

압축력을 병용한 하악골 신장술

황영섭 · 허 준 · 김육규 · 박성진 · 황대석 · 김용덕 · 정인교 · 김규천*
 부산대학교 치과대학 구강악안면외과학교실, *부산대학교 치과대학 구강해부학교실

Abstract

MANDIBULAR DISTRACTION OSTEOGENESIS WITH COMPRESSION FORCE - BONE DENSITY, HISTOLOGICAL FINDINGS AND TMJ RESPONSE

Young-Seob Hwang, June Heo, Uk-Kyu Kim, Seong-Jin Park,
 Dae-Seok Hwang, Yong-Deok Kim, In-Kyo Chung, Kyu-Cheon Kim*

*Dept. of Oral & Maxillofacial Surgery, *Dept. of Oral Anatomy, College of Dentistry, Pusan National University*

The purpose of this study was to investigate the biomechanical, histologic findings of distracted regenerate and TMJ response in modified distraction osteogenesis (DO) technique combined with compression force as biomechanical stimulation method which has been suggested in 2002, and developed thereafter by authors. This study was performed with two experiments. First experiment was designed to explore the optimal ratio of compression force versus distraction force for the new DO technique. Second experiment was planned to evaluate the reaction of TMJ tissue, especially condyle, disc after application of the DO technique with compression force.

Total 52 New Zealand adult male-rabbits with 3.0kg body weight were used for the study. For the first study, 30 adult male-rabbits underwent osteotomy at one side of mandibular body and a external distraction device was applied on each rabbit with same manner. In the control group of 10 rabbits, final 8 mm of distraction with 1 mm rate per day was done with conventional DO technique after 5 latency days. For the experimental group of 20 rabbits, a compression force with 1 mm rate per day was added to the distracted mandible on 3-latency day after over-distraction (over-lengthening). As the amount of the rate of compression versus distraction, experimental subgroup I (10 rabbits) was set up as 2 mm compression versus 10 mm distraction (1/5) and experimental subgroup II (10 rabbits) was set up as 3 mm compression versus 11 mm distraction (about 1/3). All 30 rabbits were set up to obtain final 8 mm distraction and sacrificed on postoperative 55 day to analysis on biomechanical, and histologic findings of the bone regenerates.

For second study, 22 adult male-rabbits were used to evaluate TMJ response after the DO method application with compression force. In the control group, 10 rabbits was used to be performed with conventional DO method, on the other hand, in a experimental group of 10 rabbits, 10 mm distraction with 2 mm compression (1/5 ratio) was done. The remaining 2 rabbits served as the normal control group. Histomorphologic examinations on both condyle, histological studies on condyle, disc were done at 1, 2, 3, 4, 7 weeks after distraction force application.

The results were as follows:

1. On the bone density findings, the experimental group II (force ratio - 1/3) showed higher bone density than the other experimental group (force ratio - 1/5) and control group (control group - 0.2906 g/cm², experimental group I - 0.2961 g/cm², experimental group II - 0.3328 g/cm²).

※ 본 연구는 2005년 부산대병원 단단위과제 임상연구비 지원으로 이루어졌음.

2. In the histologic findings, more rapid bone maturation like as wide lamellar bone site, more trabeculae formation was observed in two experimental groups compared to the conventional DO control group.
3. In morphologic findings of condyle , there were no differences of size and architecture in the condyle in the control and experimental groups.
4. In histologic findings of condyles, there were thicker fibrous and proliferative layers in experimental group than those of control group until 2 weeks after distraction with compression force. But, no differences were seen between two groups on 3, 4, 7 weeks after compression.
5. In histologic findings of disc, more collagen contents in extracellular matrix, more regular fiber bundles, and less elastin fibers were seen in experimental group than control group until 2 weeks after distraction with compression. But, no differences were seen between two groups on 3, 4, 7 weeks after distraction with compression.

From this study, we could identify that the new distraction osteogenesis technique with compression stimulation might improve the quality of bone regeneration. The no remarkable differences on TMJ response between control and experimental groups were seen and TMJ tissues were recovered similarly to normal TMJ condition after 3 weeks. These results appeared the DO technique might be a new tool with a few advantages for DO application.

Key words: Distraction Osteogenesis, Compression stimulation, Bone density, TMJ response

1. 서 론

안면골의 선천적 기형, 외상, 종양 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 다른방법으로 안면골 자체에서 요구되는 만큼의 골 형성 및 연조직 팽창을 유도할 수 있는 악골재건술이 있다면 이상적인 안면골 결손의 재건 방법으로 적합할 수 있을 것이다. 이에 해당되는 외과술식으로서는 신연골 형성술이 적합한 골 재생 술식으로 점차 각광을 받고 있다. 이 술식은 골절단술(osteotomy)이나 피질골 절단술(corticotomy)을 시행한 후 점진적인 견인력을 부여하여 골편을 이개시키고 신생골 생성을 유도하는 생물학적인 과정이다. 점진적인 견인력에 의해 발생된 인장력의 영향으로 피부, 근막, 근육, 인대, 혈관 및 말초신경을 포함하는 다양한 조직들에서 활발한 조직재형성과정이 일어난다. 골결손부를 재건하거나 선천적으로 짧은 부위의 안면골 길이를 늘려줄 수 있다는 점 등에서 이 술식은 현재 악안면 외과의 중요한 분야로 인식되고 있다.

신연골형성술의 적용은 1905년 Codivilla¹⁾에 의한 사지골 신연골형성술로 처음 시행되었고, 1950년대에 Ilizarov^{2,3)}는 새로운 원형 외 고정기구를 이용하여 점진적이고 지속적인 신장력을 적용함으로써 상당한 신생골을 얻었다고 보고하였다. 악안면 영역에서는 1973년 Snyder 등⁴⁾이 개의 하악골을 이용한 실험결과를 처음으로 보고하였고, 1992년 McCarty 등⁵⁾은 구외장치를 이용하여 하악골을 신장시킨 임상증례를 처음으로 보고하였다. 이후 구내장치^{6,7)}를 이용한 골신연 술식을 통하여 하악골 외에도 상악골, 협골, 안와, 두개 등의 악안면 전 분야의 치료에 적용되고 있다.

신연골형성술은 골절단(osteotomy), 잠복기(latency period), 신연기(distraction period), 경화기(consolidation period)의 4단계로 구성되며, 이의 성공적인 적용을 위해 최적의 잠복기 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 이루어질 수 있다. 이러한 단점을 극복하기 위한 방법이 연구되고 있으며 이에 저자 등은 신연후 단지 골화를 기다리는 골 경화기 시기에 골신연 방향과 역방향으로 골수축력을 가하여 신생골의 골화를 자극시키는 원리로서 전체 신연골의 골질을 보다 향상시키고 신연기 동안 잘못된 방향으로

힘이 부여되어 비대칭성으로 신장된 악골 증례에서도 물리적 수정이 가능한 신연술을 고안하게 되었다. 이에 대한 기초연구로서 신생 신연골의 골질향상을 위해 2002년 김 등⁸⁾은 실험연구를 통해 신생골의 보다 나은 골질 개선과 경화기간의 단축을 위해 통법의 골신장술식과 같이 골절단, 잠복기, 신연기를 부여하고 경화기 동안에는 역으로 수축력 (compression force)을 부여하는 술식을 개발하여 실험동물에 적용함으로써 조직학적, 방사선학적 연구로서 보다 나은 골질 형성을 확인하였고, 이 술식은 전체 골형성 유도기간도 단축시킬 수 있으리라 제안한 바 있다. 또한 후속 연구로서 2005년 김 등⁹⁾의 백서 실험연구에서는 적절한 압축력 적용시기 및 압축량을 연구한 결과 골 신장 완료 후 3일째에 압축력을 적용하고, 압축력대 신장력 대비 1/3 또는 1/5 이 되었을 때 신생골이 보다 나은 신생 골질 형성을 유도할 수 있는 조건임을 골밀도 연구 등을 통해 보고한 바 있다. 이에 본 연구는 후속연구로서 가토의 하악골을 대상으로 신생골 형성조건을 보다 명확히 검증하고자 실험을 계획하였다.

한편 하악 골 신장술시에는 악관절 과두부의 기계적 하중과 관련된 변화를 이해하여야 하고 그에 대한 연구가 아울러 지속적으로 보고되고 있다¹⁰⁻¹²⁾. 하악골 신장시 신장속도 및 신장량에 따른 하악 과두, 관절원판, 원판 후방 부착조직 등 악관절 조직의 조직 형태학적 반응에 대한 연구와 효과적인 골 신장술식에 대한 연구도 보고되었다¹³⁾. McCormick 등¹¹⁾은 개의 하악골체부에서 골신장을 위한 신장 장치를 이용한 실험에서 신장축의 하악 과두 후방부의 평탄화와 과두연골의 두께 감소 및 과두 전방부에서의 골 침착을 보고하면서, 골신장력으로 인해 악관절부 골의 변화가 초래하지만 악관절 반응은 미미하며 가역적이라 보고한 바 있다. Harper 등¹²⁾은 하악 중중부에서의 골 신장술에서 하악 과두연골에서의 조직학적 차이점으로서 과두의 후 측방과 전 내방에서 연골의 조직변화가 관찰되었으며 과두에서 발생하는 회전력의 정도에 따라 변화의 정도가 다르게 나타났다고 보고하였다. Salter 등¹⁴⁾은 가토 무릎관절 연골 결손 부 골신장술에 따른 회복정도는 완전 골간고정이나 적극적인 운동보다는 지속적이었으며 수동적인 운동이 미분화 간엽세포의 전이를 촉진한다고 보고하였다. 본 실험에서는 저자 등이 제안한 신장술 적용시 악관절조직에 미치는 영향을 알아보고자 악관절의 과두와 원판조직의 조직변화를 관찰하여 새 신장 술식의 안전성을 검토하고자 하였다.

이에 본 연구는 저자 등이 제안한 압축자극을 병용한 하악골 신연술방식에서 보다 적합한 압축력부여조건을 파악하고자 가토의 하악을 실험재료로 적용하여 일차 실험연구로 신생 신연골에 대한 골 밀도검사 및 골 조직검사를 시행하여 비교분석하였고 이차 실험연구로 악관절부위의 변화정도를 파악하고자 하악과두와 관절원판의 조직학적 소견과 과두의 형태 계측학적 변화를 관찰하여 새 개념의 신장술의

골 재생 효능을 재확인하고 임상 적용 시 기초 자료로 활용하고자 하였다.

II. 연구재료 및 방법 (실험 I, 실험 II)

실험 I.

1-1. 연구재료

실험동물로는 체중 3 kg 내외의 건강한 웅성 가토 30마리를 사용하였고, 신장력 및 수축력을 적용하기 위한 장치는 교정용 확대 스크류(Expansion screw, Dentarum, Germany)와 자가중합레진(Clearfil F II, Kuraray, Japan)을 이용하여 자체 제작하였으며, 가토 하악골의 고정을 위해 직경 2 mm, 길이 20 mm의 티타늄 스크류(제일메디칼 코퍼레이션, 한국)를 이용하였다. 장치물은 교정용 확대 스크류를 위한 핀을 이용하여 신장 또는 수축되었으며, 360°회전 시 0.5 mm의 선형적인 길이 변화가 있었다. 최장 11 mm까지 신장할 수 있었다. 신장력은 장치물의 시계방향 회전으로, 수축력은 반시계방향 회전으로 적용되었다.

1-2. 연구방법

1) 실험방법

(1) 동물 실험 방법

전신마취를 위해 Ketamine HCl(Ketalar[®], Yuhan, Korea) 50 mg/kg과 Xylazine(Rumpun[®], Bayer, Korea) 10 mg/kg을 가토의 대퇴부에 근육주사하였다. 마취 유도된 가토의 하악 부위를 제모한 뒤 베타딘으로 소독하여 수술대 위에 고정하였다. 수술 중 지혈 목적으로 1:100,000 에피네프린을 함유한 2% Lidocaine HCl을 수술부위에 주사하였다. 또한 감염 예방 목적으로, 수술 전에 동물용 겐타마이신(Gentamycin, 녹십자, 한국) 5 mg/kg을 대퇴부에 근육주사하였다. 가토의 하악연을 따라 수평절개하고, 장치물 장착부위의 근육과 골막을 최소한으로 박리하였다. 이 때 소구치 전방부에서 이공을 통해 나오는 이신경을 확인하고 조심스럽게 견인한 후, 치과기공용 디스크를 이용하여 골절단부를 설정하였다. 피질골 절단 부위가 장치의 중앙부에 오도록 구멍을 뚫고, 20 mm 티타늄 스크류를 고정하였다. 신장장치물을 정 위치에 놓고 자가중합레진(Clearfil F II, Kuraray, Japan)을 이용해 고정하였고, 이후에 고정된 장치물이 잘 유지되는 지, 실제로 신장과 수축이 잘 일어나는 지를 검사하였다. 이후 골막과 근육은 4-0 dextron으로, 피부는 5-0 nylon으로 층별 봉합하였다.

(2) 실험군 신장력 및 압축력 적용방식

최종적인 8 mm 신생골을 얻기 위한 술식으로, 모든 실험 동물은 골절단술 시행 5 일 후에 골신장술을 시작하였다. 10 마리의 가토에서 하루 1 mm의 속도로 10일간 골신장을 시행하고, 3일간의 잠복기 부여 후 역으로 2 일간 2 mm의 골수축을 시행하는 것을 실험군 I (골수축/골신장 비 - 1/5)로 정하였고, 또 다른 10 마리의 가토에서 하루 1 mm의 속도로 11일간 골신장을 시행한 후, 3일간의 잠복기 부여 후 역으로 3 일간 3 mm의 골수축을 시행한 것을 실험군 II (골수축/골신장 비 - 1/3)로 정하였다. 모든 실험동물은 실험 시작 55 일 후 희생시켰다. 실험도중 감염 및 동물이 희생된 경우는 제외하여 각 군당 각각 7마리, 8마리씩 표본을 채취하였다(Fig. 1).

(3) 대조군 신장력 적용방식

10 마리의 가토에서 골절단술 시행 5 일 후에, 하루 1 mm의 속도로 8일간 골신장술을 시행하고, 골신장이 완성되고 6 주가 경과한 시점인 실험 시작 55일 후에 최종 표본은 8마리가 획득되었다.

(4) 표본처리

가토에 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 조직고정을 위해서 4% 중성 포르말린 용액을 30분간 주입하였다.

관류고정 이후에 고정장치를 장착한 하악골의 측면을 적출하였다. 절취한 조직검체는 10% 중성 포르말린에 3일간 고정시키고, 5% formic acid-sodium citrate 방법으로 5 일간 탈회를 시행하였다. 통상의 방법으로 파라핀 포매를 시행하여 4 μm 두께의 조직절편을 제작하였다.

2) 표본 검사법

(1) 육안적 관찰

가토의 희생 후 절제된 하악골에서 골의 치유 상태나 신생골 생성 정도를 육안적으로 관찰하였다.

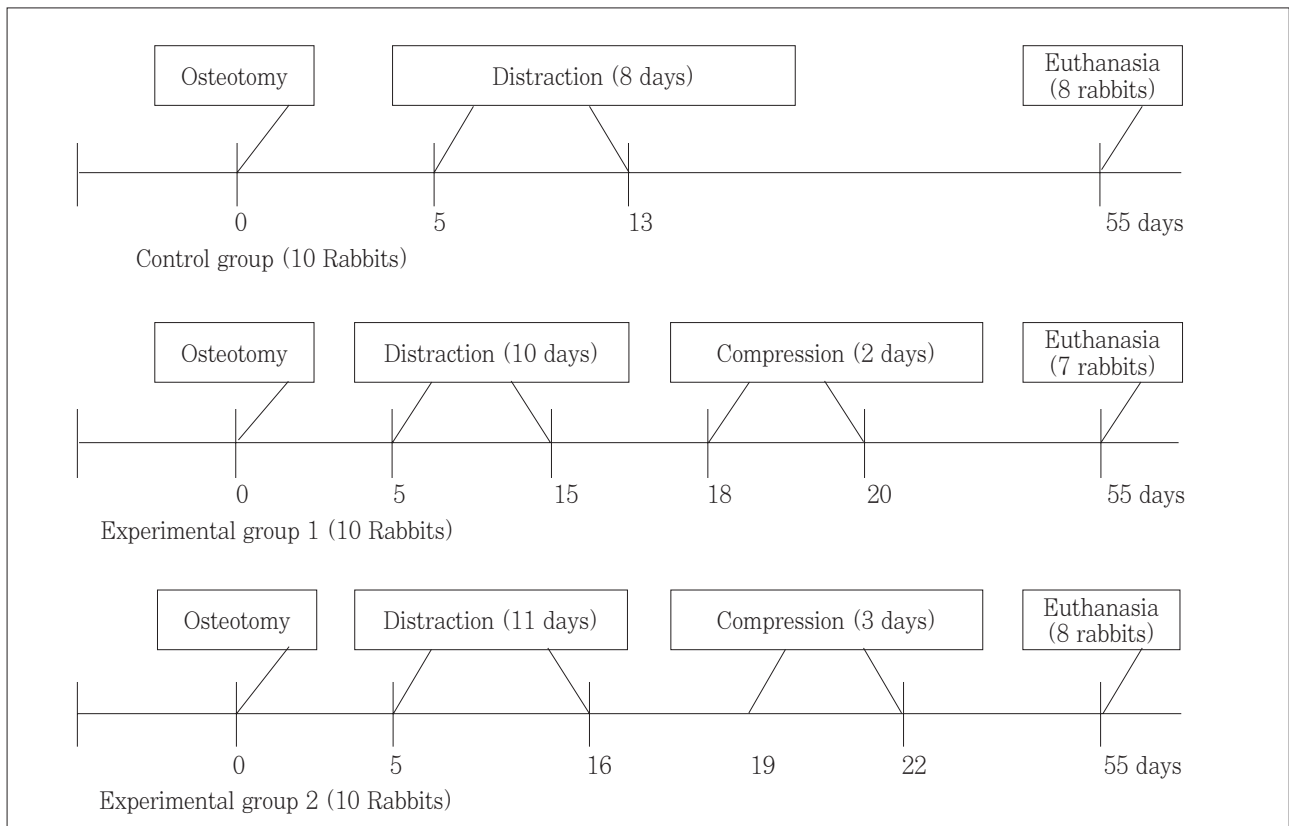


Fig. 1. Experiment I. schedule.

(2) 골밀도 측정 검사

최종적으로 형성된 8 mm 신생골 부위에서, 지정된 범위의 전체 골수 면적에 대한 석회화된 골의 질량(g/cm²)을 백분율로 표시하는 골밀도(bone mineral density) 측정을 시행하였다. 골밀도 측정은 dual energy x-ray absorptiometry (DEXA)를 이용하는 bone densitometer (non-human use, Piximus, WI, USA)를 통해 시행하였다.

(3) 조직학적 검사

생역학적인 검사에 사용한 것을 제외한 표본은 현미경적 관찰을 위해 H-E stain으로 염색한 이후 광학현미경 (Olympus BH 60, Japan)으로 관찰하였다.

(4) 통계학적인 분석

골 밀도 검사에 대한 통계분석은 SAS. 9.2 (SAS Inc., NC, USA)를 이용해서 각 군간 골밀도 평균값에 대해서 one-way ANOVA 법을 이용한 유의성 검사를 시행하였고 유의확률 값이 0.05보다 작을 때 통계적으로 유의성이 있다고 판단하였다.

실험 II.

2-1. 연구 재료

1) 실험 동물

체중 3 kg 에 가까운 건강한 웅성가토 22마리를 엄선하

여 그중 2마리는 비 실험 정상군, 10마리는 대조군으로 사용하고 나머지 10마리는 실험군으로 사용하였다.

2) 실험 재료

신장력 및 수축력을 적용하기 위한 골 신장 장치는 교정용 확대 스크류(Expansion screw, Dentarum, Germany)와 자가중합레진(Orthodontic resin, Densply, USA)을 이용하여 자체 제작하였으며, 가토 하악골의 고정을 위해 쓰인 장치물은 실험 I의 방식과 동일하게 적용하였다.

2-2 .연구 방법

1) 실험 방법

(1) 동물실험방법 - 실험 I 과 동일하게 가토 하악골에 골 절단술을 시행하고 신장장치를 장착하였다.

(2) 실험군의 골신장력 및 압축력 적용 방식

골 절단 후 5일간의 잠복기를 부여하고 골 신장을 시작하였다. 하루 1 mm 씩 10일간 총 10 mm의 골 신장을 시행한 후, 3일간의 잠복기를 부여하였고 역으로 하루 1 mm 씩 2일간 총 2 mm 의 골 수축을 시행하였다. 이는 골 신장에 대한 골 수축의 비율 1/5 이 유리한 조건임을 나타낸 선행의 김 등⁹⁾ 논문에 근거하였으며, 최종적으로 대조군과 동일한 8 mm의 골 신장을 이루고 경화기를 부여하였다.

실험동물의 희생 시기는, 실험군 에서는 골 신장-수축 직후 (술 후 20일, DO 1주에 해당), 골 경화기 1주(술 후 27일,

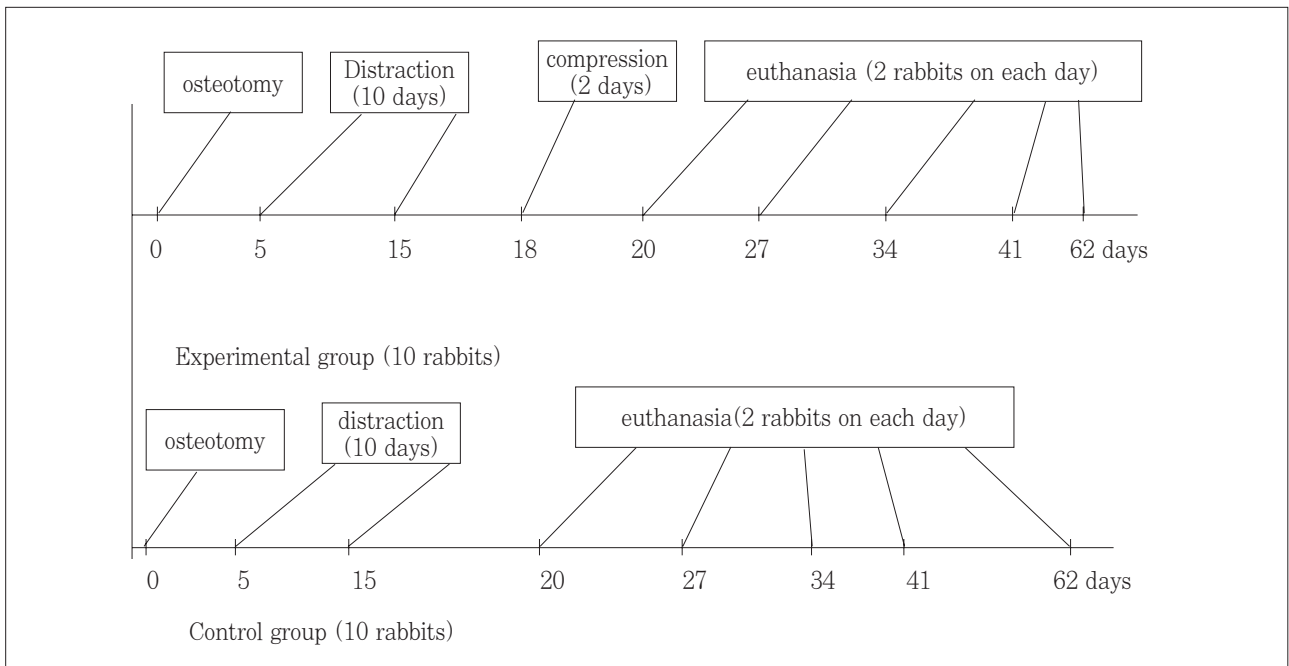


Fig. 2. Experimental II. schedule.

DO 2주), 골 경화기 2주(술 후 34일, DO 3주), 골 경화기 3주(술 후 41일, DO 4주), 골 경화기 6주(술 후 62일, DO 7주)에 각각 2마리의 가토를 희생하여 하악 과두와 관절 원판의 조직형태학적 변화를 관찰 및 계측하였다(Fig. 2).

(3) 대조군의 골신장력 적용 방식

실험군과 동일한 방법으로 실험 동물에 골 신장장치를 장착하여 골 절단후 5일간의 잠복기를 부여한 뒤 통법의 골신장술식 방식으로 하루 1 mm 씩 8일간 총 8 mm의 골 신장을 시행한 후 경화기를 부여하였다.

실험동물의 희생시기는 실험군에서의 희생시기와 동일한 시기인 술후 20일, 27일, 34일, 41일, 62일에 각각 2 마리의 가토를 희생하여 하악 과두와 관절 원판의 조직형태학적 변화를 관찰하였다. 정상 비실험군은 2 마리의 가토과두를 이용하였다(Fig. 2).

2) 표본 제작

적출한 하악 과두와 관절원판은 10% 포르말린에 3일간 고정하고, 5% 질산을 이용하여 탈회하였다. 탈회액은 질산 5 ml, 37~40% 포르말린 10 ml, 증류수 90 ml를 혼합하여 만들었다. 탈회는 하악 과두만 24시간 시행하였으며, 탈회가 끝나면 조직을 5% 황산나트륨 수용액에 12시간 담근 후 수세하고 15시간 동안 알코올로써 탈수한 후 크실렌에 3단계에 걸친 투명화, 파라핀으로 2단계의 침투과정을 거쳤다. 그 후 파라핀으로 포매를 하였으며, 마이크로톰으로 4 um 두께로 하악 과두와 관절원판의 내외측 중간부분에서 슬라이드를 제작하여 H-E 염색, Van Gieson 염색, Verhoeff elastin 염색으로 이중염색하였다.

3) 표본 관찰

(1) 육안적 관찰

하악 과두 및 관절 원판 적출시 과두부 함몰이나 기타 해부학적 형태 변화 여부와 관절 원판의 천공이나 탄력성 소

실여부와 같은 특이소견을 육안으로 직접 관찰한다.

(2) 하악 과두 형태학적 검사

골 신장과 압축력에 대한 하악 과두부의 형태변화를 관찰하고자 동물 실험에서 적출한 가토 하악 과두에 대한 직경과 폭경을 계측하기 위해 micro-caliper를 사용하여 실험군 및 대조군에서의 신장축과 반대축 하악과두에 대해 측정하여 얻은 값을 SAS 9.2 (SAS Inc. NC, USA) 통계프로그램을 써서 student-t test를 적용하였다.

(3) 하악 과두 및 관절 원판에 대한 조직학적 검사

제작한 조직 슬라이드는 통상의 방법으로 하악 과두와 관절원판에 대하여 H-E (Hematoxylin-eosin) 염색을 시행하고, 또한 하악 과두부 조직에 Van Gieson 염색, 관절원판 조직에 Van Gieson collagen 염색을 대조 염색으로 적용 후 Verhoeff's elastic 염색을 중복 시행하여 광학현미경 (Olympus BH 60, Japan)으로 검경하였다.

Ⅲ. 연구결과 (실험 I, 실험 II)

실험 I.

1-1. 골밀도 측정 분석

골 밀도 측정 결과, 대조군에 비해 실험군들의 골 밀도 수치가 다소 높게 나타났다. 하지만 이에 대한 통계적 검사 결과, 각 군의 평균값은 통계적으로 유의성 있는 차이는 보이지 않았다(Table 1).

1-2. 조직학적 소견

대조군에서는 신장골 부위에 출혈소견과 함께 아교질 섬유, 신생혈관을 동반한 육아 조직의 흔적이 소량 관찰되었

Table 1. The Density Values of Bone Regenerate (g/cm²)

Groups Animal No.	Control	Experimental 1	Experimental 2
1	0.2133	0.1935	0.3112
2	0.2304	0.2722	0.4068
3	0.3317	0.3160	0.3485
4	0.3602	0.3198	0.3341
5	0.4006	0.4748	0.4077
6	0.3102	0.2254	0.3591
7	0.2510	0.2710	0.3128
8	0.2270	×	0.1821
Mean	0.2906	0.2961	0.3328



Fig. 3. DO site of Control group.

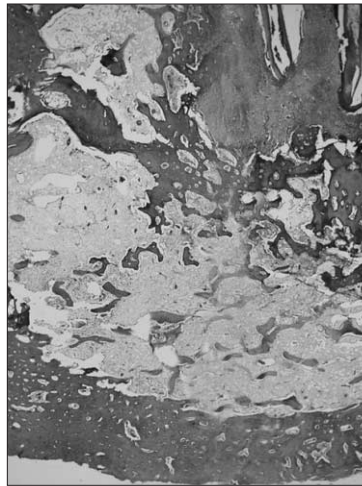


Fig. 4. DO site of Experimental group 1.

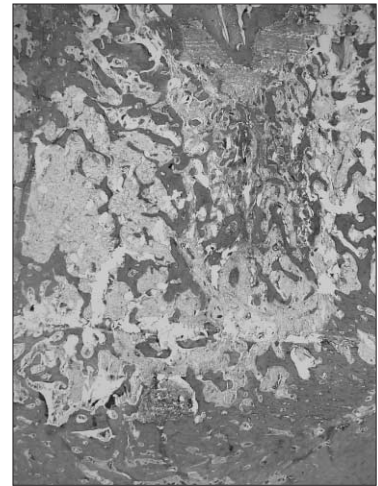


Fig. 5. DO site of Experimental group 2.

고, 연골내골화 중심의 가골 형성이 보였다(Fig. 3).

실험군 1에서는 신장골 부위에 출혈과 육아 조직은 거의 남아 있지 않고, 섬유성 조직의 증가 소견이 보이며, 가골 형성 부위의 유골이 성숙 층판골로 대체되고 있었다. 막내골화 또는 연골내골화가 진행되는 부위는 뚜렷하지 않았으며 대조군에 비해 약간 골 형성 증가가 나타났다(Fig. 4). 실험군 2에서는 신장골 부위에서 대조군보다 증가된 골 형성 소견이 보였고, 실험군 1에서 보였던 섬유성 조직 부위에서 성숙된 골 조직을 관찰할 수 있었으며 대부분 유골에서 성숙골로 대체된 모습을 보였으며 대조군에 비해 광범위한 층판골 형성부위가 관찰되었다(Fig. 5).

실험 II.

2-1. 하악 과두 궤적변화 검사

- 1) 실험군
- 2) 대조군

하악 과두크기의 체적검사 결과 수축력 병용 골신장술을 시행한 실험군에서 신장측 하악과두 장경은 반대측의 하악과두 장경과 형태학적으로 유의한 차이점이 없었고, 실험군 신장측 하악과두 폭경에 대한 계측결과 반대측 과두 폭경에 비해 다소 적게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지

Table 2. Measurement of condylar morphology in experimental group (A-P: length of condyle, M-L: width of condyle. n=10)

experimental group	A-P(Rt)	A-P(Lt)	P-value	M-L(Rt)	M-L(Lt)	P-value
E0	10.8	10.9		4.8	4.5	
E0	11.2	10.2		4.2	5.1	
E1	10.4	10.1		4.5	4.3	
E1	11	10.75		5.15	5.95	
E2	12.1	12.2		4.7	5.15	
E2	10.9	11.0		5.0	4.8	
E3	10.85	11.2		5.35	5.3	
E3	11.1	11.45		5.75	6.3	
E6	11.65	11.4		5.35	5.1	
E6	11.45	11.45		5.0	5.3	
mean	11.15	11.07	.541	4.98	5.18	.200

E0 : 0 week after compression (1 week later after DO).

E2 : 2 weeks after compression (3 week later after DO).

E6 : 6 weeks after compression (7 week later after DO).

E1 : 1 week after compression (2 week later after DO).

E3 : 3 weeks after compression (4 week later after DO).

Table 3. Measurement of condylar morphology in control group

(A-P: length of condyle, M-L: width of condyle. n=10)

control group	A-P(Rt)	A-P(Lt)	P-value	M-L(Rt)	M-L(Lt)	P-value
C0	10.2	10.8		5.4	4.6	
C0	10.3	10.5		5.1	5.3	
C1	11.0	10.8		4.6	4.6	
C1	10.4	10.4		4.3	4.8	
C2	11.2	10.9		5.0	5.4	
C2	10.4	10.2		4.7	4.5	
C3	10.9	10.5		5.6	5.2	
C3	11.3	11.3		5.25	5.4	
C6	12.3	12.1		5.9	6.6	
C6	10.35	11.0		4.4	4.25	
mean	10.84	10.85	899	5.03	5.07	784

C0 : 1 week later after DO
C3 : 4 weeks later after DO

C1 : 2 weeks later after DO
C6 : 7 weeks later after DO

C2 : 3 weeks later after DO

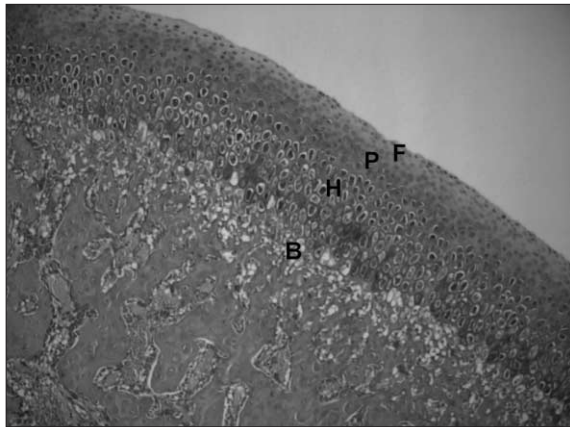


Fig. 6. Normal condyle (H-E stain, ×100).

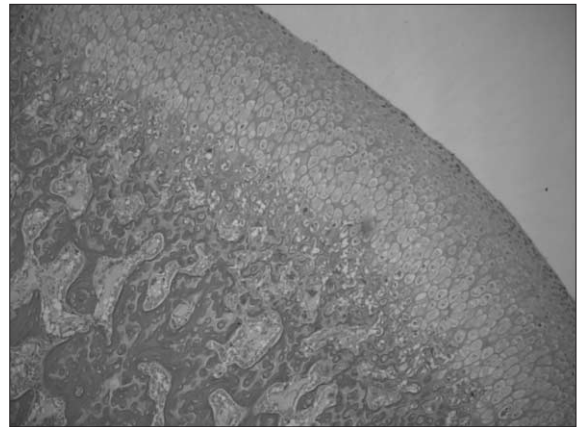


Fig. 7. Normal condyle (Van Gieson stain, ×100).

지 않았으며 대조군 또한 신장측 하악과두의 장경과 폭경이 반대과두의 것과 통계적으로 유의한 차를 보이지 않았다 (Tables 2, 3).

2-2. 하악 과두와 관절 원판에 대한 조직학적 검사

1) 하악 과두

(1) 정상군 과두조직 소견

섬유층(fibrous articular layer)에서는 방추형 핵을 가진 세포와 섬유성의 세포의 기질로 구성되어 있었고 세포와 교원 섬유 다발의 주행 방향이 관절면과 나란하면서 일정하였고, 증식층(proliferative layer)은 난원형의 큰 핵을 갖는 여러 층의 세포가 일정한 배열 상태를 보였으며, 비대층과 하부 골조직의 경계부위가 관절면과 나란하며 일정한 두

께를 가진 소견을 보였다(Figs. 6, 7, F: fibrous layer, P: proliferative layer, H: hypertrophic layer, B: bone).

(2) 실험군 조직 소견

① 수축력 적용 직후(DO 1주 후와 동일)

과두 연골의 H-E염색상에서 실험군에서의 증식층의 두께가 정상군에서의 증식층에 비해서는 얇아져 있었으나 연골 세포의 규칙성도 대조군에 비하여 좋았다. Van Gieson 염색에서는 실험군, 대조군 모두에서 정상군에 비해 진하게 염색되어 교원질 함량의 증가가 관찰되었고, 실험군이 대조군에서보다 더 진하게 염색됨으로 보아 세포의 기질에서 더 많은 교원질 증가가 관찰되었다. 실험군과 대조군 모두에서 하부 골조직에서의 골 흡수 양상은 관찰되지 않았다(Figs. 8~11).

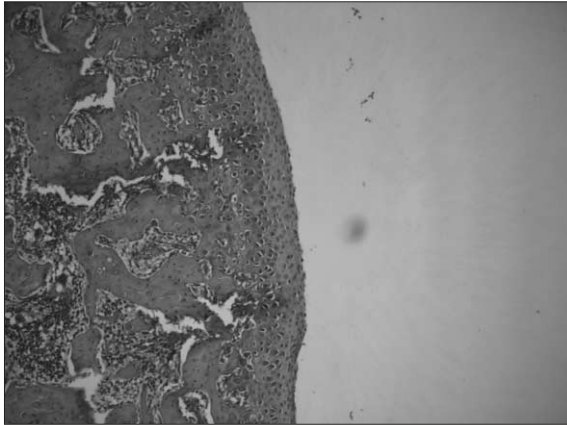


Fig. 8. Experimental condyle (H-E, ×100).

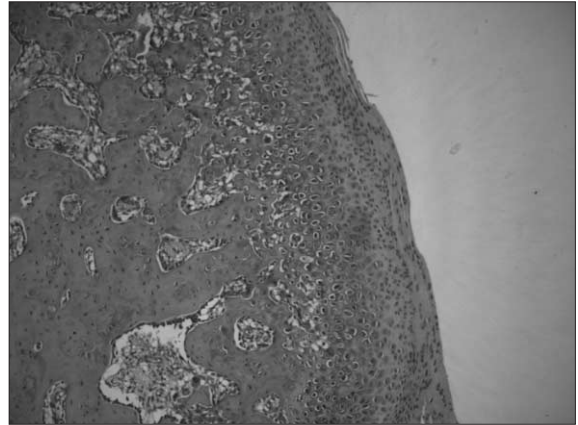


Fig. 9. Control condyle (H-E, ×100).

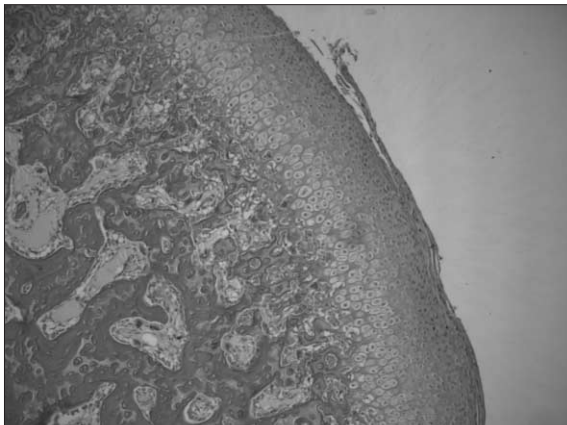


Fig. 10. Exp. condyle (Van Gieson, ×100).

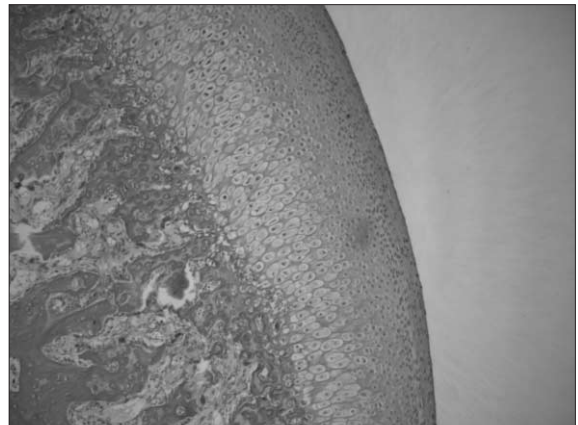


Fig. 11. Control condyle (Van Gieson, ×100).

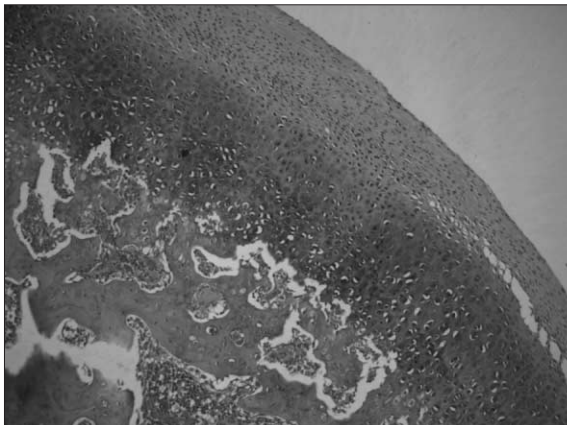


Fig. 12. Exp. condyle (H-E, ×100).

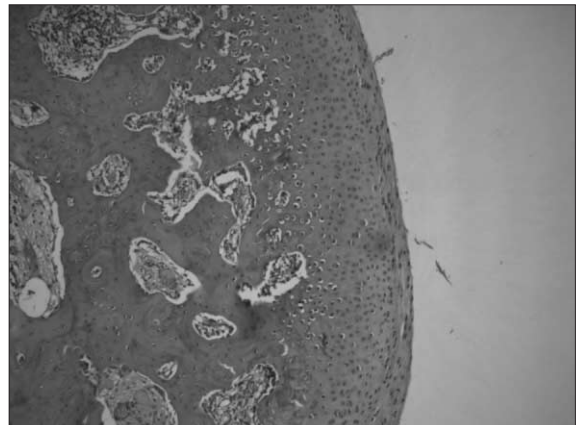


Fig. 13. Control condyle (H-E, ×100).

② 수축력 적용 1주 후(DO 2주 후와 동일)

실험군의 과두 연골은 H-E 염색상에서는 대조군에 비해 증식층이 상당히 두껍고 연골 기질의 농도가 강하게 나타났으며 연골세포의 수도 대조군에 비해 많이 관찰되었다. Van Gieson 염색에서는 실험군이 대조군보다 짙게 염색되어 세포외기질의 교원질이 보다 많이 형성되었다(Figs. 12~15, 수술 20일째).

③ 수축력 적용 2주 후(DO 3주 후와 동일)

실험군의 과두 연골은 H-E 염색상에서 대조군에 비해 섬유층이 더 두껍고 증식층의 두께도 더 두터우며 연골 기질의 농도도 대조군보다 다소 우수하게 나타났다. 실험군의 연골강(lacunae)이 더 크게 보이고 증식층의 세포 크기도 크게 나타났다. Van Gieson 염색에서의 교원질 형성정도는 대조군과 유사하게 나타났다(Figs. 16~19, 수술 27일째).

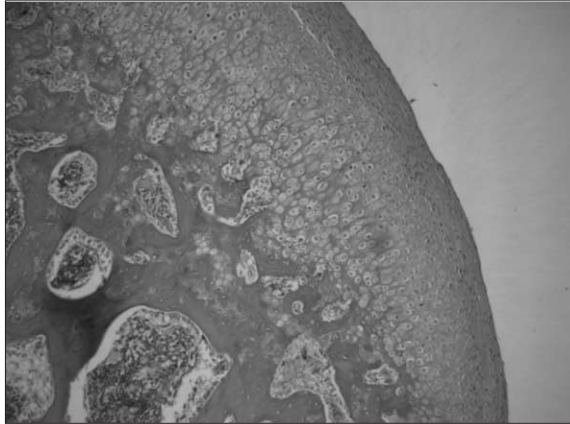


Fig. 14. Exp. condyle (Van Gieson, ×100).

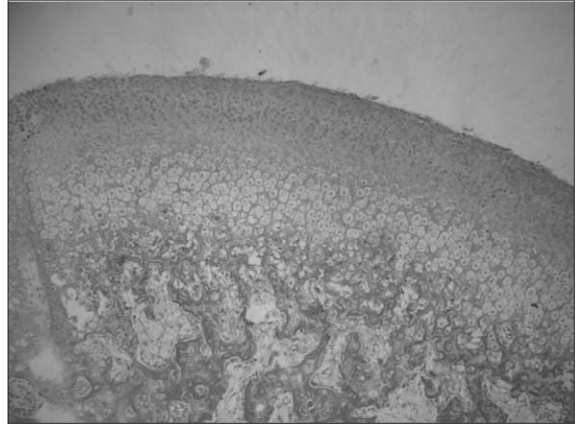


Fig. 15. Control condyle (Van Gieson, ×100).

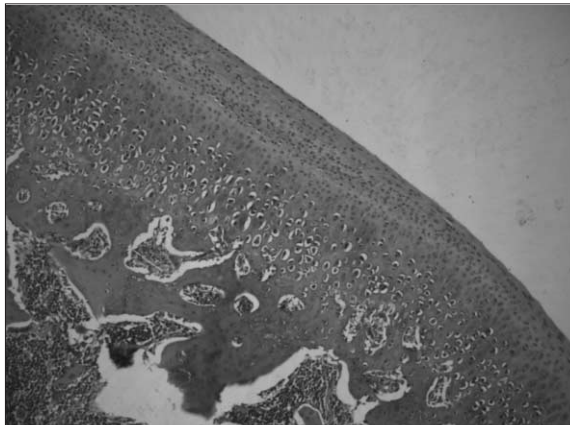


Fig. 16. Exp. condyle (H-E, ×100).

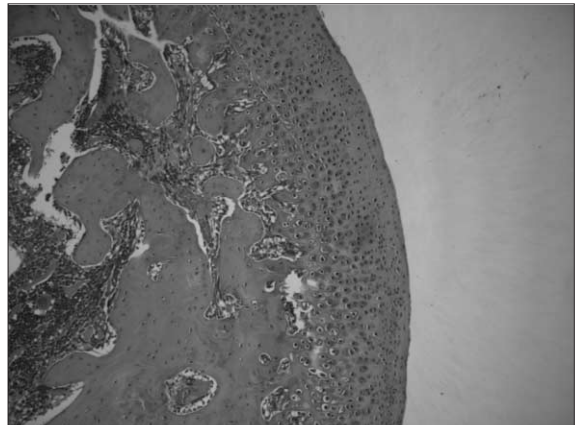


Fig. 17. Control condyle (H-E, ×100).

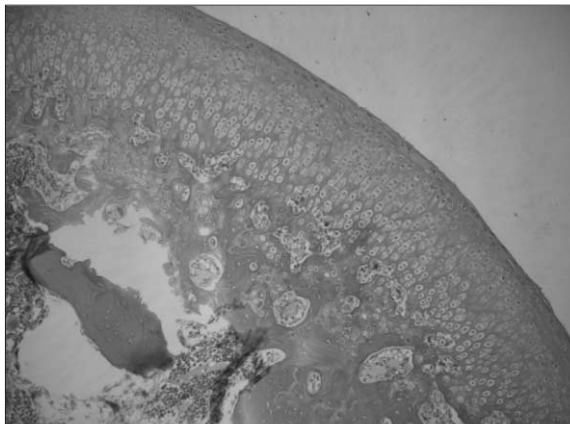


Fig. 18. Exp. condyle (Van Gieson, ×100).

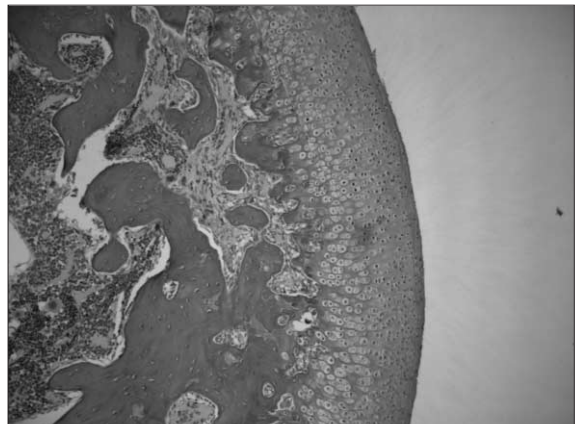


Fig. 19. Control condyle (Van Gieson, ×100).

④ 수축력 적용 3주 후(DO 4주 후와 동일)

실험군의 과두 연골은 대조군의 과두연골과 비슷한 층별 두께를 보이고 세포의 크기도 서로 비슷하게 보였다. 그러나 실험군에서 세포 크기가 더 크고 교원질 성분이 더 많이

관찰되었다. 대조군에서도 연골강이 보이기 시작하였다. Van Gieson 염색상 에서의 교원질 농도는 대조군과 거의 유사하게 관찰되었다(Figs. 20~23, 수술 41일째).

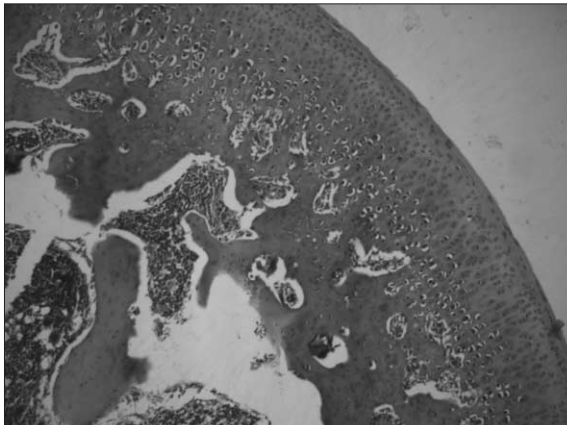


Fig. 20. 20. Exp. condyle(H-E, ×100).

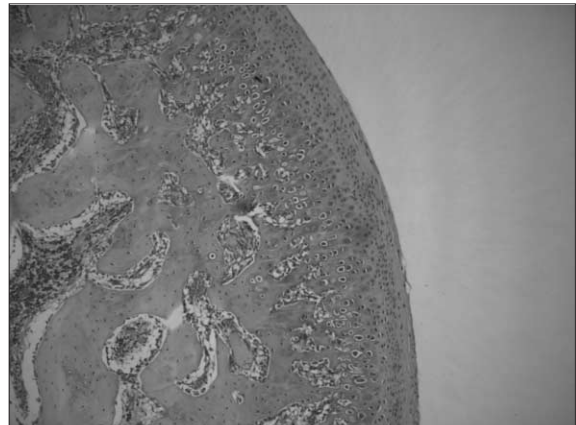


Fig. 21. 21. Control condyle (H-E, ×100).

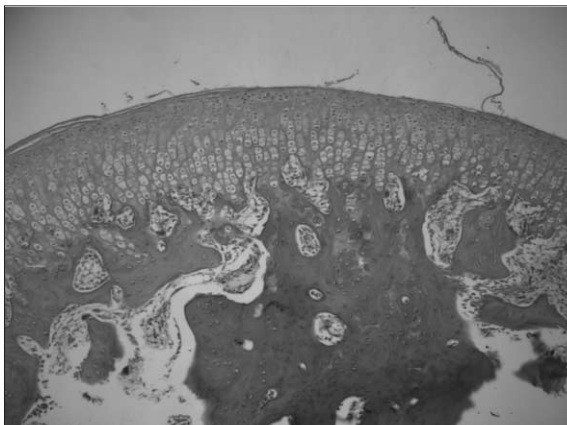


Fig. 22. Exp. condyle (Van Gieson, ×100).

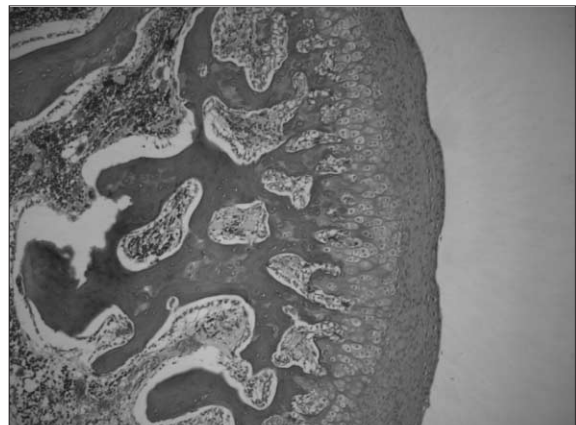


Fig. 23. Control condyle (Van Gieson, ×100).

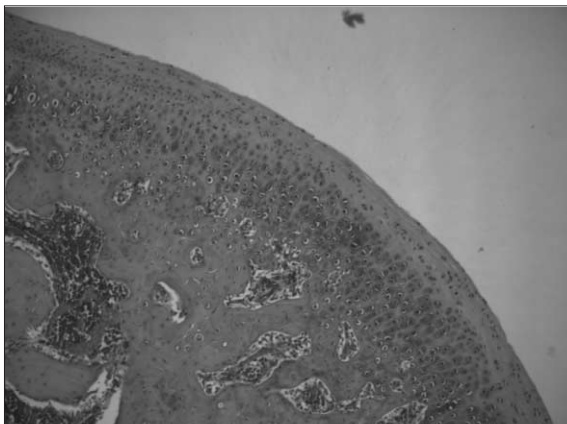


Fig. 24. Exp. condyle (H-E, ×100).

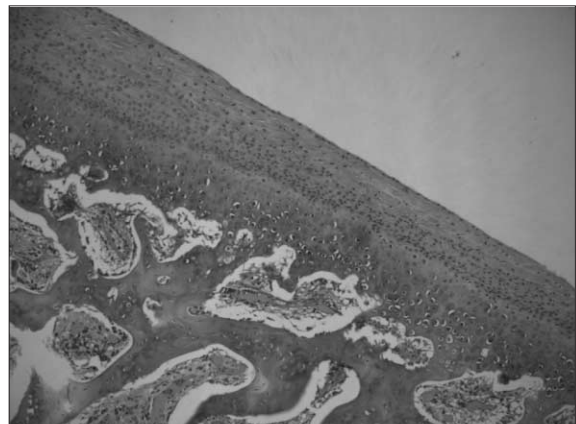


Fig. 25. Control condyle (H-E, ×100).

⑤ 수축력 적용 6주 후(DO 7주 후와 동일)

과두 연골부에서 실험군과 대조군의 조직 소견 차이는 크게 없이 정상군과 유사한 양상이었고, 실험군에서 세포의 크기가 미미하게 작고, 섬유층의 활성화도가 약간 남아있었으며, 하부 석회화층의 활성화도가 다소 떨어져 보였다. 대조군의 연골강의 형성이 증가되었다(Figs. 24, 25, 수술 62일째).

2) 관절 원판

(1) 정상군 조직 소견

관절 원판은 주로 굵은 교원 섬유와 탄력 섬유로 구성되어 있었으며 이들 섬유 들은 전후방으로 규칙적인 배열된 소견을 보이며 연골세포양 세포(chondrocyte-like cell)들이 전후방으로 배열되어 있었다(Fig. 26).

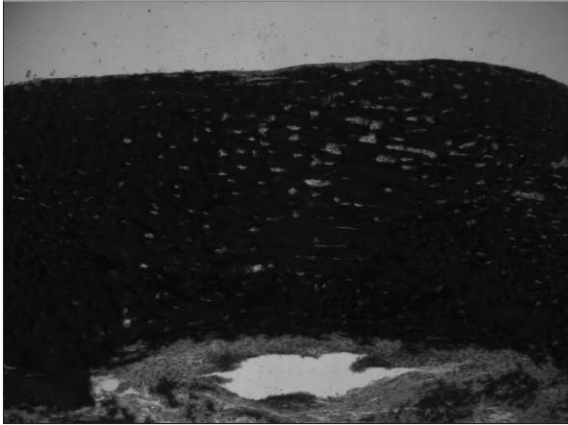


Fig. 26. Normal disc (Verhoeff's /H-E double stains).

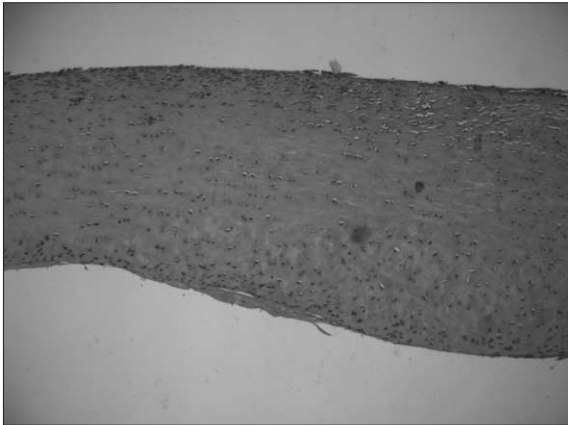


Fig. 27. Exp. disc(H-E, ×100).

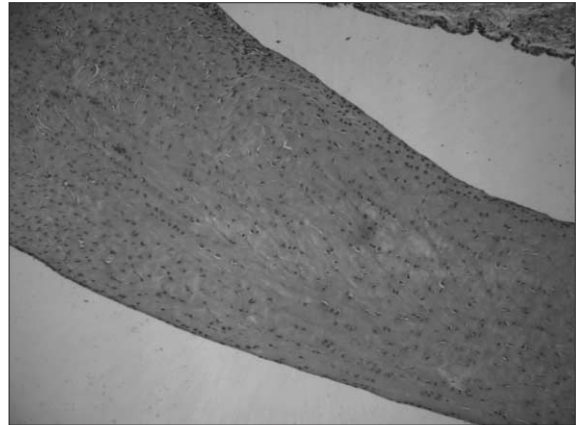


Fig. 28. Control disc (H-E, ×100).

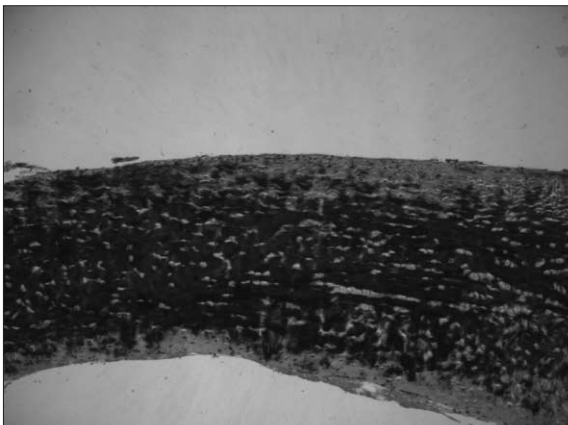


Fig. 29. Exp. disc (Verhoeff, ×100).

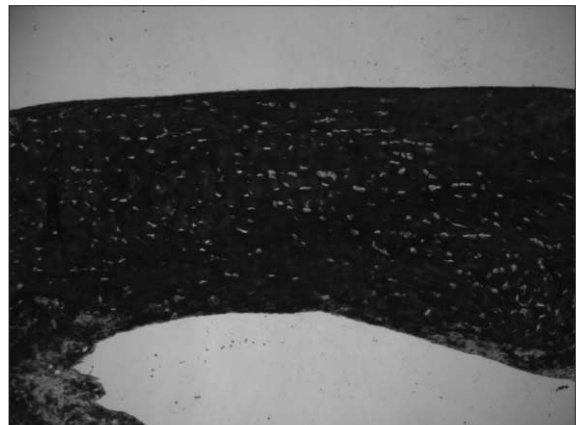


Fig. 30. Control. disc (Verhoeff stain ×100).

(2) 실험군

① 수축력 적용 직후(DO 1주 후와 동일)

관 원판 H-E 염색상에서는 실험군이 대조군에 비하여 연골세포양 세포(chondrocyte-like cell)수가 적게 관찰되었

고, 이중염색으로 탄성섬유를 관찰하기 위한 Verhoeff's elastin 염색상에서는 대조군과 비교하여 실험군에서의 탄성 섬유 양은 적게 나타났다(Figs. 27~30).

② 수축력 적용 1주 후(DO 2주 후와 동일)

관절원판에서는 H-E 염색상 실험군에서는 세포수가 대조군에 비해 적지만 교원질이 많고 섬유다발은 두껍고 규칙성이 있는 배열상태를 보였으며, Verhoeff's elastin 염색상으로는 실험군과 대조군의 염색양상이 유사하게 관찰되었다(Figs. 31~34, 수술 20일째).

③ 수축력 적용 2주 후(DO 3주 후와 동일)

실험군에서의 H-E 염색상 관절원판은 대조군에 비해 교원질의 배열상태가 규칙적이었으며 거의 정상군과 유사하게 보였고, Verhoeff's elastin 염색상으로는 실험군에서 대조군에 비해 탄성 섬유의 양은 적고 교원질의 양이 많게 나타났다(Figs. 35~38, 수술 27일째).

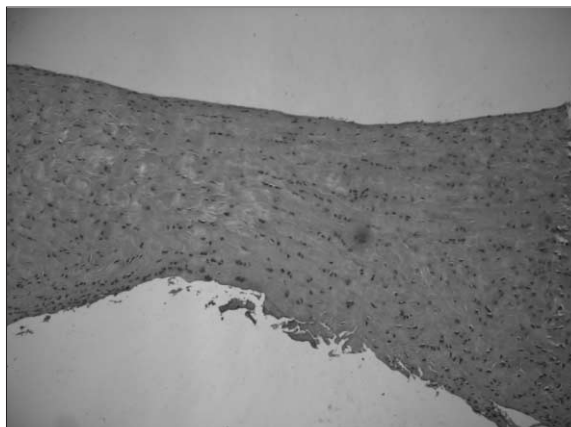


Fig. 31. Exp. disc (H-E, ×100).

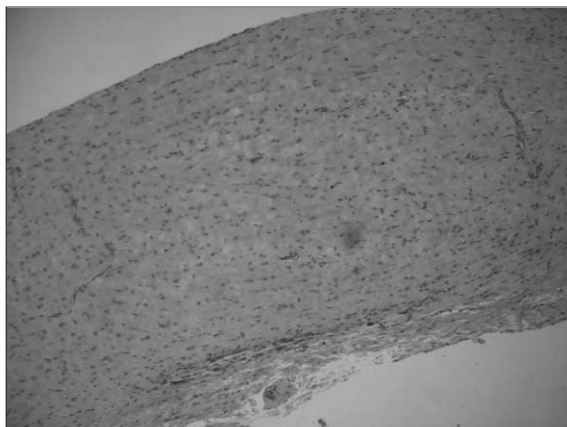


Fig. 32. Control disc (H-E, ×100).

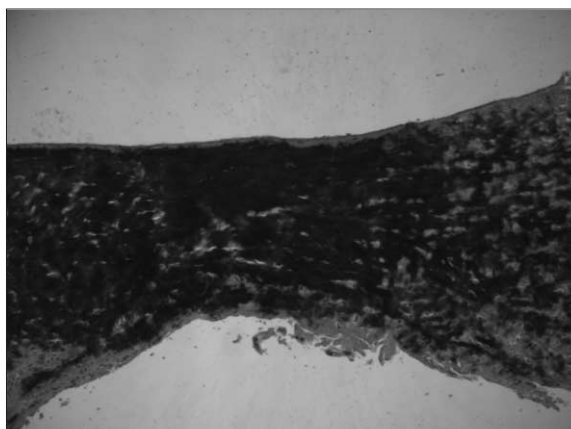


Fig. 33. Exp. disc(Verhoeff stain, ×100).

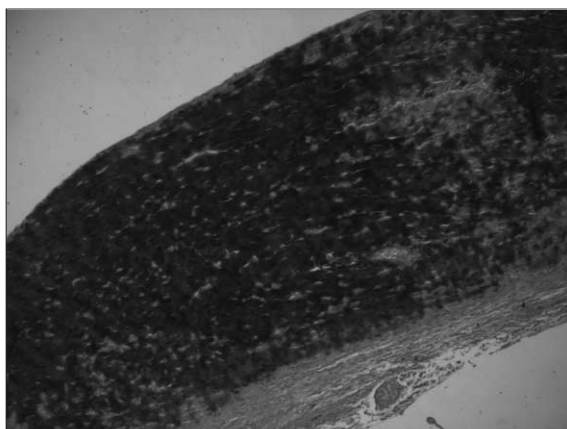


Fig. 34. Control disc (Verhoeff stain, ×100).

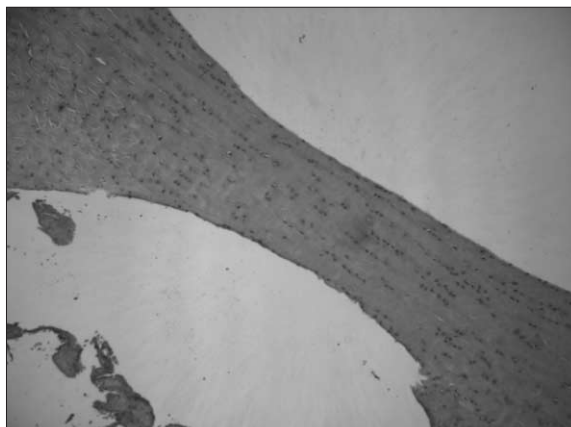


Fig. 35. Exp. disc (H-E, ×100).

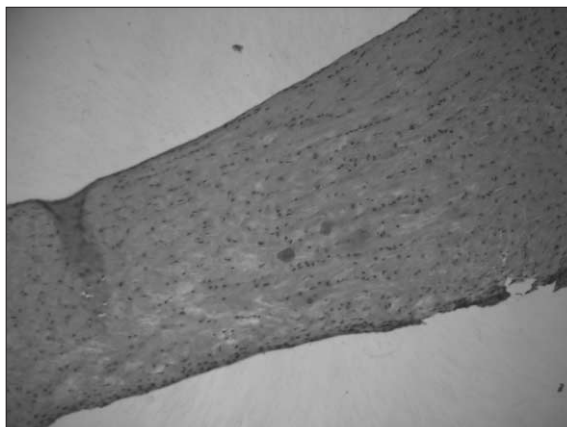


Fig. 36. Control disc (H-E, ×100).

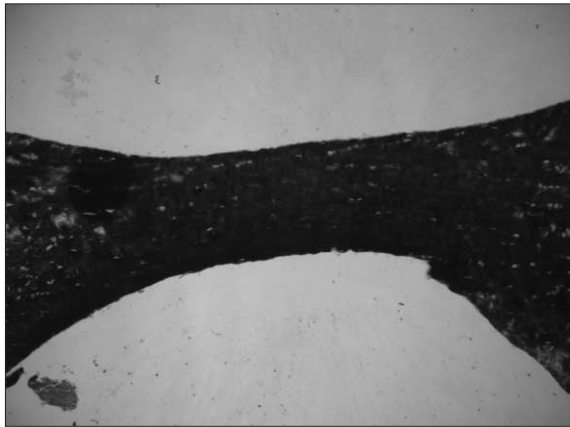


Fig. 37. Exp. disc (Verhoeff stain, $\times 100$).

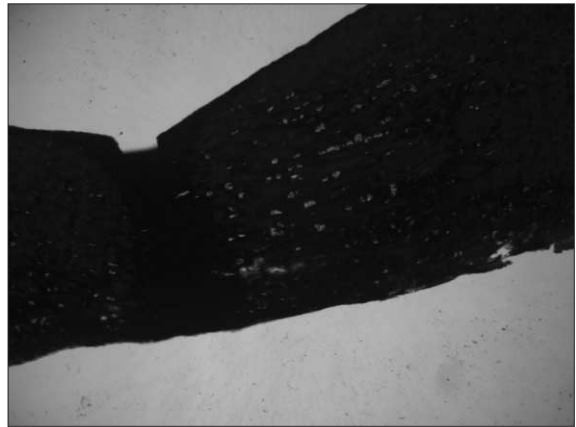


Fig. 38. Control disc (Verhoeff stain, $\times 100$).

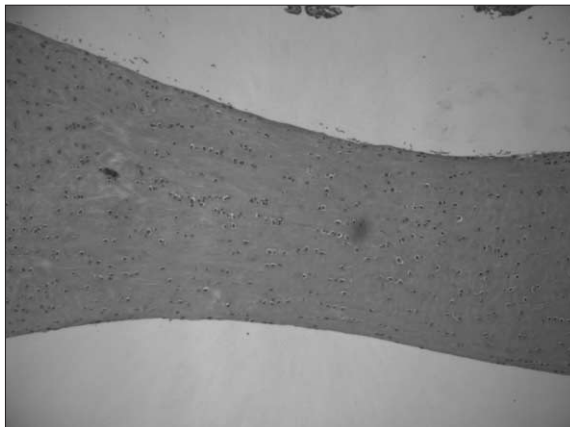


Fig. 39. Exp. disc (H-E, $\times 100$).

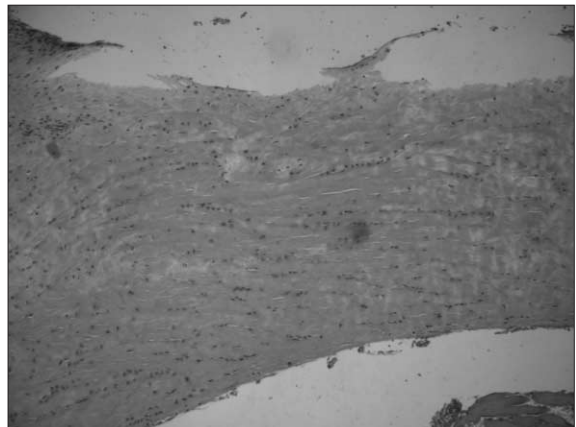


Fig. 40. Control disc (H-E, $\times 100$).

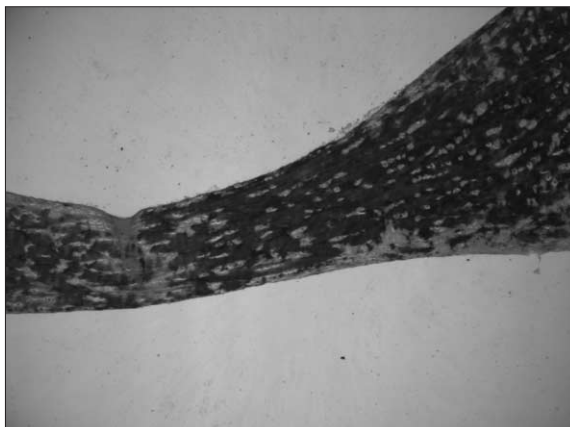


Fig. 41. Exp. disc (Verhoeff stain, $\times 100$).



Fig. 42. Control disc (Verhoeff stain, $\times 100$).

④ 수축력 적용 3주 후(DO 4주 후와 동일)

관절 원판의 소견에서는 H-E 염색상 실험군과 대조군에서 교원질 섬유다발의 규칙성이 거의 유사하게 관찰되었으나, Verhoeff's elastin 염색상으로는 실험군이 대조군에 비해 탄성섬유의 양은 다소 적고 교원질의 양이 많게 나타났다(Figs. 39~42, 수술 41일째).

⑤ 수축력 적용 6주 후(DO 7주 후와 동일)

대조군 소견이 정상군의 관절원판과 거의 유사한 소견으로 회복되었다(Figs. 43, 44, 수술 62일째).

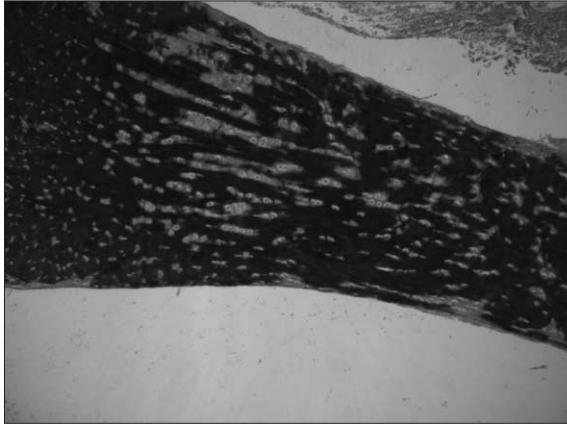


Fig. 43. Exp. disc (Verhoeff stain, ×100).

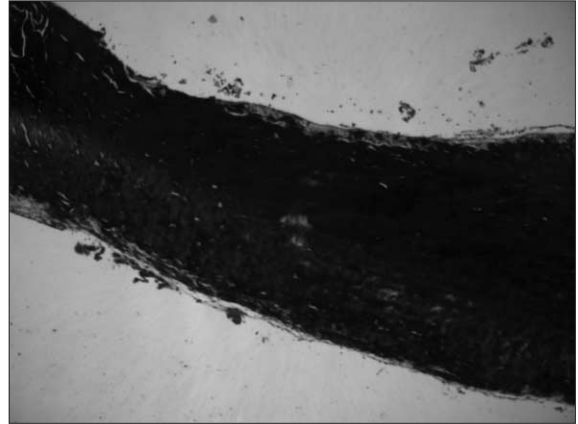


Fig. 44. Control disc (Verhoeff stain, ×100).

Ⅳ. 고 찰

골 신장술은 1951년 Ilizarov^{2,3)}에 의해 처음으로 체계화 되어, 장골의 골절 후 유합 결여나 골수염이 있는 경우에, 병변부 제거 후 골형성을 유도하거나 선천성 기형 환자의 장골 길이를 연장하는데 주로 이용되었다. 최근에는 두개 악안면부 막성골에서도 반안면 왜소증(hemifacial microsomia), Pierre-Robbin 증후군 등에서의 하악골 부전증, 구순 구개열로 인한 중안면부 후퇴 안모 환자 및 두개골 조기 유합증 등의 경우로 점차 적용범위를 넓혀가고 있다. 임상적으로 골 신장술은 골절단술, 잠복기, 신장기, 경화기의 4단계로 구성된다. 각 단계별로 적합한 부여조건을 찾고자 연구가 진행되었다.

악안면 영역이나 장골의 골 신장술에서 생성되는 신생골의 경화를 촉진시키기 위한 여러 연구들에서 다양한 시도가 있어 왔다. 1993년 Kershaw 등¹⁵⁾은 골절부의 치유 초기에 0.7 mm 정도의 미세운동이 골절치유기간을 단축시켰다고 보고하였고 2001년 Yamaji 등¹⁶⁾은 술 후 혈관망(vascular network)이 완성되는 시기인 4주 정도의 초기 치유기 동안에 가해지는 미세운동은 새로운 골의 형성을 촉진시킨다고 보고하였다. Sakurakichi 등¹⁷⁾은 저강도의 초음파 자극(low-intensity pulsed ultrasound, LIPUS)을 골 신장술에 적용시 신생골 형성을 촉진하였으며 특히 골신장력 적용시에 가장 효과적이었다고 보고하였고, 2005년 Claes 등¹⁸⁾은 저강도의 초음파 자극을 통하여 보다 강한 기계적 강도를 가지는 치유 가골을 얻었음을 보고 하였다. 1995년 Noordeen 등¹⁹⁾은 혈관망이 완성된 이후의 지연된 미세운동은 골절치유에 유해한 작용을 한다고 보고하였으며, 초음파를 이용한 미세자극이 골 치유에 도움이 된다는 보고가 있었는데, 2003년 Schortinghuis 등²⁰⁾은 저강도의 초음파치료를 통하여 신장가골의 성숙도 증가와 지연 골유합의 치유에

도움을 얻었다고 보고하였다. 1995년 Wolff²¹⁾는 stress에 대한 반응으로 생기는 기능적인 골 적응의 개념에 대해 기술하였고, 몇몇 임상연구들²²⁻²⁴⁾은 장골 골절(long bone fracture)이 일어난 부위에 압축력을 적용한 경우, 가골 부피의 증가, 골절 치유의 증진, 골결합 시간의 단축이 나타났다고 보고하고 있으며, Burger 등²⁵⁾은 간헐적인 압축력이 작용될 때 광물질의 대사과정에서 동화작용이 나타날 수 있으며, 지속적인 압축력이 작용하면 반대로 이화작용이 나타난다고 하였으며, 2000년 Castello 등²⁶⁾은 성장기 가토의 두개부의 봉합선이 완성되기 전에 압축력을 가한 실험에서 골절단과정이 없이도 골모세포의 활성이 급격히 증가하고 골격구조의 수축을 도모할 수 있다고 하였으며, 2002년 Mofid 등²⁷⁾은 골신장술 후 생성된 가골에 신장력과 압축력을 번갈아 적용함으로써 통상적인 신장술식에 비해 높은 골성숙도를 얻었다고 보고하였다. 2004년 Leung 등²⁸⁾은 양에 대퇴부에 행해진 실험에서, 통상적인 골신장술 동안 가해지는 생체하중이 압축력으로 작용하여 보다 많은 골 생성이 가능하였다는 보고를 하였다, 2004년 Takeda 등²⁹⁾은 백서의 경골골절치유를 위한 실험에서 압축력을 이용한 자극은 가장자리 가골(peripheral callus)의 성장을 촉진시키고, 신장력을 이용한 자극은 중심부 가골의 성장을 촉진시키며, 이 두 가지 힘을 번갈아가면서 적용시키는 경우에는 가장자리와 중심부 가골 모두의 성장을 촉진시킬수 있다는 보고를 하였으며, 2005년 Lazar 등³⁰⁾은 술 전 방사선 조사와 암 제거 치료 후 불유합된 하악골에 압축력과 신장력을 번갈아가면서 적용함으로써 골재생에 도움을 얻었다고 보고하였다.

본 연구는 2002년 발표된 김 등⁸⁾의 연구 후속으로, 의도적으로 과 신장시킨 하악신생골에서, 활발하게 골 형성 과정이 일어나는 골경화기 초기시점에 압축력을 가한 실험으로, 다양한 신장량과 압축량의 비율을 적용하여 최적의 골 형성 조건들을 파악하고자 실험연구를 하였으며, 압축력 적

용 전 잠복기로는 3일을 부여하고, 압축량과 신장량의 비는 실험 I 군은 20% (골압축 2 mm, 골신장 10 mm, 1/5), 실험 II 군은 27% (골압축 3 mm, 골신장 11 mm, 1/3)로 설정하여 골신장 술식을 행하였다. 모든 실험동물은 골절단 후 55일이 경과한 시점에서 표본을 채취하여 관찰하였다. 가토 하악 신생골의 조직학적 소견결과, 대조군에서는 신장골 부위에 출혈소견과 함께 아교질 섬유 및 신생혈관을 동반한 육아조직의 흔적이 소량 관찰되었고, 연골내 골화 중심의 가골 형성이 나타났다. 실험 I 군의 경우 대조군에 비해 골형성 양이 증가하였고 신장 부위에 출혈과 육아조직은 거의 남아 있지 않고, 가골 형성부위의 유골이 성숙 층판골로 대체되는 양상이 나타났다. 실험 II 군은 골형성 양 및 골 성숙도가 증가하여 대부분 유골에서 성숙골로 대체된 모습을 보였다. 이러한 결과로 볼 때, 신장 술식만 시행한 대조군에 비해 압축력을 보다 많이 적용한 실험 군들에서 골 성숙도가 증가하였음을 알 수 있었다.

또한 본 실험의 골밀도 측정 결과를 볼 때, 골신장술만 시행한 대조군에 비해 골신장력과 골압축력을 병용한 실험 I, II 군 모두에서 더 높은 골밀도 수치가 나타났지만 각 군의 평균값은 유의성 있는 차이를 나타내지 않았다. 하지만 선행연구로서 김 등⁹⁾의 2005년 연구결과와 비교시 이번 연구에서도 압축력과 신장력을 병용한 경우가 신장력만을 단독 부여한 경우 보다 높은 골밀도 값을 나타내었으며 특히 대조군에 비해 실험 II군 조직의 골밀도 평균값이 높게 나왔던 점이 주목할 만 하였다.

본 연구에서 두번째 실험의 결과 10 mm의 가토 하악골 신장 완료 후 3일간의 수축 전 잠복기를 부여하고 하루 1 mm 씩 총 2 mm의 골 수축을 적용한 후 악관절의 변화양상을 관찰하고자 하였다. 생물학적으로 악관절 섬유성분의 대부분은 교원질(collagen)이며, 이는 비교적 두꺼운 교원질 섬유를 형성하며 조직의 기계적인 강도와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 조직에 따라서는 탄성원으로 elastin이 존재하며, 이것은 조직의 탄성과 관계가 있다. 하악과두 연골은 조직학적으로 섬유 관절층(fibrous articular layer), 증식층(proliferative layer), 연골 비후층(hypertrophic cartilage layer), 하부 골조직(underlying bone) 등 네 층으로 구분되며 외부 견인력과 수축력에 따라 과두의 형태가 변형시 각 층이 각각 역할을 하게 된다. 섬유 관절층은 하악 과두의 관절면을 피개하며, 외측은 관절면과 평행하게 주행하고 내측에서는 사선으로 주행하는 교원섬유와 풍부한 탄력섬유로 구성되어 연골을 감싸는 역할을 하고 증식층은 세포 분화 및 세포증식의 역할을 하는 층으로 연골세포를 형성하여 성장에 관여하고 손상에 대한 회복 및 재형성에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 하방의 연골 비후층에서는 골과 인접하여 다른 부위 연골에서 나타나는 골화와 유사한 기질 생성, 세포 비후화 및 석회화를 유

발하고 조절하는 부위로서 성인이 되면서 초자양 연골에서 섬유성 연골로 변화하고 증식층과 함께 하악 과두의 성장에 주로 관여하며 연골 비후층의 하부에 있는 골 조직층은 조직학적으로 불규칙하게 관찰되는 골 형성층으로 인식되고 있다. 이러한 하악 과두 연골 조직의 배열은 저작습관, 근육 견인, 부정교합 등의 외부 요소가 작용시 완충작용으로 하악 과두의 재형성을 가능하게 한다^{31,32)}.

악관절의 또 다른 주요해부구조물인 관절 원판 또한 측두골의 관절면과 하악 과두의 관절면 사이에 개재되어 하악골 운동시 양 관절면의 마모를 방지하는 중요한 역할을 한다. 따라서 하악골 신장술시에 확장되는 힘이 이러한 관절부 조직에 전달되면 부위에 따라서 나타나는 변화는 힘의 정도, 방향, 기간에 따라서 차이가 있으며 골신장시 악관절부는 가역적인 반응을 나타낸다고 알려져 있다.

본 실험에서는 실험군 및 대조군의 하악과두와 관절원판 표본 채취시 육안관찰결과 과두부 함몰이나 관절 원판의 천공등과 같은 변화없이, 정상군과 동일한 육안적 소견을 보여 두군 모두의 악관절 조직에 큰 영향을 주지 않은 것으로 생각되었다. 과두 폭 경과 장경을 측정 한 실험에서 두 군의 좌우 과두 간 형태변화에 대한 차는 없어서 이는 신장력 및 수축력 적용시 과두가 쉽게 적응함을 나타내었으나 개체수가 적었던 관계로 보다 명확한 통계적인 유의성은 확인하지 못하였다.

또한 하악골 신장시 우려되는 합병증으로 퇴행성 변화의 악관절 장애를 들 수 있다. McNamara 등³³⁾에 의하면 악교정력을 적용하여 만일 하악과두를 임의적으로 전방변위시키려고 기능적인 힘을 가했을 경우에 관절 연골과 측두와에서는 재위치에 적응하려는 변화가 나타나고 이와 비슷하게 힘이 제거되었을 때는 하악과두 연골에서 가역적 변화가 나타난다고 하였다. 그러나 Mankin(1982)³⁴⁾과 Harper 등¹²⁾(1997)은 관절에 가해지는 힘이 생리적 적응능력을 초과시 악관절은 퇴행성 변화가 일어나며 관절에 전달된 압축력은 연골부의 두께의 감소와 섬유수축 뿐만 아니라 관절연골의 침식까지 유발한다고 하였으며 이러한 경우는 악교정 수술 후 하악골 골편이 재배치되어 측두와 후방부에 과두의 압축력이 응집되었을 때는 퇴행성 변화가 가끔 나타난다고 하였지만 극도의 힘이 작용되지 않은 경우는 대부분 가역적이라고 하였다.

가토를 이용한 본 실험에서도 실험군, 대조군 모두에서 신 연 후, 혹은 신 연 및 수축력 적용 후 2~3주 후부터는 정상군의 악관절조직 소견과 유사하게 과두 및 관절 원판이 회복됨을 관찰 할 수 있었다. 그러나 실험군에서는 수축력 적용 직후부터 3주까지의 조직소견은 대조군과 몇 가지의 차이점을 찾을 수 있었다. 실험군 과두 연골의 섬유층에서는 대조군에 비해 세포 수가 많고 두꺼우며 교원질이 더 짙게 염색되는 소견을 보이고 있어 이는 실험군에서는 골 신장

력 적용 3일 후에 역으로 악골에 골 압축력을 가함으로써 초기 과두에 가해지는 유해한 압박력이 오히려 해소되는 결과를 초래하여 사멸되는 세포의 수가 대조군에 비해 적고, 대조군보다 두꺼운 섬유층을 갖고 생성되는 교원질의 양도 많고 교원질들이 규칙적인 배열을 갖는 것으로 보아 유리한 회복력을 나타내는 것으로 판단되었다. 과두증식 층에서도 유해한 관절에의 압축력이 역방향의 신장력으로 인해 조기에 제거됨으로 인해 대조군에 비해 더 두껍고 연골 세포의 배열도 규칙적인 양상이면서 세포 수도 많은 소견을 보였고 연골 세포의 기질의 농도 역시 대조군보다 높게 관찰되었다. 실험군과 대조군 모두에서 골 경화기 3주(술 후 41일) 이후의 표본들에서는 섬유 층의 두께, 증식 층 과 비대 층에서의 세포 크기, 배열, 각 층의 비율 등이 정상 군 과두와 유사하여 회복이 거의 완료되는 소견을 보이기 시작하였다. 상기의 소견을 미루어 보면 실험군과 대조군 모두에서 골 신장 술에 따른 과두의 조직반응은 가역적이었으며 신장 후 압축력 부여 3주 이후는 정상과두 조직과 유사하게 회복된 것으로 판단되었다.

본 실험에서 관절 원판의 경우 두 군 간의 두께차가 다소간 있는 것이 관찰되기도 하였지만 이는 조직 절편 채취시의 적절한 부위 선정에 다소의 오차가 발생한 것으로 생각 되었으며 실험군의 관절 원판에서는 연골 세포 양 세포의 수가 적었고, 교원질이 더 많으면서 그 섬유다발은 규칙성을 띄고 있었고, Elastin염색에서는 대조군에서보다 탄성 섬유가 적고 상대적으로 교원질이 많이 나타났으며, 골 경화기 3주(술 후 41일) 이후에는 두 그룹이 유사한 소견을 보였다. 이는 골 신장 후 압축 자극에 대한 초기 관절 원판 내 연골 세포 양 세포의 수와 관련하여 탄성섬유의 양이 감소된 것 같았고 골 경화기 3주 이후에는 대조군과 유사한 소견으로 회복되었다. 결과적으로 관절 원판에서는 실험군에서 초기에 대조군에 비해 탄성섬유의 양이 다소 부족한 소견을 보였지만 실험군에서 골 압축 적용 3주 이후의 조직들은 대조군과 유사하였으며 이는 정상으로 상태로 회복된 것으로 파악되었다.

본 실험을 통해서 압축력을 병용한 골 신장술식을 시행한 실험군이 신장력만을 시행한 대조군보다 가골의 생성량 및 성숙도가 더 높은 것을 확인 할 수 있었으며 또한 악관절 조직에도 비정상적인 악관절 반응소견은 관찰되지 않았다. 따라서 압축력을 병용한 새 개념의 골 신장술을 시행하는 경우 신장술의 전체 치료기간을 단축시키면서 우수한 신생골 질을 얻을 수 있을 것으로 판단되었으며, 또한 통상적인 골 신장술 적용후 예상치 않은 과도한 골신장이 일어난 경우도 신생골에 대한 형태조정이 가능한 술식으로 새로운 술식이 임상에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 생각되었다.

V. 결 론

총 가토 52 마리를 사용하여 1차 실험으로 가토 30 마리 대상으로 압축 자극을 병용한 골 신장술 적용시 압축력 대 신장력비를 1/3 또는 1/5로 적용시 골질을 향상시키기 위하여 보다 나은 조건을 확인하고자 가토 23 마리의 하악골을 신장하여 골절단후 55일째 획득하여 조직학적 검사 및 골밀도검사를 시행하였고 2차 실험으로 가토 22마리를 사용하여 압축력대비 신장력비를 1/5를 적용한 새로운 방식의 신연술적용시 악관절조직의 반응을 알아보고자 수축 자극을 병용한 골신장 후 골경화기 0주, 1주, 2주, 3주, 6주(신장술 적용후 1, 2, 3, 4, 7주째) 제 과두와 관절원판을 획득하여 조직형태계측 및 조직학적 소견을 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 신연골 골밀도 검사에서, 골압축-신장 복합군이 골신장군 보다 높은 골밀도 값을 보였으며 나(대조군 - 0.2906 g/cm², 실험 I 군 - 0.2961 g/cm², 실험 II 군 - 0.3328 g/cm²), 통계적으로 유의성을 보이지 않았다.
2. 신연골 조직학적 소견에서, 통법의 신장력 적용군에서는 가골 내에 육아조직 소견이 일부 관찰된 것에 비해 골압축-신장력 복합군에서는 다량의 신생 골소주가 형성되고, 대부분의 유골이 성숙 층판골로 대체된 소견을 보였다.
3. 과두의 형태학적 소견으로는 실험군의 신장측 과두 폭경과 대조군 과두 폭경의 형태계측학적 유의성은 없었고 하악골은 정상적인 악기능운동을 하였다.
4. 과두의 조직학적 소견에서는 실험군에서 신장 및 수축력 복합적용 후 2주까지는 통법의 신장력 적용 대조군에 비하여 섬유층과 연골 증식층이 다소 두터우면서 세포수가 많고 기질내 교원질 함량이 높게 관찰된 소견이외에는 별 특이소견이 없었고, 3주 이후에는 두 그룹 모두에서 비 수술군인 정상군의 소견과 유사하게 관찰되었다.
5. 관절원판에서의 조직소견에서 골 수축 후 2주까지는 실험군에서는 대조군에 비하여 H-E 염색상 교원질이 많이 관찰되고 섬유다발도 규칙적으로 배열되어 있는 소견을 보였고, Verhoeff's elastin 염색상으로는 탄성섬유의 양은 대조군에 비해 적게 관찰되었으나 골 수축 후 3주째 부터는 탄성섬유의 방향과 양이 정상군과 유사한 소견을 보였다.

상기결과로 볼 때, 통상의 방법에 비하여 수축력을 병용한 새로운 신장술식을 적용시, 골 밀도가 우수하였고 골치유가 보다 진행된 신생골 형성을 확인하였으며 악관절 과두 및 관절 원판의 조직 형태학적 반응도 통법에 의한 골 신장술에서 발생하는 과두와 관절원판에서의 조직 형태학적 반응과 유사한 골 적응 반응이 관찰되어 새로운 방식의 신장술은 우수한 신생 골질획득이 가능하면서 악관절 조직에도 안전한 수술법으로 생각된다.

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 frequency of distraction. *Clin Orthop* 239 : 263, 1989.
4. Snyder CC, Levine GA, Swanson HM et al : Mandibular lengthening by gradual distraction. *Plast Reconstr Surg* 51 : 506, 1973.
5. McCarthy JG, Schreiber J, Karp N et al : Lengthening of the human mandible by gradual distraction. *Plast Reconstr Surg* 89 : 1, 1992.
6. Guerrero CA, Bell WH, Contasti GI et al : Mandibular widening by intraoral distraction osteogenesis. *Br J Oral Maxillofac Surg* 35 : 383, 1997.
7. Diner PA, Kollar EM, Martinez H et al : Submerged intraoral device for mandibular lengthening. *J Craniomaxillofac Surg* 25 : 116, 1997.
8. 김옥규, 이광호, 신상훈 외 : 백색 하악골에서 신연골 형성술시 신장력과 수축력 복합적응후의 조직반응, *대한구강악안면외과학회지* 28(2) : 103, 2002.
9. 김옥규, 신상훈, 정인교 외 : 수축력과 신장력을 병용한 골신장술에서의 다양한 힘의 비와 부여시기에 따른 신연골 반응, *대한악안면성형재건외과학회지* 27(5) : 403, 2005.
10. Samchukov ML, Cope JB, Cherkashin AM : *Craniofacial Distraction osteogenesis*, 1st edi, St. Louis, Mosby, 2001, p.118.
11. McCormick SU, McCarthy JG, Grauson BH et al : Effect of mandibular distraction on the temporomandibular joint: Part 1. Canine Study. *J Craniofac Surg* 6 : 358, 1995.
12. Harper RP, Bell WH, Hinton RJ et al : Reactive change in the temporomandibular joint after mandibular midline osteodistraction. *Br J Oral Maxillofac Surg* 35 : 20, 1997.
13. 안정모, 오세중, 차용두 외 : 편측 하악골 신장술에 의한 악관절의 변화에 관한 조직학적 연구. *대한구강악안면외과학회지* 26 (6) : 591, 2000.
14. Salter RB, Simmonds DF, Malcolm BW et al : The biological effect of continuous passive motion on the healing of full thickness defects in articular cartilage. *J Bone Joint Surg* 62 : 1232, 1980.
15. Kershaw CJ, Cunningham JL, Kenwright J. : Tibial external fixation, weight bearing and fracture movement, *Clin Orthop* 293 : 28, 1993.
16. Yamaji T, Ando K, Wolf S et al : The effect of micromovement on callus formation. *J Orthop Sci* 6 : 571, 2001.
17. Sakurakichi K, Tsuchiya H, Uehara K et al : Effects of timing of low-intensity pulsed ultrasound on distraction osteogenesis. *J Orthop Res* 22 : 395, 2004.
18. Claes L, Ruter A, Mayr E : Low-intensity ultrasound enhances maturation of callus after segmental transport. *Clin Orthop Relat Res* 430 : 189, 2005.
19. Noordeen MH, Lavy CB, Shergill NS et al : Cyclical micromovement and fracture healing. *J. Bone Joint Surg* 77 : 645, 1995.
20. Schortinghuis J, Stegenga B, Raghoobar GM et al : Ultrasound stimulation of maxillofacial bone healing. *Crit Rev Oral Biol Med* 14 : 63, 2003.
21. Wolff J : The Law of Bone Remodeling. *Orthop* 24 : 378, 1995.
22. De Bastiani G, Aldegheri R, and Renzi B L : The treatment of fractures with a dynamic axial fixator. *J Bone Joint Surg Br* 66 : 538, 1984.
23. Lazo-Zbikowski J, Aguilar F, Mozo F et al : Biocompression external fixation. sliding external osteosynthesis. *Clin Orthop* 206 : 169, 1986.
24. Dehne E, Metz CW, Deffer PA et al : Nonoperative treatment of the fractured tibia by immediate weight bearing. *J Trauma* 1 : 514, 1961.
25. Burger EH, Klein-Nulend J, Veldhuijzen JP : Mechanical stress and osteogenesis in vitro. *J Bone Miner Res Suppl* 2 : 397, 1992.
26. Castello JR, Olaso AS, Chao JJ et al : Craniofacial shortening by contraction osteogenesis: An experimental model. *Plast Reconstr Surg* 105 : 617, 2000.
27. Mofid MM, Inoue N, Atabay A et al : Callus stimulation in distraction osteogenesis. *Plast Reconstr Surg* 109 : 1621, 2002.
28. Leung KS, Cheung WH, Yeung HY et al : Effect of weight bearing on bone formation during distraction osteogenesis. *Clin Orthop Relat Res* 419 : 251, 2004.
29. Takeda T, Narita T, Ito H : Experimental study on the effects of mechanical stimulation on the early stage of fracture healing. *J Nippon Med Sch* 71 : 252, 2004.
30. Lazar FC, Klesper B, Carls P et al : Callus massage. A new treatment modality for non-unions of the irradiated mandible. *Int J Oral Maxillofac Surg* 34 : 202, 2005.
31. Ogus HD and Toller PA : *Common disorders of the temporomandibular joint*, 1st edi, Bristol, Johnwright & Sons Ltd, 1981.
32. Farrar FB and McCarty Jr. WL : *A clinical outline of temporomandibular joint, diagnosis and treatment*. 1st edi, AL, Montgomery Walker Printing Co, 1983.
33. McNamara Jr JA, Hinton RJ, Hoffman DL : Histologic analysis of temporomandibular joint adaptation to protrusive function in young adult Rhesus monkeys, *Am J Orthod* 82 : 288, 1986.
34. Mankin HJ : Current concepts review: The response of articular cartilage to mechanical injury, *J Bone and Joint Surg* 64 : 460, 1982.

저자 연락처

우편번호 602-739
 부산 서구 아미동 1-10번지
 부산대학교 치의학전문대학원실 구강악안면외과학교실
김 옥 규

원고 접수일 2006년 7월 25일
 게재 확정일 2006년 10월 24일

Reprint Requests

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

Paper received 25 July 2006
 Paper accepted 24 October 2006