Microscopic feature of 2-0-0-3 (same schedule as Fig. 5). Masson's trichrome,  $\times 20$ , Arrow shows 2mm distraction site.
- Fig. 14. Microscopic feature of 2.5-0.5-3-3 (same schedule as Fig. 6), Masson's trichrome,  $\times 20$ , Arrow shows 2mm distraction-compression site.
- Fig. 15. Microscopic feature of 3-1-11-3 (same schedule as Fig. 7), Masson's trichrome,  $\times 20$ . Arrow shows 2mm distraction-compression site.
- Fig. 16. Microscopic feature of 4-2-7-3 (same schedule as Fig. 8), Masson's trichrome,  $\times 20$ . Arrow shows 2mm distraction-compression site.
- Fig. 17. Microscopic feature of 2-0-0-6 (same schedule as Fig. 9), Masson's trichrome,  $\times 20$ . Arrow shows 2mm distraction site.
- Fig. 18. Microscopic feature of 2.5-0.5-3-6 (same schedule as Fig. 10), Masson's trichrome,  $\times 20$ . Arrow shows 2mm distraction-compression site.
- Fig. 19. Microscopic feature of 3-1-3-6 (same schedule as Fig. 11), Masson's trichrome,  $\times 20$ . Arrow shows 2mm distraction-compression site.
- Fig. 20. Microscopic feature of 4-2-3-6 (same schedule as Fig. 12), Masson's trichrome,  $\times 20$ . Arrow shows 2mm distraction-compression site.

Figures ①

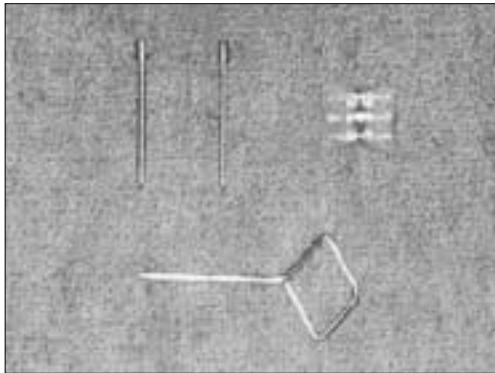


Fig. 1

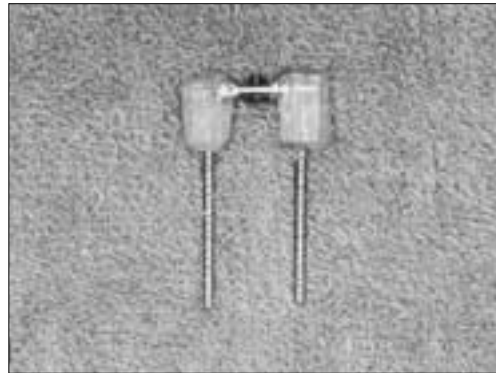


Fig. 2

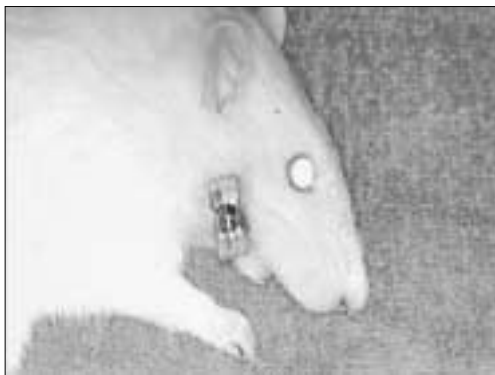


Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5



Fig. 6



Fig. 7



Fig. 8

Figures ②



Fig. 9



Fig. 10



Fig. 11



Fig. 12

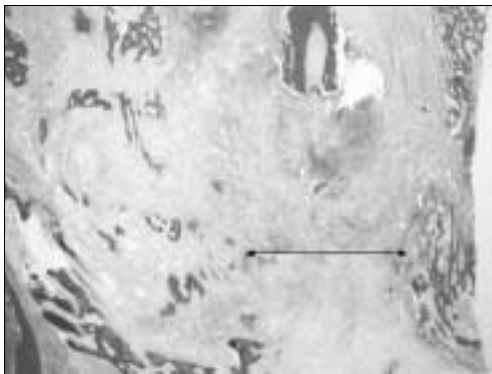


Fig. 13



Fig. 14



Fig. 15

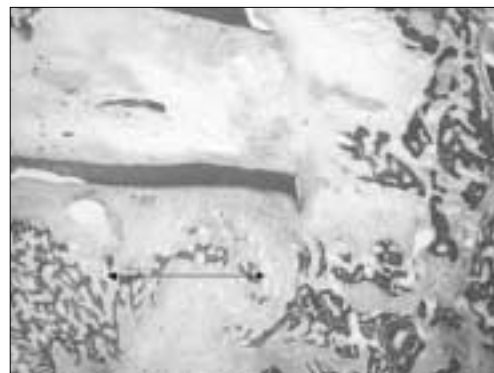


Fig. 16

Figures ③

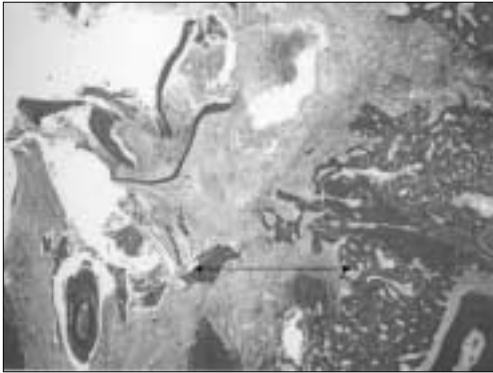


Fig. 17

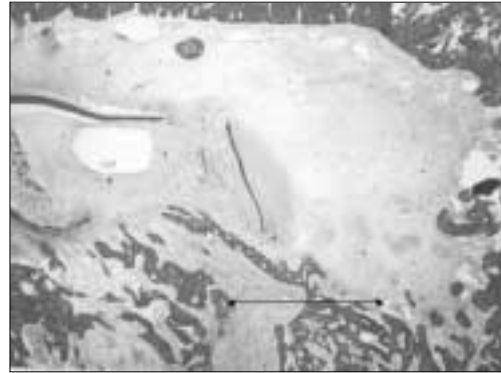


Fig. 18

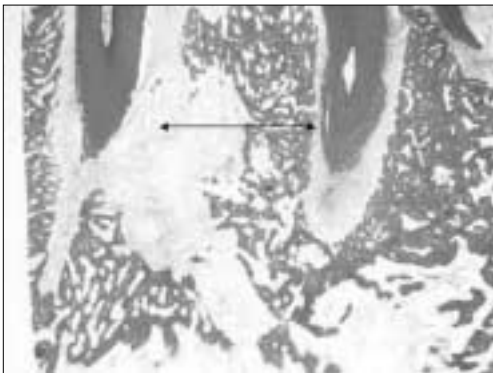


Fig. 19

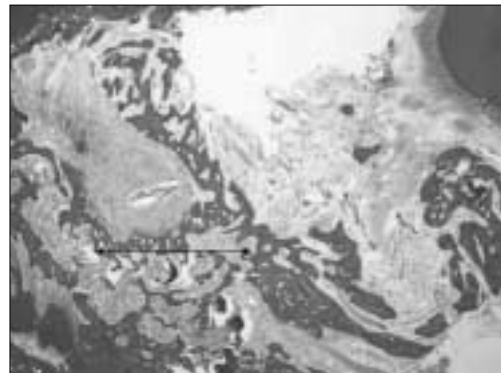


Fig. 20