백서 하악골에서 신연골형성술시 신장력과 수축력 복합적용후의 조직반응

김욱규 · 신상훈 · 정인교 · 이광호* · 박봉수**

부산대학교 치과대학 구강악안면외과학교실, 동아대학교 의과대학 구강악안면외과학교실*,
부산대학교 치과대학 구강해부학교실**

Abstract (J. Kor. Oral Maxillofac. Surg. 2002;28:103-113)

TISSUE REACTION FOLLOWING BY COMBINATION OF DISTRACTION AND COMPRESSION FORCE ON DISTRACTION OSTEOGENESIS OF THE MANDIBLE IN THE RAT

Uk-Kyu Kim, Sang-Hun Shin, In-Kyo Chung, Kwang-Ho Lee*, Bong-Soo Park**

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, College of Dentistry, Pusan National University,
Department of Oral and Maxillofacial Surgery, College of Medicine, Dong-A University,*
*Department of Oral Anatomy, College of Dentistry, Pusan National University***

Distraction osteogenesis is a biologic process of new bone formation between the surfaces of bone segments that are gradually separated by incremental traction. Distraction osteogenesis is clinically applied as a new treatment modality of mandibular hypoplasia or bony defect area in maxillofacial area by many studies of distraction devices and method. But, disadvantages of distraction osteogenesis shows unfavorably long consolidation period and relapse tendency.

Therefore, this experiment was designed to investigate the effectiveness of combined application of distraction and compression force for improving of bone quality and shortening of treatment period during distraction osteogenesis.

Twenty-five Sprague-Dawley rats with 300~350gm were used. These were divided into two group as distraction group and combination group. The distraction group was added with conventional method during distraction osteogenesis, but the combination group was applied with compression force in the consolidation period. The rats were sacrificed for gross finding, radiographic and histologic findings at 3, 6 weeks after distraction.

The results were as follow:

1. On radiographic finding, all combination of distraction and compression force group appeared more radiopacity than distraction group both at 3 weeks and 6 weeks after distraction group.
2. On histologic finding, the formation of mature lamellar bone were showed increasingly in combined group at 6weeks after distraction group.

From this study, we may suggest that compression force application in consolidation period during distraction osteogenesis can be useful method to improve bone quality and to shorten the treatment period. But more experimental and clinical studies is necessitated on ideal application timing and method of compression force application during distraction osteogenesis.

Key words : Distraction, Compression, Force

Ⅰ. 서 론

신연골형성술은 점진적인 견인력을 이용해 골편을 이격시키고 양 골편사이에서 점진적으로 신생골을 유도하는 생물학적 과정이다. 이 과정은 분리된 골절편들을 결합시키는 치유가골에 견인력이 가해졌을 때 시작하며, 조직이 늘려지는 한 계속된다. 점진적인 견인력에 의해서 발생된 인장력의 영향으로 피부, 근막, 근육, 인대, 연골, 혈관 및 말초신경을 포함하는 다양한 조직에서 활발한 조직형성이 일어난다[1].

1905년 Codivilla[2]에 의해 사지골에서의 신연골형성술이 처음으로 적용되었고, 1950년대에 Ilizarov[3,4]는 새로운 원형 외고정기구를 개발하여 점진적이고 지속적인 신장력을 적용함으로 상당한 양의 신생골이 형성된다는 것을 임상적으로 정립하였다. 이후

김 욱 규
602-739, 부산광역시 서구 아미동 1가 10
부산대학교 치과대학 구강악안면외과학교실
Uk-Kyu Kim
Dept. of Oral & Maxillofacial Surgery, College of Dentistry, Pusan National Univ.
10-1 Ami-dong, Seo-Gu, Pusan, 602-739, Korea
Tel: 82-51-240-7803 Fax: 82-51-244-8334
E-mail: kuksjs@hyowon.cc.pusan.ac.kr

많은 임상적, 실험적인 연구들을 통해서 사지에서의 신연골형성술은 골길이 연장, 사지기형의 교정 및 큰 골간부 결손을 재건하는데 효과적인 술식으로 정형외과적영역에서 임상적으로 널리 적용되어져 왔다.

구강악안면영역에서는 안면기형에 대한 치료를 위해서 1973년 Snyder 등[5]이 처음으로 신연골형성술을 개의 하악골에 적용한 실험을 하였고, 1992년 McCarthy 등[6]은 구강외장치를 이용한 신연골형성술을 하악골의 신연을 위해 적용한 최초의 임상증례를 보고하였다.

새로운 신연장치의 개발 및 신연방법에 대한 많은 연구가 이루어져 현재 악안면영역에서의 신연골형성술은 아동기의 측두하악관절의 골유착증 등에 의한 하악골의 저성장, 편측성 혹은 양측성 두개안면소구증, 병적과정에 의한 골소실부, 발육성 소악증, 두개골 조기유합증에서의 두개확장등에 대한 치료방식으로 임상에서 사용되어지고 있다[7,8].

신연골형성술은 골절단(osteotomy), 잠복기(latency period), 신연기(distraction period), 경화기(consolidation period)의 4단계로 구성되어진다. 신연골형성술의 성공적인 임상적용을 위해서는 환자의 불편함을 최소한으로 하면서 적절한 신생골의 골질을 얻으며 원하는 신연량을 얻어야 한다. 현재까지 잠복기의 기간, 신연속도와 신연빈도 등에 관한 많은 연구들이 이루어져 오고 있다. 이러한 연구들에서의 통상적인 신연골형성술은 신연 후 일정기간의 경화기 부여만으로 신생골형성을 유도하였으나 신연 후 획득된 신생골의 보다나은 골질개선과 경화기 기간의 단축을 위해 부가적으로 시도될 수 있는 술식 등에 관한 연구는 거의 없는 편이다.

이에 본 연구에서는 백서의 하악골에 신연골형성술을 도입하여, 통법의 방법과 동일한 치료단계로써 골절단, 잠복기, 신연기를 시행하고, 경화기의 일정기간동안에는 부가적으로 골치유과정의 촉진을 위해서 역으로 수축력(compression force)을 부여하는 신장력, 수축력 복합적용 후 백서 악골조직의 반응을 육안적, 방사선학적, 조직학적으로 관찰하여 기존의 신연골형성술 방식과 비교하여 봄으로 신장력과 수축력의 복합적용이 신생골의 골질을 개선시키고 또한 신연골형성술의 전체 치료기간을 줄일 수 있는지를 검증해 보고 임상적용 가능성에 대해서 검토해 보고자 본 실험을 계획하였다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 연구 재료

1) 실험동물

체중 300~350g 내외의 웅성백서 Sprague Dawley계 25마리를 사용하였다. 신연장치 장착 후 통법의 신장력만 적용한 신연군(Distraction group)을 대조군으로 하여 신연 이후 3주, 6주에 각각 5마리씩 희생하여 조직반응을 관찰하였다. 또한, 신장력 적용 후 1주일간의 치유기간 부여 후 역으로 수축력을 적용한 복합군(Combination group)을 실험군으로 하여 수축력 적용 직후, 신연군의 3주군과 동일하게 하기 위해 수축력 적용 10일 후, 신연군의 6주군과 동일하게 하기 위해 수축력 적용 31일 후에 각각 5마리씩 희생하여 조직반응을 관찰하였다.

2) 실험장치

신장력 및 수축력을 적용하기 위한 골신연장치는 교정용 확대스크류 (Expansion screw, Dentarum, Germany)와 자가중합레진(Clearfil FⅡ®, Kuraray, Japan)을 이용하여 자체제작하였으며, 백서 하악골과의 고정을 위하여 직경 1.5mm, 길이 17mm의 스크류포스트(Screw post, Sankin, Japan)를 이용하였다. 장치물은 교정용 확대스크류를 위한 열쇠를 이용하여 신장 혹은 수축되었으며 360° 회전시 0.7mm의 선형적인 길이 변화가 있었다. 신장력은 장치물의 시계방향회전으로, 수축력은 반시계방향으로의 회전으로 적용되었다(Fig. 1, 2).

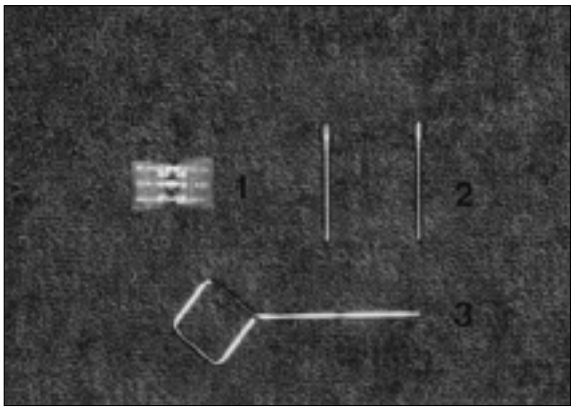

Fig. 1. Individual apparatus for distraction force and compression force. 1 shows screw post, 2 shows expansion screw, 3 shows key.

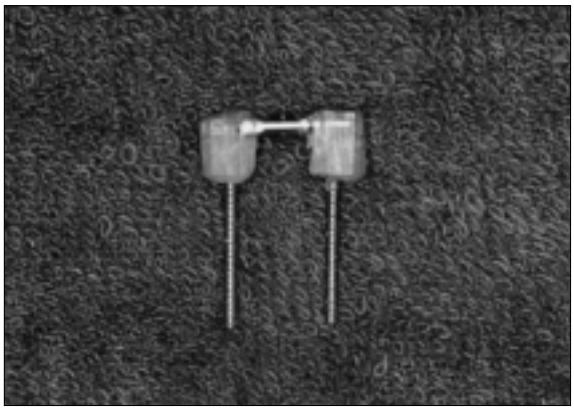

Fig. 2. Customized device for distraction and compression force

2. 연구 방법

1) 신장력 적용방법

전신마취를 위해 Ketamine HCl (Keiran®, Korea United Pharm. Inc., Korea) 100mg/kg과 Xylazine HCl (Rumpun®, Bayer Korea Ltd., Korea) 10mg/kg을 혼합하여 백서의 대퇴부에 근육주사하였다.

마취유도된 백서의 하악부위를 제모한 뒤 베타딘으로 소독하여 수술대 위에 고정하였다. 수술 중 지혈의 목적으로 1:100,000 에피네프린을 함유한 2% Lidocaine HCl (유한2%염산리도카인-에피네프린 주사, 유한양행, 한국)을 수술부위에 주사하였다. 또한 술후 감염예방 목적으로 Ampicillin 25mg(Penbrex®, Yung-Jin Pharm. Co., Korea)을 대퇴부에 술전에 근육주사하였다.

백서의 하악연을 따라 수평절개하고, 장치물 장착부위의 근육과 골막을 최소한으로 박리하였다. 장치물을 고정하기위한 스크류의 전방위치는 이공의 직하방에, 후방위치는 제1대구치와 제2대구치 사이의 하악골 골체부에 치과용 저속엔진을 이용해서 직경 1.0mm의 스크류 장착을 위한 구멍을 생리식염수로 과열되지 않도록 하면서 양측의 피질골을 관통하여 형성했다. 형성된 구멍을 직경 1.5mm의 스크류포스트를 이용하여 고정하고, 이후에 치과기공용 디스크를 이용하여 생리식염수로 과열되지 않도록 주의하면서 중간부위의 골절단을 시행하였다. 스크류포스트와 장치물을 정위치로 위치시킨 후 자가중합용레진 (Clearfil FⅡ®, Kuraray, Japan) 을 이용해 고정하였고 이후에 고정된 장치물이 잘 유지되는 것과 장치물에 열쇠를 이용해서 실제로 신장과 수축력이 잘 적용되는 것을 검사하였다. 이후 골막과 근육은 4-0 dexon으로, 피부는 6-0 nylon으로 일차봉합을 시행하였다.

이 후 3일간의 잠복기를 부여한 뒤 2mm의 신연부위를 만들기 위해 0.5mm를 하루 두 번에 나누어 신연하여 4일간 시행하였고, 신연완료후 3주, 6주째에 백서를 희생하여 골절단부 주위의 신연 이후 골변화를 관찰하였다.

2) 복합력 적용방법

복합군은 신연군과 동일하게 전신마취하에 골절단술을 시행하여 동일한 장치물 장착 및 3일간의 잠복기를 부여하였다. 이후 신연군보다 2mm가 더 많은 4mm의 신연부위를 만들기위해서 0.5mm를 하루 두 번에 나누어 신연하여 8일간 시행하였다. 4mm의 골신연부를 수축력을 적용하기위해 신연후 1주일 째부터 역으로 0.5mm를 하루 두 번에 나누어 수축하여 4일간 시행하여 신연군과 동일하게 최종 2mm의 골신연부위를 형성하였다. 백서는 신연 이후 10일째에 해당하는 수축력적용 직후, 신연군의 3주군과 동일하게 하기위해 수축력 적용 10일 후, 신연군의 6주군과 동일하게 하기위해 수축력 적용 31일 후에 각각 희생하여 신장력 및 수축력을 복합적용한 골절단부 주위의 골변화를 관찰하였다.

3) 표본제작

백서에 전신마취를 유도하여 조직고정을 위한 심장관류법을 시행하였다. 흉곽부에 Y절개를 통해서 심장을 노출시킨 후 관류펌프와 연결된 20게이지의 바늘을 좌심실첨부에서 삽입하여 대동맥으로 통하게 한뒤에 지혈겸자로 고정하고 인산완충식염수(PBS 용액)를 주입한 후 우심방벽을 절개하여 체순환된 혈액이 체외로 배출되오록 하였다. 이후에 조직의 고정을 위해서 4% 중성포르말린 용액을 30분간 주입하였다.

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

4) 육안적 검사

실험기간동안 백서의 체중과 활동성 등의 생활력 및 장치물주위 조직의 감염소견이나 동요도, 골신연이나 수축후 절치의 정중선 변이나 과성장을 관찰하였다(Fig. 3). 백서를 희생 후 절제된 하악골에서 골의 치유상태나 골생성정도, 신생골의 골질을 육안

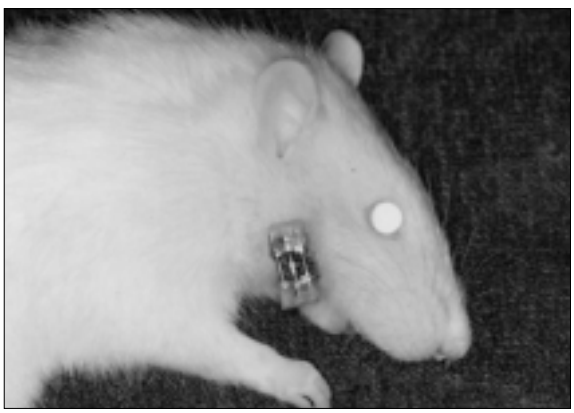

Fig. 3. The customized device in place on Rat's mandible.

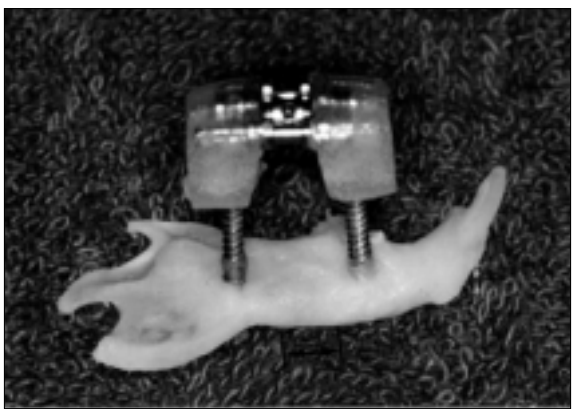

Fig. 4. Gross finding of excised mandible and device. Double direction arrow shows distracted bones.

적으로 관찰하였다(Fig. 4).

5) 방사선학적 검사

백서를 희생하기 전에 전신마취를 시행한 상태에서 하악골을 submento -vertex view를 촬영하여 관찰하였다. 이는 치과용 교합필름(Occlusal Film, Eastman Kodak Company, U.S.A.)을 이용하여 방사선 촬영튜브(Gendex GX, Germany)와 약 10cm의 거리에서. 65kvp, 7.5mA, 20msec의 조건하에 촬영하여 관찰하였다.

6) 조직학적 검사

제작된 표본을 관찰하기위해 Hematoxylin-Eosin(H-E)및 Masson's trichrome으로 염색하여 광학현미경(Olympus BH 60, Japan)으로 관찰하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 육안적 소견

신연 이후에 백서의 하악골은 신연부의 반대측으로 전위되는 양상을 보였고, 전치부에는 골이 신연됨에 따라 부정교합으로 인해서 반대측 대합치와의 접촉이 이루어지지 않았다. 또한 전치부의 과성장이 관찰되었고, 심한 경우에는 반대측 악궁의 점막에 외상을 일으켰다.

신연군에서 신연 3주 후에 백서를 희생하여 관찰한 하악골의 신연부는 새로이 형성된 가골로 채워져 있었으며, 가골은 주위의 골과 비교해 보았을 때 광택이 떨어져 불투명한 양상을 보였고, 경계부는 주위의 골과 골질에 있어서 잘 구별되어 있었다. 신연 6주후에 관찰한 신연부는 3주후에 관찰한 하악골에서보다 골형성 및 치유양상이 상당히 개선되어 있었다.

복합군에서 수축력 적용 10일 후에 백서를 희생하여 관찰한 하악골의 신연부는 신연군과 비교시에 새로 형성된 신연부의 가골부위들은 육안적으로 크게 차이가 없었으나, 골질은 금속기구로 타진시 수축군에서 좀 더 단단한 골질의 양상을 보였다. 수축력 적용 31일 후에 관찰한 신연부는 주위의 골과 비교해 보았을 때 신연부위와 정상골을 서로 구별하기 어려울 정도로 거의 차이가 없었다.

2. 방사선학적 소견

골절단술을 시행하여 장치물을 장착한 직후 촬영한 방사선사진상에서 하악골이 협측피질골에서 설측피질골까지 완전히 절단되어 있는 모습과 신장력과 수축력을 적용하기위한 장치물이 스크류를 통해서 양측 피질골을 관통하여 잘 고정되어 있는 모습을 보여주었다(Fig. 5).

신연군에서 신연 3주 후에 촬영한 방사선사진에서 골절단술을 시행한 부위는 명확한 절단면을 보여주었고, 신연된 두 골편사이의 중앙부위에서부터 새로이 형성되는 가골의 양상을 보였다. 또한 절단부의 양측 피질골에서 중앙부위를 향해 새로이 피질골이 형성되는 양상 또한 관찰되었다(Fig. 6). 신연 6주 후에 촬영한 방사선사진에서는 신연 3주 후에 촬영한 것보다 특히 협측과 설측의 피질골부위에서 증가된 방사선불투과성의 양상을 보였다. 그러나, 중앙부위의 해면골 부위는 방사선투과성 부위가 관찰되어 완전하게 골화가 되지 않은 양상을 보였다(Fig. 7).

복합군에서는 수축력을 적용한 직후와 수축력 적용 10일 후에 촬영한 방사선사진상에는 신연부위의 전체적으로 균일하게 증가된 방사선불투과성을 보여주었다. 이는 신연군에서 신연 3주 후에 촬영한 것보다 특히 협측과 설측 피질골의 증가된 방사선 불투과성을 보였다. 또한 중앙부위의 해면골 부위에서도 약간의 새로운 신생골이 골화되어지는 양상을 보였다. 하지만 골절단부와 연접한 부위에서 새로이 형성되는 가골은 골절단부 사이에서 부드럽게 연속되는 것이 아니라 연속성을 약간 상실한 양상을 보였다(Fig. 8, 9). 수축력 적용 31일 후에 촬영한 방사선사진상에서는 협측과 설측의 피질골뿐만 아니라 중앙부 해면골의 골형성도 활발히 이루어져 신연부위의 골경화 정도가 거의 정상골과 비슷할 정도로 골화되었다. 이는 신연군의 신연 6주 후에 촬영한 방사선사진과 비교하여 보았을 때 방사선 불투과성이 좀 더 증가되어 골경화도가 증가되어 있는 양상을 보였다(Fig. 10).

3. 조직학적 소견

신연군에서 신연 3주후에 제작한 조직표본에서는 골의 신연방향에 평행하게 배열된 콜라겐 섬유, 신생혈관 등이 일부 존재했고, 골절단부와 그 인접부위에서는 골소주들이 유합되어 골판을 형성하였으며, 층판골의 형성 또한 보였다. 골절단부의 가골형성부위에서 대부분은 막내골화의 양상을 보였고, 부분적으로 연골내골화가 진행되어지는 양상을 보였다(Fig. 11, 12). 신연 6주후에 제작한 조직표본에서는 신연된 피질골부위의 층판골이 점차적으로 성숙골로 대체되어 가는 양상을 보였다. 또한 신연된 조직의 중앙부는 신생골의 재형성과정이 진행되는 양상을 일부분에서 보였다(Fig. 13, 14).

복합군에서는 수축력 적용 직후에 제작한 표본에서는 침상모양의 골소주가 보였고, 골신장 후 골수축으로 인해서 함요된 부위를 보였다(Fig. 15, 16). 수축력 적용 이후 10일 째에 제작한 표본에서는 골절단부의 주변으로 형성된 가골 및 신연부위내측으로 규칙적인 배열을 하는 섬유성조직을 보였다. 그리고, 여러 단계의 골성숙단계를 보이고 있었고, 절단면에 인접한 신생골이 좀 더 많이 골화된 양상을 보였다(Fig. 17, 18). 수축력 적용 이후 31일째에 제작된 표본에서는 신연된 골편의 중앙부위에서도 골소주 및 층판골이 재형성되는 양상을 보였고, 신연 중앙부위에도 상대적으로 증가된 골소주를 확인할 수 있었다. 또한 절단면에 인접한 부위에는 진전된 골화양상이 보였다. 이러한 양상은 신연군에서 신연 6주 후에 제작한 표본에서보다 골소주 및 층판골의 재형성이 좀 더 넓은 부위에서 진행되어 신생골 골화의 성숙도가 복합군에서 더 우수하다는 것을 알 수 있었다(Fig. 19, 20).

Ⅳ. 총괄 및 고찰

신연골형성술은 골격기형을 재건하는데 사용되는 술식으로 그 과정은 절단된 골편의 점진적이고 조절된 변위를 포함하며 그 결과로 신생골 형성과 동시에 인접한 연조직의 확장을 일으킨다[1].

신연골형성술의 발달은 골격견인, 골절편의 고정 및 골절단술의 발달을 통해서 이루어져 왔다. 1905년 Codivilla[2]는 대퇴골의 사선 골절제술 후에 외부골격견인을 이용하여 지속적인 확장(continuous expansion)의 개념을 도입한 사지 연장술을 최초로 시행하였다. 이후 1950년대에 이르러 러시아의 외과의사인 Ilizarov[3,4]는 신연골형성술의 발달에 크게 기여하였다. 그는 외고정장치를 통한 수축력을 이용하여 불유합된 골절의 치료를 시행하려다 우연히 반대로 작용되어 신장력이 부여된 환자에게서 신생골질이 형성됨을 발견했다. 이후 많은 일련의 연구들을 통해서 새로운 고정장치인 원형외고정장치와 피질골절단술을 고안했으며 이를 통해서 신연골형성술을 실제 임상에 적용할 수 있는 기반을 마련했다. 이후 신연골형성술은 광범위한 사지기형을 교정하는 실용적인 방법으로 정착되게 되었다.

두개안면부의 신연골형성술은 1973년 Snyder 등[5]에 의해 처음으로 연구되었다. 이 실험은 개의 하악골에 골절제술로 교차교합을 유도한 뒤에 일차적 치유를 기다렸다가 이후에 외부신연기구를 이용해서 신장술을 시행하였고 결과적으로 하악골과 교합이 정상적으로 회복되었음을 보고하였다. 1992년 McCarthy 등[6]은 선천성 두개안면이상을 가진 환자에서 신연골형성술을 임상적으로 적용한 결과를 보고하였다. 실제 임상에서의 이러한 성공적인 보고 이후에 두개안면부의 신연골형성술의 분야가 급격히 발달했고, 이후 신연골형성술에 의한 하악골 길이의 증가[9,10]와 폭의 증가[11-13], 치조골 증대[14]의 성공적인 증례들이 많이 보고되었다. 현재 신연골형성술은 두개안면기형의 치료적 접근방법에 있어서 일반적으로 고려되어질 수 있는 치료방법으로 인식되어지고 있다.

신연골형성술의 단계는 골절단, 잠복기, 신연기, 경화기의 4단계로 구성되어 진다.

Ilizarov[3-4]는 장골에서 신연골형성술시에 골치유과정을 최적화하기위한 조건으로 골절단술을 시행하는 동안의 골막, 골수 및 혈관보존의 중요성, 신연기 전의 적절한 휴지기, 적절한 신연속도와 신연빈도, 그리고 견고한 고정장치를 통한 고정의 안정성 등을 제시하였다.

골절단술을 시행시에 혈액공급을 최대한으로 보존하는 것이 분리된 골절편의 치유와 골조직의 재생에 가장 중요한 요소로 보고되어지고 있다[15]. Illizarov[16]는 골수내의 혈액공급을 보존하기 위해서 피질골절단술만을 시행하는 것이 중요하다고 보고하였다. Kojimoto 등[17]은 골수강내의 혈류의 보존은 골생성에 절대적으로 필요한 것은 아니며 골막이 가장 중요한 요소라고 주장하였다. 본 실험에서는 골절단술 시행시 조직의 보존을 위해서 최소한의 골막박리를 시행하였고 이후에 골막을 흡수사로 봉합하였다.

잠복기는 골의 분리로부터 견인이 시작되는 시기까지의 기간이며, 가골이 형성되는 시기이다. 이때의 과정은 골절의 치유중에 일어나는 과정과 유사하다. 골절단 이후에 가장 먼저 혈종이 형성되고 이후에 1~3일간의 염증단계를 거쳐서 연성가골(3일~3주)의 형성이 이루어진다. 이러한 연성가골의 단계에서 견인력이 적용되어 골신장이 이루어진다. 이상적인 잠복기의 기간에 대해서는 아직까지 논란이 많다. Aronson 등[18]은 백서의 경골에서 일주일간의 잠복기를 허용하였고, Rowe 등[19-21]은 3일간의 잠복기를 허용한 이후 신연골형성술을 시행한 결과를 보고하였다. Paccione 등[22]은 백서의 하악골에 대한 실험을 통해서 5일간의 잠복기가 가장 이상적이라고 보고하였다. 본 실험에서는 5일간의 잠복기와 크게 유의한 차이가 없고 최초로 연성가골이 형성되기 시작하는 시기인 3일간의 잠복기를 부여한 뒤 신연을 시행하였다.

신연기는 연성가골이 생긴이후에 절단된 골절편사이 조직에 견인력을 작용하여 신생조직의 형성을 촉진하는 과정이다. 여기에는 하루에 신연되어지는 선형적인 거리인 신연속도와 하루에 신연을 시행하는 횟수인 신연빈도가 중요하게 작용한다. 신연속도와 신연빈도는 실험동물의 크기나 생체내 대사의 활성, 조직학적으로는 세포의 크기 등에 따라서 아주 다르게 적용되어야 한다. 두개안면부에서는 대개 1~2mm의 신연속도가 적절한 곳으로 보고되어지고 있다[23-26]. 또한 동일한 신연속도하에서 신연빈도를 높이는 것이 골형성을 촉진하는 것으로 보고된다[4]. Snyder 등[5]과 Karp 등[27]은 개의 하악골에서 하루 1mm의 신연속도가 최대한의 골의 재형성을 촉진한다고 보고하였다. Paccione 등[22]은 백서의 하악골에서 시행한 신연골형성술에서 하루 0.25 mm의 신연속도와 하루 2회의 신연빈도가 가장 우수하다고 보고하였다. Aronson 등[18]과 Yasui 등[28]은 하루 0.5mm의 속도로 2회에 나누어 신연하는 것이 골의 재형성에 좋다고 하였다. 본 실험에서는 0.5mm의 신연속도와 하루 2회의 신연빈도를 적용하였다.

경화기는 신연후에 새로이 형성된 신생골이 성숙되어 골화되며 재형성되어 지는 시기이며 임상적으로 장치물을 제거한 뒤에도 신연부위가 골절이나 변형없이 보존되어질 수 있는 기간을 의미한다[4,29]. Fischgrund 등[30]은 신장량이 많을수록 더 많은 고정기간이 필요하며, 연령이 많을수록 더 많은 고정기간이 필요하다고 보고하였다. 이 시기동안 장치물의 안정성이 가장 중요하게 생각되어진다.

신장력과 더불어 수축력에 대한 실험적인 연구들을 고찰해보면 기계적인 부하는 골의 성장과 발달에 있어서 중요한 조절인자로 작용되어지며 이러한 기계적인 압력하에서 골형성에 관한 여러 연구들이 이루어졌다. E.H. Burger 등[31]에 의한 연구에 의하면 간헐적인 수축력이 작용될 때 광물질의 대사과정에서 동화작용을 일으킬 수 있으며, 지속적인 수축력이 작용할 경우에는 반대로 이화작용을 일으킨다고 보고하였다. Veen 등[32]은 수축력이 연골의 광화를 촉진한다고 보고하였다. 또한 신연골형성술에 대한 개념과는 반대로 골과잉성장부에 대한 새로운 치료개념으로 Castello 등[33]은 수축골형성술(contraction osteogenesis)에 대해 보고하였다. 이 실험은 성장 잠재력이 남아있는 가토의 상악골에

서 골절단술없이 장치물을 장착하여 상악골의 전후방적인 성장 제한과 전치부 반대교합을 일으켰고 조직학적인 소견에서 골형성양상을 보였다.

일반적인 골절 후에서의 치유는 염증단계, 연성가골, 경성가골, 개조단계로 이루어진다. 골절의 처치에 있어서, 특히 사지골의 골절이 발생한 경우, 수축력을 이용하는 것이 골절의 치유에 있어서 가장 중요한 개념으로 확립되어 있다. 골절된 양 골절편 사이에 수축력을 가함으로써 직접적인 골화와 치유가 빨리 이루어지고, 또한 골절편 주위에 부착된 근육에 의해서 부가적인 수축력이 주어질 때 골형성이 좀 더 활발히 이루어진다고 보고되어졌다. 본 연구에서는 수축력을 신연골형성술과 연계해 보았다. 신장력에 의해서 활발하게 골형성과정이 촉진되어있는 상태의 백서에서 반대로 수축력을 적용하여 골형성과정중의 골화를 촉진하고자 하였다. 실험에서 수축군의 백서는 신연군보다 2mm가 더 많은 4mm를 신연하였고, 신연 후 1주일 뒤에 신연량이 2 mm가 될 때까지 수축력을 적용하였다.

본 실험의 육안적 소견과 방사선학적 소견 및 조직학적인 소견으로 신연군과 수축군의 신연부를 비교해 보았을 때 수축군에서 좀 더 골재생과 광화의 정도가 우수한 것을 확인할 수 있었다.이러한 실험결과는 신연골형성술에서 경화기동안에 골수축력을 적용함으로 경화기의 기간을 줄이면서 우수한 골질과 술후 안정성을 얻을 수 있는 가능성을 제시하였다.

수축력을 가하는 시기, 빈도, 신연부 골질에 대한 객관적인 평가, 더욱 다양한 방법을 적용한 실험, 임상실험 등을 통해서 복합력의 효용성에 대하여 저자는 점진적으로 보완할 예정이다.

본 실험의 결과들은 신연골형성술시 치료기간을 최소한으로 하면서 최대한의 골질을 얻어 이의 임상적 적용을 증가시키는 방향으로 적용이 가능하리라 생각되어지며 향후 수축골형성술을 이용한 두개골과잉부의 성장조절이나 치조열, 안면열이 있는 영아기 환자의 치료에도 이용될 수 있으리라 사료되어진다.

Ⅴ. 결 론

본 연구에서 저자는 백서의 하악골에서 신연골형성술을 도입하여 일반적인 방법으로 골절단, 잠복기, 신연기와 경화기를 시행한 신연군과 다른 조건들은 동일하나 경화기의 일정한 시기에 수축력을 적용한 복합군으로 나누어 신연 이후에 나타나는 조직반응을 육안적, 방사선학적, 조직학적으로 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 방사선 소견에서, 복합군이 피질골뿐만 아니라 신연군에서 잘 이루어지지 않았던 중앙부 해면골의 골형성도 활발히 이루어져 전체적으로 방사선 불투과성이 신연군보다는 좀 더 증가되어 골경화도가 증가되어 있음을 알 수 있었다.
2. 조직학적 소견에서도, 복합군에서 성숙된 층판골 및 골소주의 재형성양상이 신연군 보다 넓은 부위에서 관찰되었고, 신연 중앙부위에도 상대적으로 증가된 골소주를 확인 할 수 있었다.

상기 결과로 볼 때, 신연골형성술시 경화기 동안에 수축력을 적용하는 것은 신연골형성술시 신장력만 단독으로 부여하는 것보다 보다 나은 골질을 형성할 수 있으며 전체 골형성유도기간도 단축시킬 수 있는 방법으로 사료된다.

참고문헌

1. Mikhail LS, Cherkashin AM, Cope JB. Distraction osteogenesis : History and biologic basis of new bone formation In: Lynch SE, Genco RJ, Mark RE, editors. Tissue engineering : Applications in maxillofacial surgery and periodontics listed Ill: Quintessence, 1998:130-148.
2. Codivilla A: On the means of lengthening in the lower limbs, the muscles, and tissues which are shortened through deformity. Am J Orthop Surg 1905;2:353-359 (cited from a reprint of the original article under the title "The Classic" in Clin Orthop 1994;301:4-9).
3. 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 1989;238:249-281.
4. 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 1989;239:263-285.
5. Snyder CC, Levine GA, Swanson HM, Browne EZ Jr. : Mandibular lengthening by gradual distraction. Plast Reconstr Surg 1973;51:506-508.
6. McCarthy JG, Schreiber J, Karp N, Thorne CH, Grayson BH. : Lengthening of the human mandible by gradual distraction. Plast Reconstr Surg 1992;89:1-10.
7. Davies J, Turner S, Sandy JR. : Distraction osteogenesis--a review. Br Dent J. 1998;185:462-467.
8. McCarthy JG, Stelnicki EJ, Mehrara BJ, Longaker MT. : Distraction osteogenesis of the craniofacial skeleton. Plast Reconstr Surg 2001;107:1812-1827.
9. Molina F, Ortiz MF : Mandibular elongation and remodeling by distraction: A farewell to major osteotomies. Plast Reconstr Surg 1995;96:825-840.
10. Sawaki Y, Ohkubo H, Hibi H, Ueda M. : Mandibular lengthening by distraction osteogenesis using osteointegrated implants and an intraoral device. A preliminary report. J Oral Maxillofac Surg 1996;54:594-600.
11. Perrott DH, Berger R, Vargervik K, Kaban LB. : Use of a skeletal distraction device to widen the mandible. A case report. J Oral Maxillofac Surg 1993;51:435-439.
12. Bell WH, Guerrero CA : Intraoral distraction osteogenesis. A new frontier. J Oral Maxillofac Surg 1996;54:131-133.
13. Hollis BJ, Block MS, Gardiner D, Chang A. : An experimental study of mandibular arch widening in the dog using distraction osteogenesis. J Oral Maxillofac Surg. 1998;56:330-338.
14. Block MS, Chang A, Crawford C : Mandibular alveolar ridge augmentation in the dog using distraction osteogenesis. J Oral Maxillofac Surg 1996;54:309-314.
15. Klotch DW, Ganey TM, Slater-Haase A, Sasse J. : Assessment of bone formation during osteogenesis. A canine model. Otolaryngol. Head Neck Surg. 1995;112:291-302.
16. Ilizarov GA. : Basic principle of transosseous compression and distraction osteogenesis. Ortop Travmatol Protez 1971;32:7-15.
17. Kojimoto H, Yasui N, Goto T, Matsuda S, Shimomura Y. : Bone lengthening in rabbits by callus distraction. The role of the periosteum and endosteum. J Bone Joint Surg 1988;70B:543-549.
18. Aronson J, Shen XC, Skinner RA, Hogue WR, Badger TM, Lumpkin CK Jr. : Rat model of distraction osteogenesis. J Orthop Res. 1997;15:221-226.
19. Rowe NM, Mehrara BJ, Dudziak ME, et al. : Rat mandibular distraction osteogenesis: Part I. Histologic and radiographic analysis. : Plast Reconstr Surg. 1998;102:2022-2032.
20. Babak JM, Norman MR : Rat Mandibular Distraction Osteogenesis: II. Molecular Analysis of Transforming Growth Factor Beta-1 and

Osteocalcin Gene Expression. Plast Reconstr Surg 1999;103:536-547.
21. Warren SM, Mehrara BJ, Steinbrech DS, et al. : Rat mandibular distraction osteogenesis: part III. Gradual distraction versus acute lengthening. Plast Reconstr Surg 2001;107:441-453.
22. Paccione MF, Mehrara BJ, Warren SM, et al. : Rat mandibular distraction osteogenesis: latency, rate, and rhythm determine the adaptive response. J Craniofac Surg 2001;12:175-182.
23. Karaharju-Suvanto T, Karaharju EO, Ranta R : Mandibular distraction. An experimental study on sheep. J Craniomaxillofac Surg 1990;18:280-283.
24. Karp NS, McCarthy JG, Schreiber JS, Sissons HA, Thorne CH. : Membranous bone lengthening. A serial histological study. Ann Plast Surg 1992;29:2-7.
25. Costantino PD, Shybut G, Schreiber JS, et al. : Segmental mandibular regeneration by distraction osteogenesis. An experimental study. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 1990;116:535-545.
26. Klein C, Howaldt HP : Correction of mandibular hypoplasia by means of bidirectional callus distraction. J Craniofac Surg 1996;7:258-266.
27. Karp NS, Thorne CH, McCarthy JG, Sissons HA. : Bone lengthening in the craniofacial skeleton. Ann Plast Surg 1990;24:231-237.
28. Yasui N, Sato M, Ochi T, et al. : Three models of ossification during distraction osteogenesis in the rat. J Bone Joint Surg 1997;79(B):824-830.
29. Ilizarov GA : Clinical application of tension-stress effect for limb lengthening. Clin Orthop 1990;250:8-26.
30. Fischgrund J, Paley D, Suter C : Variables affecting time to bone healing during limb lengthening. Clin Orthop 1994;301:31-37.
31. Burger EH, Klein-Nulend J, Veldhuijzen JP. : Mechanical stress and osteogenesis in vitro. : J Bone Miner Res. Suppl 1992;2:S397-401.
32. Van't Veen SJ, Hagen JW, van Ginkel FC, Prahl-Andersen B, Burger EH. : Intermittent compression stimulates cartilage mineralization. Bone 1995;17:461-465.
33. Castello JR, Olaso AS, Chao JJ, McCarthy JG, Molina F. : Craniofacial shortening by contraction osteogenesis: an experimental model. : Plast Reconstr Surg. 2000;105:617-625; discussion 626-627.

사진부도 설명

Fig. 5. Radiographic feature after insertion of device.
Fig. 6. Radiographic feature by 3 weeks after distraction in distraction group.
Fig. 7. Radiographic feature by 6 weeks after distraction in distraction group.
Fig. 8. Radiographic feature by 11 days after distraction(last compression day) in combination group.
Fig. 9. Radiographic feature by 3 weeks after distraction (by 10 days after compression) in combination group.
Fig. 10. Radiographic feature by 6 weeks after distraction (by 31 days after compression) in combination group.
Fig. 11. Microscopic feature by 3 weeks after distraction in distraction group (H&E; 40). Arrow shows osteomy site and distracted direction.
Fig. 12. Microscopic feature by 3 weeks after distraction in distraction group (Masson's trichrome; 40). Arrow shows osteomy site and distracted direction.
Fig. 13. Microscopic feature by 6 weeks after distraction in distraction group (H&E; 40). Arrow shows osteomy site and distracted direction.
Fig. 14. Microscopic feature by 6 weeks after distraction in distraction group(Masson's trichrome; 40). Arrow shows osteomy site and distracted direction.
Fig. 15. Microscopic feature by 11 days after distraction(last compression day) in combination group(H&E; 40). The long arrow shows osteotomy and distracted direction and the short arrow shows compressed direction.
Fig. 16. Microscopic feature by 11 days after distraction(last compression day) in combination group(Masson's trichrome; 40). The long arrow shows osteotomy and distracted direction and the short arrow shows compressed direction.
Fig. 17. Microscopic feature by 3 weeks after distraction(by 10 days after compres sion) in combination group(H&E; 100). The long arrow shows osteotomy and distracted direction and the short arrow shows compressed direction.
Fig. 18. Microscopic feature by 3 weeks after distraction(by 10 days after compres sion) in combination group(Masson's trichrome; 40). The long arrow shows osteotomy and distracted direction and the short arrow shows compressed direction.
Fig. 19. Microscopic feature by 6 weeks after distraction(by 31 days after compres sion) in combination group(H&E; 100). The long arrow shows osteotomy and distracted direction and the short arrow shows compressed direction.
Fig. 20. Microscopic feature by 6 weeks after distraction(by 31 days after compres sion) in combination group(Masson's trichrome; 100). The long arrow shows osteotomy and distracted direction and the short arrow shows compressed direction.

사진부도 ①

Fig. 5

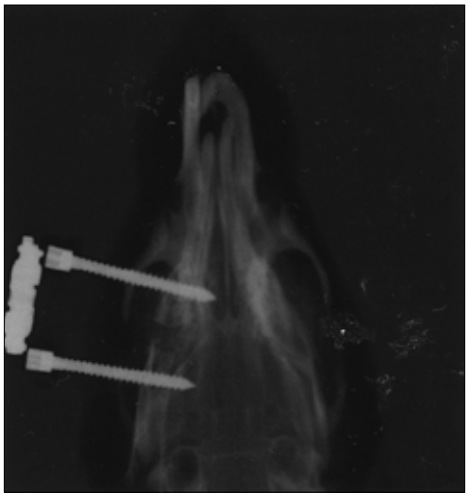

Fig. 6

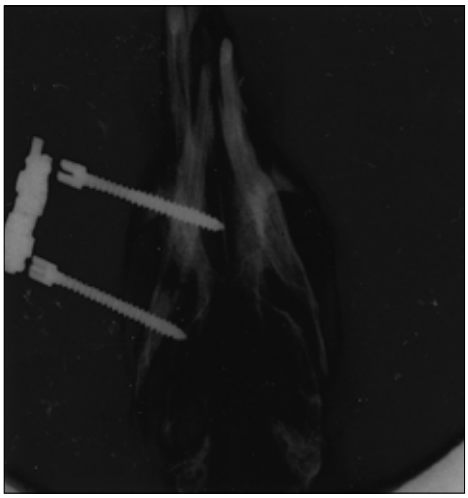

Fig. 7

Fig. 8

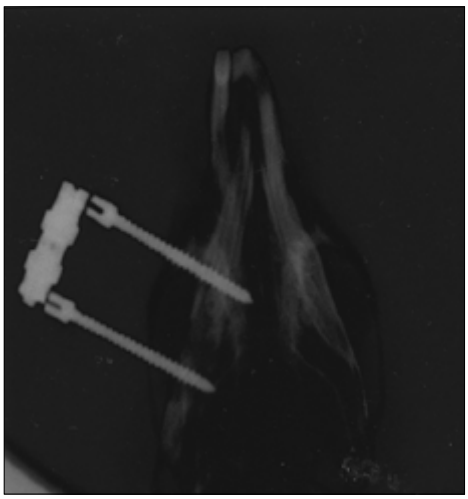

Fig. 9

Fig. 10

사진부도 ②

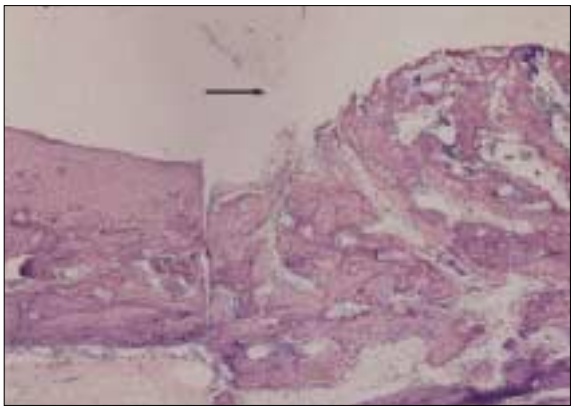

Fig. 11

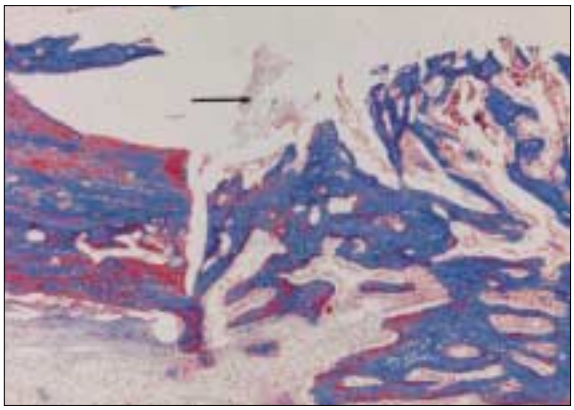

Fig. 12

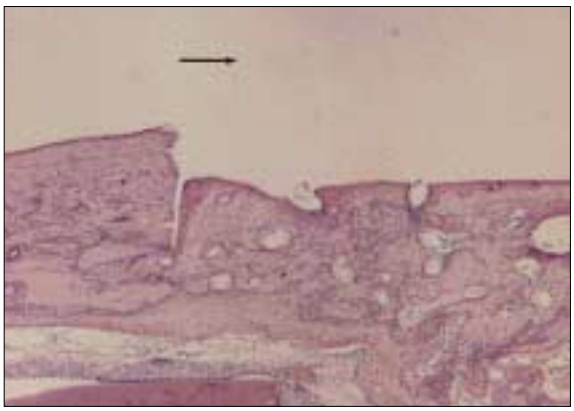

Fig. 13

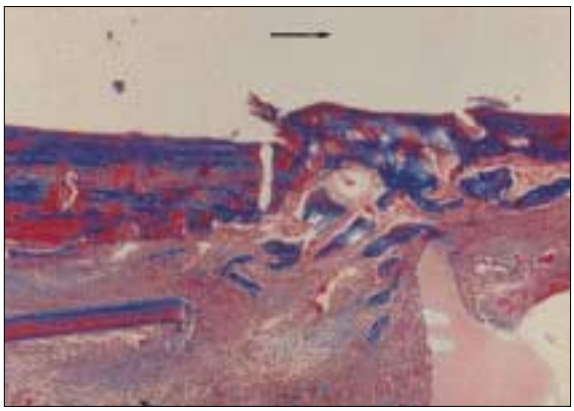

Fig. 14

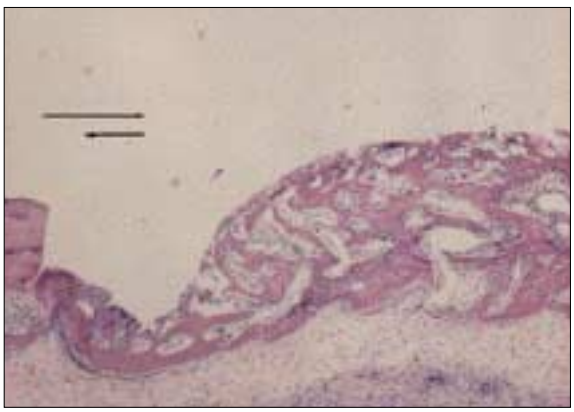

Fig. 15

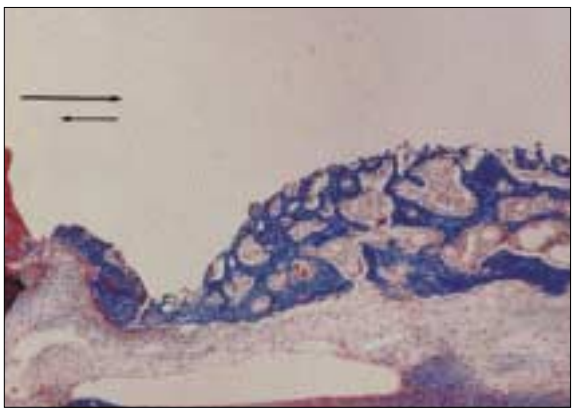

Fig. 16

사진부도 ③

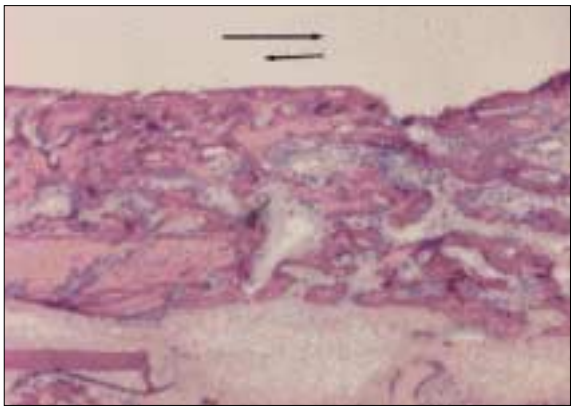

Fig. 17

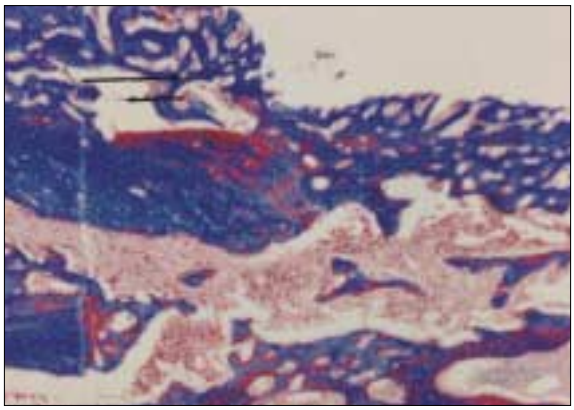

Fig. 18

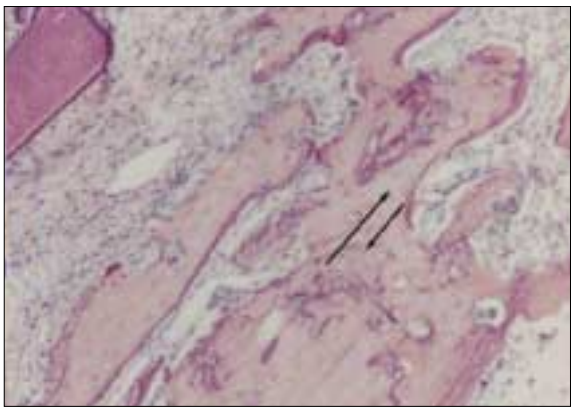

Fig. 19

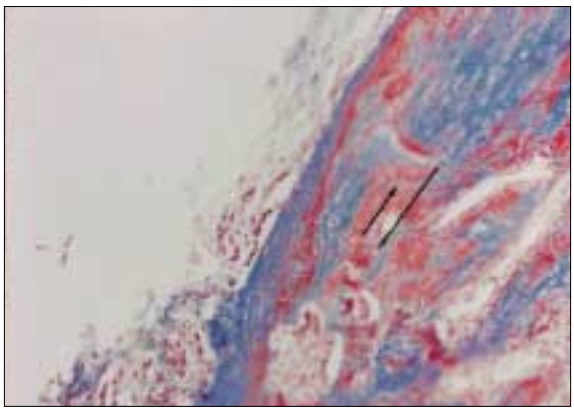

Fig. 20