

편측 하악골 신장술에 의한 악관절의 변화에 관한 조직학적 연구

안정모 · 오세종 · 차용두 · 권순용 · 박영주 · 박준우 · 이건주

한림대학교 의과대학 치과학교실 구강악안면외과

Abstract

A HISTOLOGIC STUDY OF THE CHANGE OF TEMPOROMANDIBULAR JOINT AFTER UNILATERAL DISTRACTION OF MANDIBLE

Jung-Mo An, Se-Jong Oh, Yong-Doo Cha, Soon-Yong Kwon,
Young-Ju Park, Jun-Woo Park, Gun-Joo Rhee

Dept. of Oral & Maxillofacial Surgery, College of Medicine, Hallym University

The objective of this study was to find out whether the unilateral distraction of mandible has an influence on temporomandibular joint and if it does, how significant the influence is.

Four beagle dogs were used in this study. Each dog had two implants placed into the left mandible. The mandible was distracted for 14days with a distraction device as an amount of 0.75mm, twice per day after osteotomy between two implants.

Each animals were sacrificed at the second, fourth, sixth and eighth week after the total distraction amount of 10.5mm were gotten.

Upon embedding and staining, the specimens were evaluated with a light microscope. The results were as follows.

1. For the second week group, the articular cartilage and osteoid seam of temporal bone and condyle were relatively well maintained. There were not any significant differences between distraction side and non distraction side.
2. For the fourth week group, the periosteal reaction was activated and the articular cartilage and osteoid seam of temporal bone and condyle were severely thickened - especially at posterior portion of distraction side. This findings revealed that the unilateral distraction forces has more influence on distraction side than on non distraction side, and on posterior portion than on anterior portion.
3. For the sixth and eighth week group, the thickness of meniscus in distraction side gradually recovered to the initial level. The thickened articular cartilage and osteoid seam of temporal bone and condyle were decreased in distraction side and showed relatively stable in non distraction side.

From this results, we suggest that several considerations are required such as using an occlusal splint, maintaining the stability of bone distraction device and evaluating bone distraction rate to minimize the damages of temporomandibular joint tissues in early stage of distraction side.

I. 서 론

골 신장술(osteodistraction)은 인체의 손상을 회복하거나, 심미적인 치료를 위해 자연적인 치유기전을 이용하는 술식으로써 치밀골 혹은 해면골까지 포함한 골 절골술을 시행하고 절골부 양측에 장치를 매식한 후 기계적으로 신장시켜 새로운 골조직의 형성을 유도함으로써 편측성 혹은 양측성 발육 장애나 선천성, 외상성 혹은 질병으로 인한 골격 부조화의 수정과 골 결손부를 치유하는데 이용된다. 선천적으로 짧은 골의 수술적 신장은 1900년대 초반부터 의학적 탐구의 초점이 되어왔다. 초기 학자들은

대퇴골에 절골술을 시행한 다음 외부에서 힘을 가해서 신장시켰는데, 피부괴사, 감염, 골의 접합불량등 많은 문제점을 야기시켰다(Stucki-McCormick & Mizrahi,1997). 이러한 술식은 Codvilla (1905)가 최초로 대퇴골에서 핀을 사용해서 시도했으며, 이후 1950년대 Ilizarov는 링 형태의 외부 장치와 강선을 사용하여 최초로 성공한 수술법으로 골막을 보존하고 골수에 혈액 공급을 위해 피질골 절골술 후 신장전 5~7일간의 안정기(latency period)를 두고 하루에 1mm 정도의 골신장을 함으로써 현재와 같은 형태의 술식과 생물학적 배경의 규명 및 장치개발의 모체가 되었다 (Ilizarov,1989, a, b).

대퇴골이나 다른 사지골에 적용되던 골 신장술은 Snyder et al.(1973)에 의해 최초로 성장중인 개의 하악골에 시행되었다. 이후 1990년대 이르러 골 신장에 대한 활발한 연구가 진행되어 Costantino et al.,(1990)은 골 결손의 재건에서 견인 골 생성은 기능적인 골의 재생성에 적절한 도구라고 강조하였으며, 1993년에는 12개월 이상의 장기적 관찰에서 기능적, 형태적, 생역학적 연구결과 우수한 성적을 얻었다고 보고했다. Aronson et al.,(1989)은

안 정 모

134-701, 서울특별시 강동구 길동 445

한림대학교 의과대학 치과학교실 구강악안면외과

Jung-Mo An

Dept. of OMFS, Gangdong Sacred Heat Hospital, College of Medicine, Hallym Univ.

445, Gil-Dong, Gangdong-Gu, Seoul 134-701, Korea

Tel. 82-2-2224-2332 Fax. 82-2-483-9647

견인 골 생성에 대한 양적 컴퓨터 단층촬영, 미세 방사선학적 관찰과 비탈회 표본의 조직학적 소견, 칼슘 정량분석, 주사전자 현미경적 관찰을 시도하였으며, Delloye et al.,(1990)은 견인 신장동 안 피질골 분절로부터 골재생 형태에 대하여, Karp et al.,(1992)은 견인 중간부위에서 방사선 투과 부위의 변화에 대하여, Bell et al.,(1997)은 하악골 신장중 견인골 생성의 생물학적 관찰을 시도하였다. 또한 Samchukov et al.,(1998)이 신장술을 위한 장치에 대해 방향의 중요성을 강조하고 하악골에 대한 이차원적 모델의 컴퓨터 분석을 통해 신장기의 방향에 대하여 보고하였다. 임상적으로는 McCarthy et al.,(1992)은 하악골 왜소증의 아동환자에 최초로 하악골 신장술을 보고 하면서 1일 1mm씩 20일간 신장시킨 후 9주간의 안정기를 갖고 11개월에서 20개월 사이에 관찰 결과 수술 후 부작용은 없었다고 보고하였다.

하악골 신장시 일어날 수 있는 또 다른 부작용으로는 신장부 골 형성 부전, 감염 및 악관절의 장애, 교합장애 등이 일어날 수 있는데, 최근 다른 문제에 대해서는 대부분 해결책이 다양하게 제시되고 있으나 악관절 장애에 대해서는 아직까지도 논란이 계속되고 있는 실정이다. 이렇게 장애를 일으키는 악관절은 인체 중 가장 복잡한 관절 중의 하나로써 조직학적으로 1) 섬유 표면층(fibrous surface layer), 2) 증식층(proliferative zone), 3) 연골 비후층(hypertrophic cartilage), 4) 골조직(bone tissue)으로 구성되어 있으며 일생을 통해 형태와 역할이 변화와 변형을 거치게 된다. 섬유 표면층은 연골아 간엽세포에 의해 외상시 완전한 치유능력을 과두부에 부여하고 증식층은 연령증가와 더불어 점차 줄어들며, 연골 비후층은 성인이 되면서 초자 연골에서 섬유성 연골로 변화하며 하악과두는 정상적인 기능과 위치 유지를 위하여 지속적인 골 형성이 일어난다고 한다(Ten Cate, 1985). 이와 같은 자연적인 변화에 다양한 자극이나 조건을 부여하였을 때 하악과두의 변화에 대해서 Copray et al.,(1985, a)은 양측과두에 지속적인 힘과 간헐적인 힘을 가하였을 때 과두연골의 증식과 기질형성을 관찰한 결과 지속적인 힘을 준 경우는 증식이 촉진되고 기질 합성은 간헐적인 힘을 준 경우가 촉진되었다고 하였으며, 생후 4일된 생쥐 과두에 생역학적인 힘을 달리하여 연골 성장을 관찰 결과 3g 미만의 연속된 힘에서는 연골 성장에 영향이 없었으나 3g 이상에서는 성장을 멈추게 한다고 하였다(Copray et al. 1985, b).

Bouvier & Zimmy(1987)는 쥐에 음식물의 경도를 달리하여 저작시켰을 때 연식을 섭취한 경우는 과두의 면이 평활하고 기공이 없었으나 경식의 경우는 거칠고 기공이 많이 나타났다고 보고하였다. 그밖에도 Luz et al.,(1991)은 쥐 하악골 우각부에 충격을 가하였을 때 과두부의 골 재형성을, Kuboki et al.,(1997)과 Nakai et al.,(1998)은 요크셔 돼지와 쥐에 압흔 실험기(indentation tester)를 관절부에 부착하여 압축 응력을 관찰하였으며, Chin et al.,(1996)은 사체 12개 관절원판 점탄성 평가에서 부하율이 증가할수록 관절원판은 긴장한다고 하였다. 이러한 충격이나 손상은 연골세포와 하방 과두 골조직 관절염을 야기할 수도 있다고 하였다(Mankin, 1982).

하악과두는 하악골 성장점이므로 하악과두부가 비정상적인

성장이 이루어지면 하악골 왜소증이나 하악골 변이 등이 일어나며 그 성장과 기능 회복을 위하여 자가골 이식으로 하악과두를 대체해야 할 경우가 종종 있다. 이 때 공여부는 늑연골, 흉늑골관절 등이 이용된다. Ellis & Carson(1986)은 조직학적으로 흉늑골관절이 악관절과 더 유사하다고 하였다. 그러나 자가골이식도 타부위의 2차 수술과 이식후 골 흡수 등 많은 단점을 갖고 있으므로 최근에 더욱더 자연적인 치유기전에 의하여 이루어지는 골 신장술에 관심을 갖게 된 것으로 생각된다. 그러나 골 신장이 이루어지는 끝 부분에 해당되는 관절부에 대한 연구는 미미한 상태다.

이에 본 연구의 목적은 하악골 왜소증과 같은 악변형증 치료에서 대부분 수반되는 악관절 장애를 해소하기 위하여 보다 나은 처치 방법을 제안하고자 하는 것이다. 특히 왜소증 환자의 경우는 개구장애로 인하여 구치부가 결손된 사례가 많으므로 결손부 회복을 위하여 임플란트를 매식한다. 임플란트를 이용한 하악골 신장술이 보다 간소화된 방법이라고 판단되어 이 방법을 본 연구에 시도하였다. 이를 위하여 자체 고안한 골 신장장치를 임플란트에 고정하여 상품화된 신장장치와 다른 힘의 방향으로 인한 양측 하악 관절부에 미치는 결과를 해부학적 부위에 따라 조직학적 변화와 조직형태학적 계측으로 그 변화를 규명코자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험동물

실험동물로는 체중 15~18kg되는 성견(Beagle dog) 4마리를 사용하였으며 실험기간동안 체중의 변화는 보이지 않았다. 하악 좌측 제1, 2소구치와 제1대구치를 발거하여, 골체부에 신장장치를 위한 임플란트 식립 공간을 확보하고 교합 간섭에 의해 발생할 수 있는 문제점을 제거하였다.

2. 임플란트의 식립과 골 절골

치아 발거 후 4주간의 치유기간이 경과하고 난 후 직경 3.75mm, 길이 8mm의 임플란트 2개를 하악 좌측 골체부의 발치 부위에 10mm의 간격으로 매식하였다. 모든 외과적 술식시에는 Combelen(Beyer Korea, Seoul, Korea)을 마취 전 처치제로 체중 1kg당 0.05mg을 근주하였으며, 마취제로는 Zoletil(Virvac, Carros, France)을 체중 1kg당 0.2mg을 근주하였고 1 : 100,000 epinephrine의 2% Lidocaine HCl로 수술 부위의 국소마취를 시행하였다. 매식된 임플란트는 titanium plasma spray 된 나사형의 치과용 임플란트(Intec., Ardmore)였으며, 이를 치조정에서 하악골 하연 방향으로 하치조 신경의 손상없이 매식하였다. 매식 후 16주 동안의 골 유착 기간을 가진 다음 양 임플란트 중간부에서 피질골 절골을 시행하였다. 피질골 절골시에는 치조정에서 전정부를 포함하는 점막골막 피판을 터널 방식으로 형성하였으며, 골막의 손상을 최소화하면서 협설측으로 박리하고 양 임플란트의 중심부를 따

라 하악 골체부의 치밀골과 일부의 해면골을 외과용 fissure bur와 round bur를 이용하여 삭제한 후 외과용 chisel로 절골을 시행하였다. 절골 시행 후에는 3-0 vicryl 흡수사로 봉합을 하고 그 즉시 신장장치를 임플란트에 접착시키고 1.0mm의 신장을 시행하였다. 임플란트의 식립과 신장장치의 장착 후에는 하루는 유동식을, 그 이후로는 통상적인 고형식을 공급하였다.

3. 신장장치

본 실험에 이용한 신장장치는 자체 고안한 장치로서 직경 5mm, 길이 35mm의 수나사와 2개의 압나사, 그리고 중간부에 회전량을 조절하는 hole을 가진 조절부로 구성되어 있다. 신장장치는 양 방향으로 동일한 양만큼 신장되고 수나사의 1 pitch의 길이는 1.0mm이며, 임플란트의 상부구조 위에 압나사를 납착시킨 금속 주조관을 레진으로 접착시켰다(Fig. 1, 2). 신장장치의 적합 후 10일 동안의 안정기를 거친 다음 하루 0.75mm(3/4회전)의 신장을 2회로 나누어 시행하였다(1회 3/8회전). 14일 동안 총 10.5mm의 신장을 완료한 후 2주 간격으로 2주, 4주, 6주, 8주에 각각 회

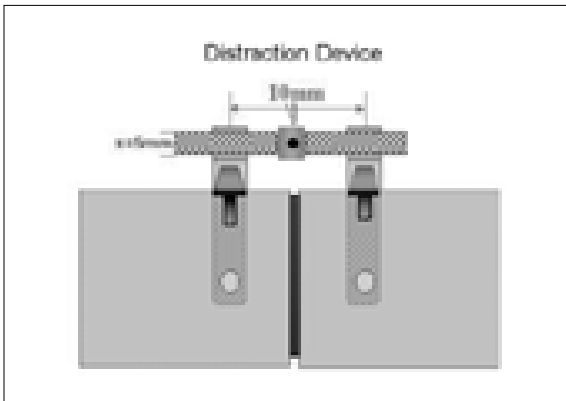


Fig. 1. Distraction device.



Fig. 2. Intraoral view of the distraction device.

생하였다.

4. 실험동물의 희생 및 조직표본 제작

희생은 Karnovsky 고정액(paraformaldehyde-glutaraldehyde)을 이용한 혈관 관류 고정법을 이용하여 시행하였는데 경부 정중선을 따라 약 15cm정도 절개하고 총경동맥과 외경정맥을 조심스럽게 박리하여 고정액을 관류시켰다. 고정을 완료한 후 악관절부와 주위조직을 보호하며 조직을 박리하고 외과용 saw를 이용하여 좌, 우 악관절부를 적출하였다. 측두골과 관절원판, 하악과두, 관절후방조직, 관절낭을 포함하는 7×7×10cm 크기의 조직을 적출하였다. 적출 직후 70% 에탄올에 고정하여 1시간동안 진공 상태에서 탈수 시킨 후 4℃에서 24시간동안 보관하고, 95% 에탄올과 100% 에탄올을 순서대로 침투시키고 다시 24시간동안 냉장 보관하는 과정을 총 6회 반복하여 시행하였다. 조직 탈수가 완료된 후 methylmethacrylate(MMA) 용액에 초기 1시간 동안은 진공상태에서 침투를 유도하였고 총 48시간동안 보관하고 다시 새로운 MMA용액에 48시간 동안 침투시켰다. MMA 5ml에 50μl의 JB-4 embedding kit component B를 첨가한 용액에 조직을 10분동안 진공상태를 유지하고 질소 가스를 주입한 후 실온에서 24시간동안 활성화시켜 포매하였다. 레진이 완전히 중화된 후 경조직 절단기(Jung polycuts, Leica Instruments Co., USA)를 이용하여 조직을 관절의 정중부를 기준으로 시상면 방향으로 10μm의 두께로 절삭하고 Goldner's modified Masson trichrome법에 의한 염색을 시행한 후 광학 현미경 하에서 검경하였다.

5. 조직형태계측학적 분석

신장측과 비신장측의 악관절부를 시상면에서 관절원판을 포함하는 부분의 전방부, 중간부, 후방부로 구분하여 측두골의 관절연골, 관절원판, 하악과두의 관절연골, 하악과두의 유골봉합선(osteoid seam)의 두께를 μm단위로 계측하였다(Fig. 3).

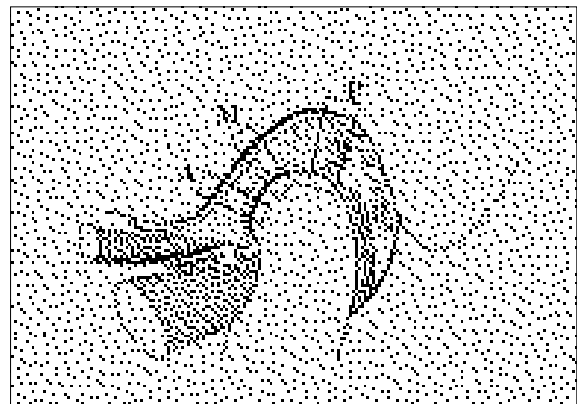
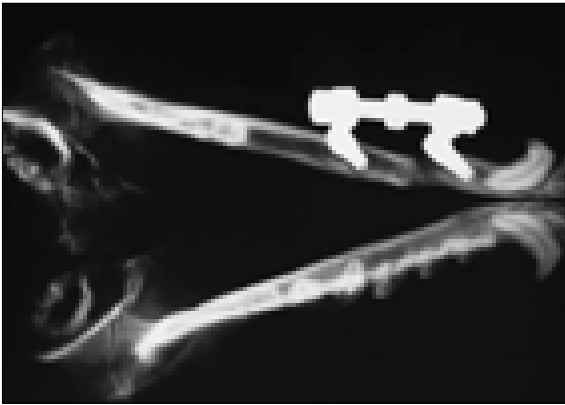
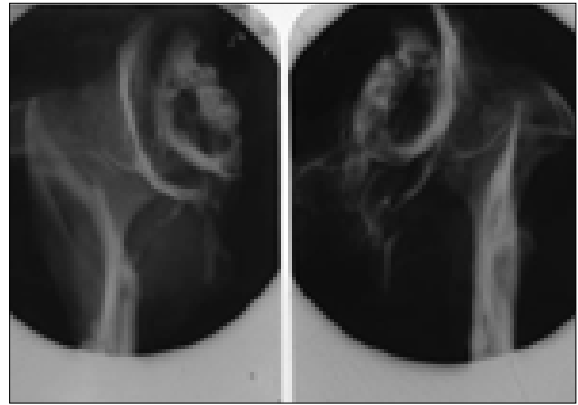


Fig. 3. The measuring area of the temporomandibular joint.

- A : anterior portion
- M : middle portion
- P : posterior portion



A



B

Fig. 4. Radiographic findings.

A : Occlusal view, B : Antero-posterior view of both TMJ

6. 방사선학적 관찰

신장 완료 직후와 희생 후에 좌우측 관절부의 시상방향, 전후 방향, 교합면 방사선사진을 촬영하여 관절강의 변화, 측두골과 하악과두의 변화, 신장정도, 방사선투과도를 관찰하였다(Fig. 4 A, B).

III. 결 과

1. 광학현미경적 소견

1) 신장측 소견

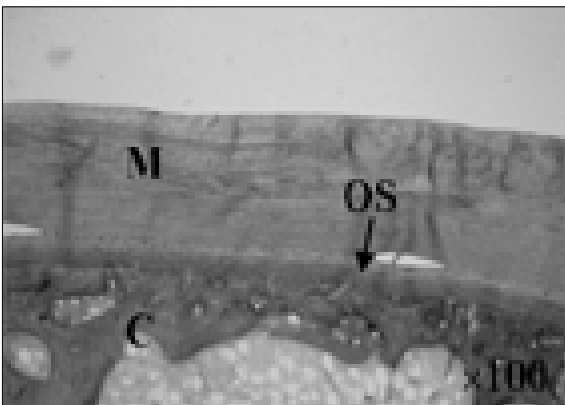
• 2주군

측두골의 관절연골은 비교적 잘 유지되어 있었으며, 관절연골 아래쪽에 불연속성의 유골의 띠가 관찰되었다. 해면골과 피질골의 연결성은 좋았으며, 활성화된 조골세포 및 파골세포는 관찰

되지 않았다. 관절원판은 조밀한 섬유조직으로 되어있으며 각각의 외측에서 관절내강으로 점차 가늘어지는 형태를 취하고 있었다. 하악과두의 관절연골은 특이한 변화는 보이지 않고 있었으나, 약간 더 두터운 유골의 띠를 하부에는 미약한 골막반응을 관찰할 수 있었고, 해면골 내부에 불규칙적인 가골과 유골이 관찰되었다(Fig. 5).

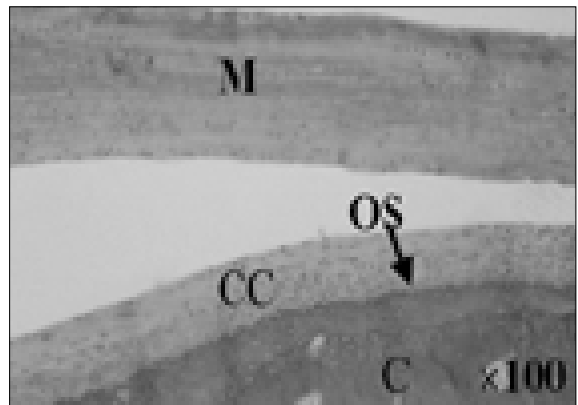
• 4주군

측두골의 관절연골은 2주에 비해 비후되었고 해면골 내측의 유골의 띠는 점진적인 증가 양상이 나타났다. 약간의 활성화된 조골세포가 관찰되었으나 파골세포의 활성화는 관찰되지 않았다. 관절원판은 전반적으로 그 크기가 현저하게 감소되며 각각의 관절면과 연결되는 외측에 얇은 단층의 활막세포가 피복하고 있었으며 모세혈관 크기의 혈관이 분포하였다. 과두에서의 관절연골은 뚜렷하게 비후되는 경향을 보였으며 특히 관절면 후방에서 그 변화가 현저하며 해면골 내측의 유골의 띠 역시 후방에서 그



M : meniscus
OS : osteoid seam
C : condylar bone

Fig. 5. The histologic findings of distraction side at 2 weeks.



M : meniscus
CC : condylar cartilage
OS : osteoid seam
C : condylar bone

Fig. 6. The histologic findings of distraction side at 4 weeks.

두께의 증가가 컸다. 하부에서는 심한 골막반응을 관찰할 수 있었으며, 해면골 내부에도 불규칙적인 가골과 유골이 관찰되었다. 이 부위에서는 활발한 조골세포의 반응이 관찰되나 파골세포의 활성화는 관찰되지 않았다(Fig. 6).

• 6주군

2주군이나 4주군에 비교하여 측두골의 관절연골이나 연골하방의 유골의 띠는 형태학적으로 큰 차이를 보이지는 않았고, 관절원판의 두께는 다시 회복되는 모습을 보였다. 하악과두 관절면 하방에 생성된 유골과 연결된 피질골 및 해면골 내부에서 비교적 활발한 조골 세포의 반응성 증식과 더불어 비교적 넓은 유골의 띠가 형성되지만 4주보다는 감소되는 소견을 보였다. 하악과두 연골은 2, 4, 6주에서 점차적으로 증가하는 양상을 보이지만 중간부나 후방부에서 지속적인 증가소견을 보이고 전방부는 점차 회복되는 모습이였다. 역시 활성화된 조골세포는 관찰되

나, 파골세포는 관찰되지 않았다(Fig. 7).

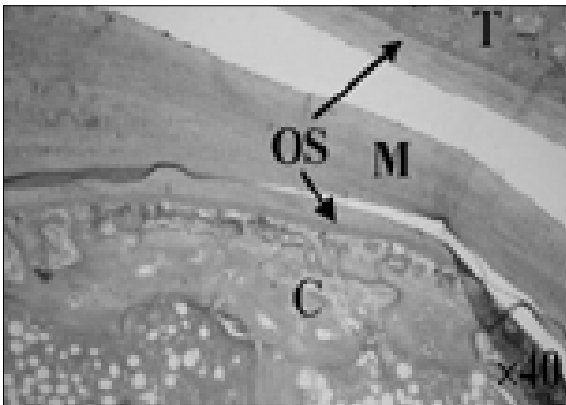
• 8주군

측두골은 관절연골이 잘 유지되고 그 하방에 유골의 띠도 나타났지만 하악골 보다는 덜 저명하였다. 피질골과 해면골에서는 특이한 차이는 관찰되지 않았다. 하악과두의 관절연골은 약간의 비후소견을 보이고 연골하방의 유골의 띠도 부위에 따라 차이는 있으나 비후되어 있는 소견을 나타내고 있었다. 그의 피질골과 해면골에는 간혹 반응성의 유골의 띠가 나타나기도 하나 그리 저명하지는 않았다(Fig. 8).

2) 비신장측 소견

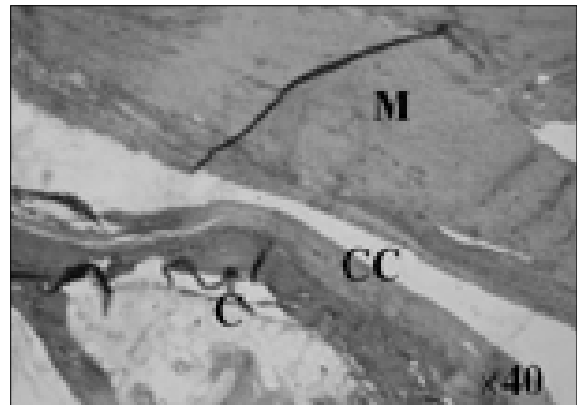
• 2주군

측두골의 관절면은 균일한 두께의 관절연골이 잘 유지되고 관절연골 하방의 불연속성의 유골이 분포하고 있었다. 피질골과



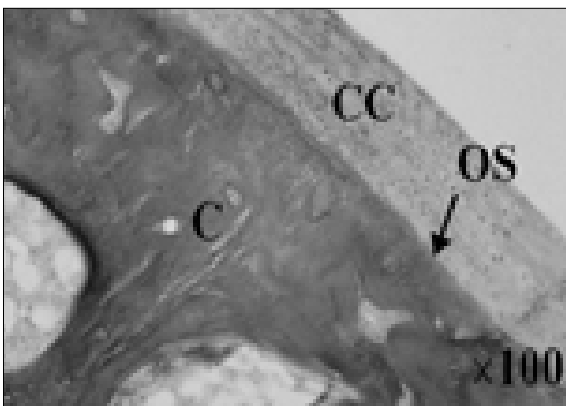
T : temporal bone
M : meniscus
OS : osteoid seam
C : condylar bone

Fig. 7. The histologic findings of distraction side at 6 weeks.



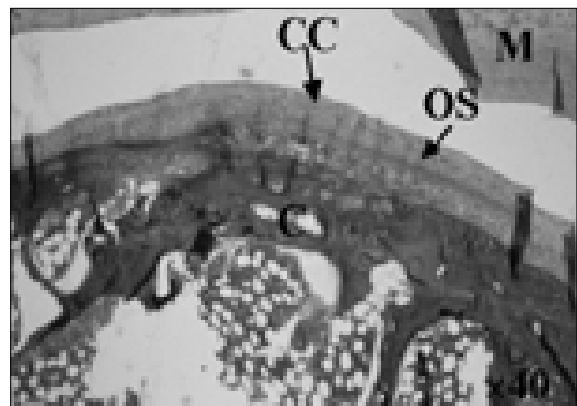
M : meniscus
CC : condylar cartilage
C : condylar bone

Fig. 8. The histologic findings of distraction side at 8 weeks.



CC : condylar cartilage
OS : osteoid seam
C : condylar bone

Fig. 9. The histologic findings of non-distraction side at 2 weeks.



M : meniscus
CC : condylar cartilage
OS : osteoid seam
C : condylar bone

Fig. 10. The histologic findings of non-distraction side at 4 weeks.

해면골의 연결상태는 좋으며 해면골 일부에서 골수와 연한 내측면을 따라 유골의 띠가 관찰되기도 했다. 이 부위에서 조골세포와 파골세포의 활성도는 관찰되지 않았다. 관절원판은 관절면과 연결되는 외측에 단층의 얇은 활막세포가 피복하고 있었다. 하악과두의 연골은 일정한 두께로 유지되고 연골의 부분적 비후나 유골의 증식현상은 보이지 않았다. 전체적으로 신장측과 큰 차이는 보이지 않았다(Fig. 9).

• 4주군

측두연골은 신장측과 비슷한 소견을 보이며 2주에 비해 약간 비후되고 불규칙한 형태의 유골의 띠가 관찰되었으나 관절원판은 미세하게 증가하는 모습을 보였다. 과두골 하부에는 골막반응과 더불어 조골세포의 약한 활동성도 관찰되었다(Fig. 10).

• 6주군

측두골에서는 유골의 띠가 약간 감소하나 초기와 큰 차이는 관찰되지 않았으며 관절원판도 2주군과 비슷한 소견을 보였다. 과

두에서는 균일한 두께의 관절연골과 유골의 띠를 관찰할 수 있었지만 4주군과 비교하여 형태학적으로 큰 차이는 보이지 않았으며, 활동성 골막반응이나 활발한 조골세포, 파골세포의 소견은 관찰되지 않았다(Fig. 11).

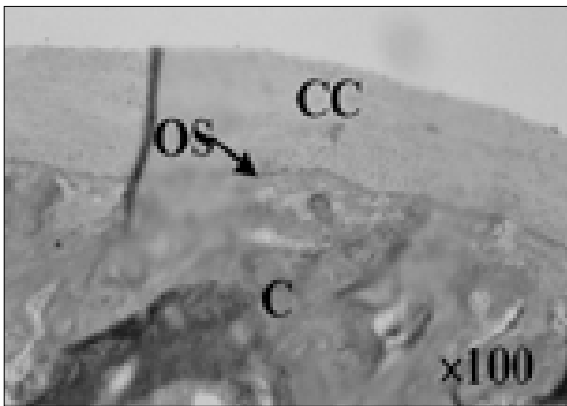
• 8주군

측두골의 관절연골과 유골의 띠가 나타나기는 하였지만 대체적으로 6주군의 소견과 큰 차이는 보이지 않았다. 그 외 관절원판, 하악과두의 피질골과 해면골은 잘 유지되는 양상을 보였으며 6주군의 비신장측 소견과 특이한 차이는 관찰되지 않았다(Fig. 12).

2. 조직형태계측학적 소견

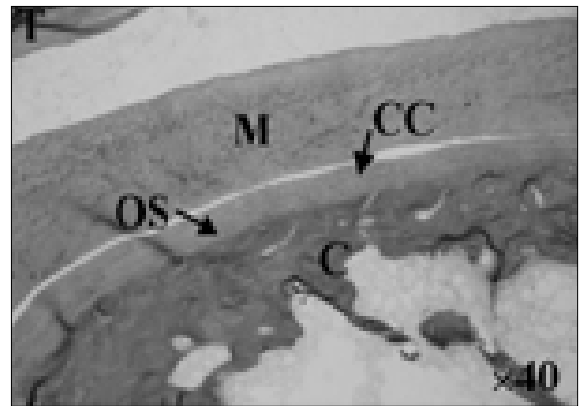
1) 측두골의 관절연골 소견

전체적으로 신장측과 비신장측에서 비슷한 소견을 보였으며, 2주에서 4주로 갈수록 관절연골의 비후 현상이 관찰되었고 6주



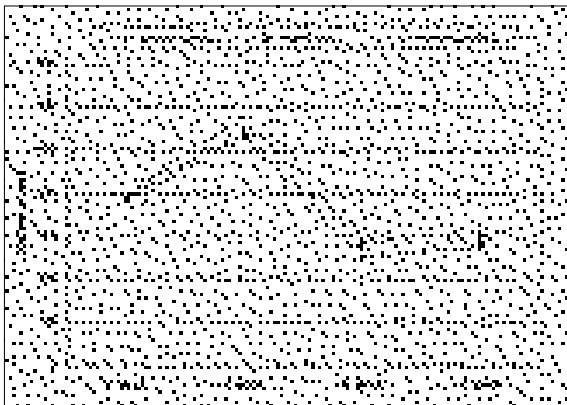
CC : condylar cartilage
OS : osteoid seam
C : condylar bone

Fig. 11. The histologic findings of non-distraction side at 6 weeks.

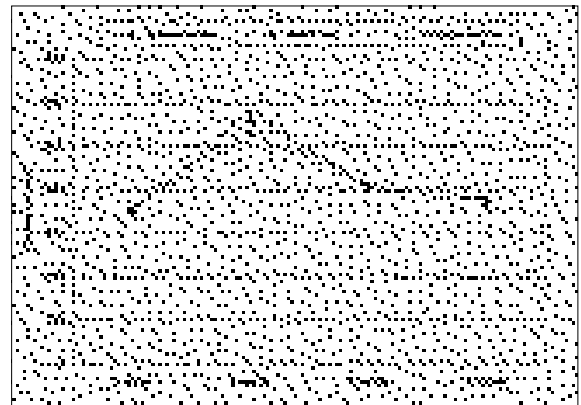


T : temporal bone M : meniscus
OS : osteoid seam CC : condylar cartilage
C : condylar bone

Fig. 12. The histologic findings of non-distraction side at 8 weeks.



A



B

Fig. 13. The change of the articular cartilage of temporal bone.

A. Distraction side, B. Non-distraction side

와 8주째에 이르러서는 대체적으로 2주군과 큰 차이를 보이지 않았다. 측두골에서의 변화는 하악과두에 비해 뚜렷한 변화는 관찰되지 않았다(Fig. 13 A, B).

2)관절원판의 소견

신장측에서 관절원판은 4주에 이르러 두께의 감소가 현저하게 나타났으며 6주와 8주에 이르러 점차적으로 비후되어 회복되는 소견을 보였다. 비신장측에서는 4주에서 약간 증가하다가 6, 8주에서 다시 감소하는 소견을 나타내지만 다른 조직의 변화에 비해 관절원판의 변화는 크지 않았다(Fig. 14 A, B).

3)하악과두의 관절연골 소견

신장측의 관절연골은 4주에 비후되는 양상이 뚜렷하며 6주에 완만한 상승곡선을 그리고 8주에 점차 회복되는 변화를 나타냈다. 특히 전방부나 중간부에 비해 후방부에서 비후되는 소견이

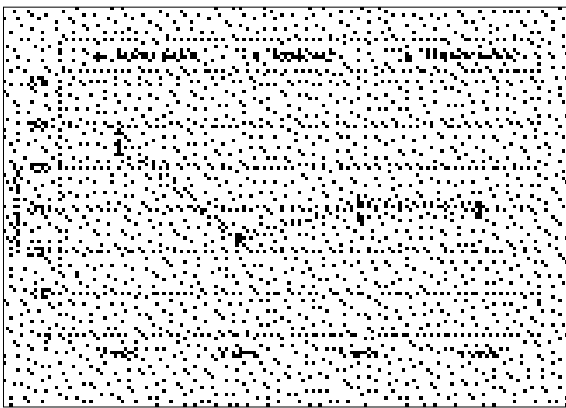
크고 뚜렷하였다. 비신장측에서는 신장측에 비해 비교적 큰 변화는 관찰되지 않았고 일정한 상태를 유지하였다(Fig. 15 A, B).

4) 하악과두의 유골융합선 소견

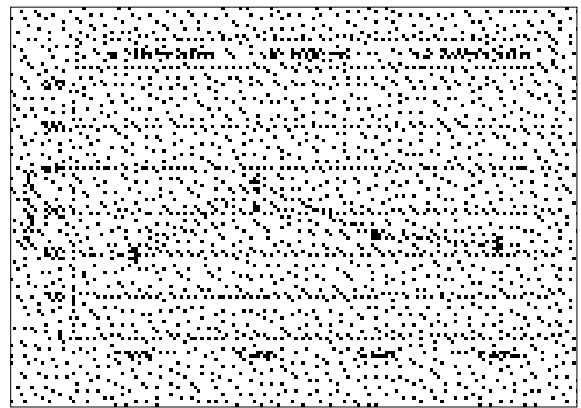
신장측의 변화가 크고 뚜렷하였으며, 4주에서 현저하게 비후되는 소견을 보였다. 6주, 8주에서는 유골의 띠가 비후되는 정도가 미약하고 점차 2주 소견으로 회복되는 양상이 관찰되었다. 비신장측은 신장측에 비해 큰 변화는 보이지 않았고 비교적 일정하게 유지되는 모습을 보였다 (Fig. 16 A, B).

3. 방사선학적 소견

신장측, 비신장측 모두 하악과두의 축에 미세한 변화는 있었으나, 유의할 만한 차이는 보이지 않았으며, 방사선 투과성 소견이나 골조직의 흡수등 병적 소견은 보이지 않았다.

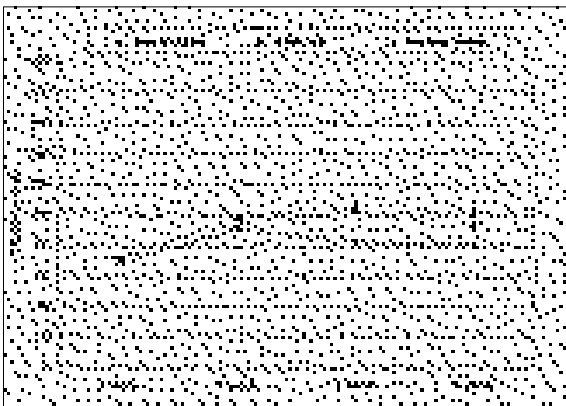


A

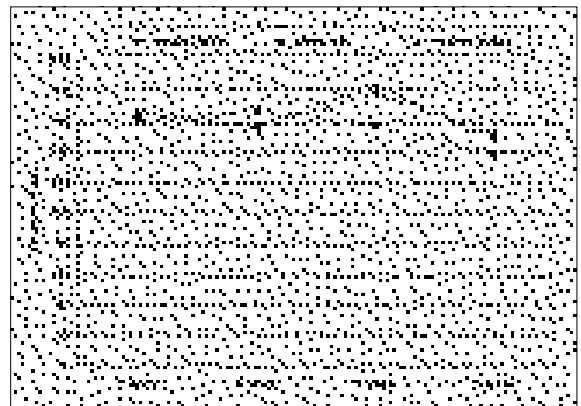


B

Fig. 14. The change of meniscus.
A. Distraction side, B. Non-distraction side



A



B

Fig. 15. The change of the articular cartilage of the condyle.
A. Distraction side, B. Non-distraction side

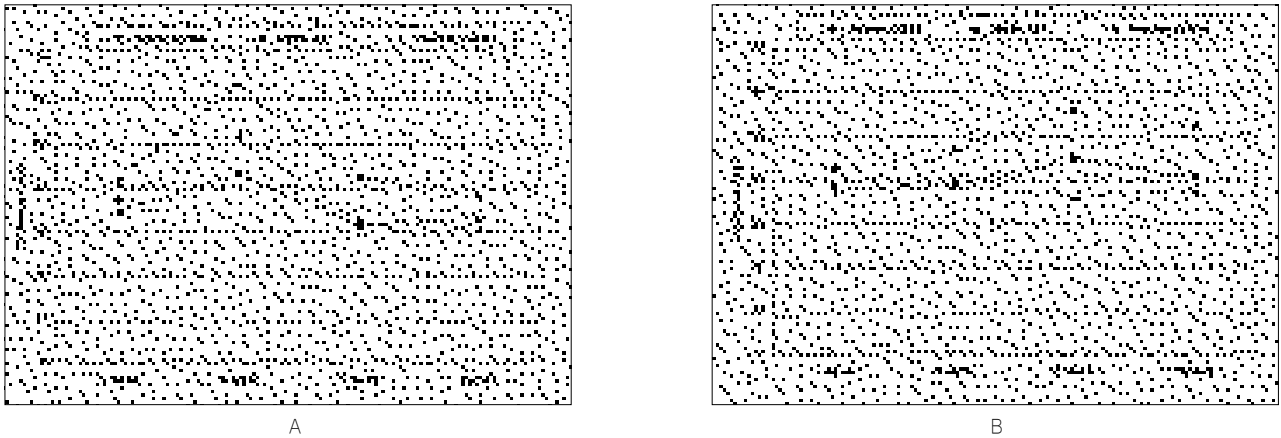


Fig. 16. The change of the osteoid seam of the condyle.
A. Distraction side, B. Non-distraction side

IV. 고 안

인체의 자연적인 치유기전을 이용하여 손상된 골조직의 회복 또는 심미적 치료를 위하여 골 신장술이 1900년대부터 시술되어 왔다. 이 술식은 치밀골 또는 해면골 까지를 포함한 절골술을 시행하고 절단부 양측에 장치를 고정시킨 후 기계적으로 골을 신장시켜 새로운 골조직의 형성을 자연스럽게 유도함으로써 골격계의 선천적 또는 후천적 발육부전, 장애, 외상 및 질병으로 인한 골격 부조화를 정상화시키는 데 이용되어 왔다. Codvilla(1905)가 최초로 대퇴골에서 핀을 사용해서 시도하였고 1950년대 초 Ilizarov에 의해 링 형태의 외부 장치와 강선을 사용해서 최초로 성공한 증례를 발표하였으며 수술법은 골막을 보존하고 골수의 혈액공급을 위해 피질골만 절단하고 하루에 1mm의 골 신장과 신장전 5~7일간의 안정기를 둬으로써 현재와 같은 형태의 술식과 생물학적 배경의 규명 및 장치개발의 모체가 되었다 (Ilizarov, 1989 a,b). 이와같은 골 신장술은 안정기, 신장비율, 빈도, 장치의 안정성, 장치 제거시기에 따라서 신생골의 생성이 좌우된다고 하였으며 (McCormick, 1996), 합병증으로 인하여 피부의 괴사, 감염, 골 접합불량등 많은 문제점도 야기된다고 하였다 (Stucki-McCormick & Mizrahi, 1997).

골 절골시 골막 보존에 대해서 Costantino et al.,(1990)은 골 절골술시 골막을 보존하여 골 신장장치를 장착한 경우와 보존하지 않고 신장시킨 경우의 4주후 결과에서 보존한 경우는 기능적인 골 생성이 이루어졌다고 하였으며, Delloye et al.,(1990)도 성견의 전박골 신장시 4주후에 신생골의 대부분이 막성골화에 의해 이루어졌다고 보고하였다. 이에 본 실험에서는 자체 고안한 신장장치를 이용하여 양측이 동일하게 신장될 수 있는 잭 스크류 형태로 제작하고 1일 2회에 걸쳐 0.75mm 신장시켜 14일간 총 10.5mm를 신장시켰고 절골시 골막을 최대한 보존하기 위하여 치조정으로부터 구강 전정까지 점막골막피판을 터널방식으로 형성하였고 절골은 피질골만 협측으로부터 설측까지 연장하였으며 해면골은 혈액공급을 원활하게 하기위하여 외과용 치로로 골절시켰다. 구강내 감염이나 골 접합 불량 등의 합병증은 실험

종료시까지 관찰할 수 없었다.

이런 골 신장술은 대퇴골이나 사지골에 주로 적용하였으나, Snyder et al.,(1973)이 최초로 성장중인 개의 하악골에 시행한 이후 하악골에 대한 연구가 활발해져서 Karp et al.,(1990)은 성견 우각부의 피질골 절제술을 시행하고 구의 신장장치를 이용하여 신장시킨 후 10일간의 안정기를 거친 다음 매일 1mm 씩 20일을 신장시켜 56일 후 방사선적 소견을 관찰한 결과 신장측은 외측으로 골 경화상을 나타내고 중간부위는 방사선 투과성을 보인다고 하였으며, 1992년 발표에서 동일한 조건으로 신장시킨 후 14, 28, 56일 후의 방사선 소견에서 4주군은 골단부에서 중앙부로 골화된 골편이 형성되어 골교로 연결되며, 8주 소견에서는 골편이 사라지고 신생골로 채워진다고 보고 하였다. 조직학적 소견으로는 14일 후 골소주 표면에 파골 흡수가 나타나며 28일에는 결체조직에 혈관조직 생성을 보이고 56일군에서는 치밀한 피질골이 관찰됨으로써 골 생성과 회복의 조직학적 과정은 막성골에서 연골 골화의 형태와 유사하다고 보고하였다. 본 연구에서는 신장장치를 장착 후 10일간의 안정기를 가지고 14일간 매일 2회에 걸쳐 0.75mm 씩 신장시킨 후 2, 4, 6, 8주 관찰 결과, 골단부의 방사선 소견은 이와 유사한 결과를 관찰할 수 있었고, 신장측과 비신장측의 악관절부에서는 하악과두의 축에 미세한 변화는 있었으나 유의할 만한 차이는 보이지 않았으며 방사선 투과성 소견이나 골조직의 흡수등 병적소견은 관찰되지 않았다. 또한 원숭이를 이용한 하악골 신장술에서 4주와 8주의 안정기를 가진 후 관찰한 결과 정중부 하방에서 새로운 골지주로 완전히 연결되고 이는 건인의 방향과 평행하였다고 보고했다(Bell et al., 1997). Samchukov et al.,(1998)은 신장술의 생역학적 효과를 평가하기 위해 신장 방향을 2가지 형태로 하여 양측성 신장장치와 정중부에 이용되는 굴곡형 신장장치를 하악골의 이차원적 모델로 제작하여 컴퓨터 분석한 결과 하악체에 평행한 장치는 신장동안 장치의 후방부에 외측변위를 일으키지만 신장측에 평행할 때는 변위가 나타나지 않는다고 하였으며 정중부의 굴곡형 장치는 방향에 관계없이 하악과두에 축 회전을 야기하므로 이 때는 경첩형 장치가 회전문동을 보상할 수 있는 장치이며 하악골을 신장시킬

때는 비가역적인 생역학적 효과를 막기위하여 신장시키는 축에 평행하여야 한다고 강조하였다. 이와같이 신장술에 대한 방법, 고정장치의 개발등으로 임상에서 McCarthy et al.,(1992)이 하악골 왜소증의 아동 환자에 최초로 성공한 하악골 신장술을 보고하면서 하루 1mm 씩 20일간 신장 후 9주간의 안정기를 거치고 20개월 후 관찰결과 좋은 결과를 얻었다고 하였다.

하악골 신장시 일어날 수 있는 또다른 부작용은 악관절 장애, 교합장애 등이다. 인체중 가장 복잡한 관절로써 측두하악관절 또는 악관절이라 칭하며 경첩관절 또는 활주 경첩관절이며 해부학적으로 측두골, 하악과두, 관절연골, 관절원판으로 구성되어 있으며 조직학적으로는 섬유표면층, 증식층, 연골비후층, 골조직의 구조를 이루고 있다(Ten Cate,1985;권 et al.,1999).

이러한 악관절부는 하악골의 정점부로서 신장술에 의해 확장되는 힘이 관절부에 전달되는 것은 확실하지만 부위에 따라서 나타나는 변화는 힘의 정도, 방향, 기간에 따라서 차이가 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서는 악관절부의 관찰을 위해 전방부, 중앙부, 후방부로 대분하여 측두골의 연골, 관절원판, 하악과두의 연골 및 유골융합선의 변화를 시간별로 조직학적, 형태계측학적 관찰을 하였다.

만일 하악과두를 임의적으로 전방위치 시키려고 기능적 힘을 가했을 경우에 관절연골과 측두와에서는 재위치에 적응하려는 변화가 나타나고 이와 비슷하게 힘이 제거되었을 때는 하악과두 연골에서 변화가 나타난다(McNamara et al.,1986). 그러나 관절에 가해지는 힘이 생리적 적응능력을 초과한다면 퇴행성 변화가 일어나며 관절에 전달된 압축력은 연골부의 두께의 감소와 섬유수축뿐만 아니라 관절 연골의 침식까지 유발한다고 하였으며 이러한 경우는 악교정 수술 후 하악골이 재배치되어 측두와 후방부에 과두의 압축력이 응집되었을 때는 퇴행성 변화가 종종 나타나지만 극도의 힘이 아닐 경우에는 가역적이라고 하였다(Mankin,1982;Bell et al.,1997). 본 연구의 조직학적 소견에서는 신장축 4주군이 2주군보다 관절원판은 전반적으로 두께가 감소하고 과두의 관절 연골부에서 비후가 뚜렷하며 특히 관절면 후방에서 그 변화가 현저하게 나타나고 과두의 해면골 내부에서 파골세포의 활성화는 관찰되지 않았다. 반면 비신장축 2, 4주군에서는 관절원판의 미세한 증가와 과두부 하방의 조골세포의 반응이 미약하였다. 이것은 양측 모두 퇴행성 변화가 없는 것으로 판단되고 조직 형태계측 소견에서도 신장축 4주군에서 2주군보다 관절연골의 비후된 양상과 하악과두의 유골 융합선의 두께가 현저하게 비후된 것을 알 수 있었다. 그러나 6, 8주군에서는 감소하는 소견을 보이므로 과도한 힘이 아닐 경우에는 가역적이라는 연구 발표와 일치하였다. Chin et al.,(1996)은 악관절 점탄성의 평가에서 시체의 관절원판 12개를 채취하여 각각 0.00127mm/s의 부하율과 0.000635mm/s의 부하율을 주었을 때 부하율이 증가할수록 관절원판이 얇고 단단해진다고 하였다. 본 연구에서는 일시적 현상이지만 신장축 4주군까지는 위축되는 것이 관찰되어 신장술에 이용되는 신장장치로도 부하가 발생하는 것으로 사료된다.

한편 Copray et al.,(1985 a)은 생후 4일 된 생쥐의 과두 연골에

힘을 주었을 때 연골 세포의 증식반응은 작고 지속적인 힘을 가했을 때는 아연골 세포층의 증식을 자극하고 간헐적인 힘은 증식력을 감소시키고 기질 형성은 간헐적인 힘을 가했을 경우 활발하다고 하였다. 과두 연골의 성장은 연속적인 3g 이상의 힘과 간헐적인 8g 이상인 경우는 성장에 방해받고 3g 이하의 연속적인 힘에는 아무런 영향이 없다고 하였다(Copray et al., 1985 b).

三 (1982)과 泉(1983)은 관절원판에 미세한 열상을 가하고 악간고정을 시행한 경우와 하지 않은 경우에서, 고정을 시행하지 않은 6주군에서 관절원판 중심부에서 섬유모세포가 미세한 콜라겐 섬유유를 형성함으로써 관절운동을 억제하는 결과를 초래하였다고 하였다.

Nakai et al.,(1998)도 압축력 실험을 통하여 간헐적인 압축력은 연골내의 골화를 자극한다고 하였다. 성장중인 원숭이에게 기능적 악교정 장치를 장착하여 임의적으로 반대교합을 만든 후 측두하악관절을 관찰한 결과 연골세포의 증가는 연골의 상방과 후상방에서 관찰되었으며 증식성 연골 반응과 골 연골 접촉부에서는 신생골이 4~6주에 관찰되고 이러한 연골 반응은 기능적 평형을 이루기 위한 과두 연골의 성장 잠재력이며 성장 중인 하악과두관절의 안정을 유도하려고 하는 외적인 변화에 대한 저항이라고 하였다.

Harper et al.,(1997)는 원숭이의 하악골 정중부 골 절단 후 5mm를 신장시킨 후 과두부의 변화에서 초기 4주에 섬유층의 비후 및 연골층의 비후와 함께 조골세포의 활발한 반응이 나타났고 그 후에는 회복되는 양상이었으며 연골층의 비후는 압박에 대한 반응이며 시간이 경과할수록 다시 얇아지는 것으로 보아 악관절은 현저한 치유능력과 가역 반응을 나타냈으며 이 변화는 과두의 후외방, 전내방면으로 전달되는 회전력에 의한 것이라 하였고, 하악 과두부 운동방향에 다른 생체역학적 응력 분석에서는 회전 운동 때 응력이 가장 크게 나타났고 정중부위는 관절원판 및 과두골 후방으로 나타났으며 수직방향에 대한 응력은 하악 과두의 경부 및 관절와 근심골편 상부에 집중되고(한과 김, 1996: 엄 et al., 1998), 하악골 신장술에 대한 응력 분석에서는 편측 신장시는 신장축의 후방부의 외측 변이 즉 하악골의 외측 회전과 하악골 정중부 신장시는 과두축의 회전을 야기하므로 신장축에 평행하게 장치의 식립이 이루어져야 한다고 했다(Samchukov et al.,1998).

본 연구는 좌측 하악 골체부에 양측성 신장장치를 설치하고 좌측은 신장축, 우측은 비신장축으로써 좌측의 과두부의 변화가 비신장축 보다 크게 나타났으며 좌측 과두부는 회전력으로 인하여 위의 결과와 동일한 부위에서 조직학적 변화가 나타났으며 이런 부작용을 줄이기 위하여 생체 역학적인 경첩형 신장장치 또는 굴곡형 장치의 개발이 더욱 절실하다고 사료되며 이와 더불어 관절 연골 등의 퇴행성 변화의 가능성이 있을 때는 신장력의 크기를 감소시키고 신장 빈도를 증가시킴으로써 조절 가능하다고 하였다(Nakamura et al., 1993). 적당한 신장력으로 하악골 신장이 성공적이었어도 신장축 악관절 부위에 압축강도를 받는 것을 고려하지 않으면 안 될 것이며(McCormick et al., 1995 a), 심하게 하악과두가 후방변위 되었을 때는 관절연골이 얇아지고 하악과두에 괴사가 일어날 수도 있다(Ellis and Hinton.,1991).

본 연구의 신장측 과두연골 조직 형태학적 계측소견은 4주군에서 비후하였지만 시간이 경과함에 따라 회복현상을 보였고 비신장측에서는 큰 차이는 없는 것으로 관찰되었다. 이와같이 신장술 시행시 하악과두의 변화는 연령에 따라서 매우 중요한 요인이 된다. 성장기에서는 회복 능력과 골 재생이 훨씬 우수하므로(Karahrju-Suvanto et al.,1996: Ishibashi et al.,1996), 골 신장술의 응용은 유년기에 활용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

악교정 수술의 기본적인 목표중의 하나도 악관절의 형태 구조를 유지하는 것이다(Arnett,1993). 악교정 수술시에 관절강내 변위나 퇴행성 질환을 유발할 수 있는 힘과 응력을 최소화하고 최대한의 안정성을 부여하기 위해 하악과두를 조심스럽게 위치시켜야 한다. 악교정 수술 후에 과두부에 발생하는 바람직하지 못한 힘은 과다한 하중, 관절원판의 변이, 개구 장애 등으로 더욱 더 악관절 장애를 자극할 수 있다(Nishimura et al.,1997: Kerstens et al.,1990: Sesenna and Raffaini,1985: Weinberg & Craft,1980). 이런 악관절 장애를 최소화하기 위하여 골 신장술을 포함한 악교정 수술을 병행함으로써 하악 과두에 적응성 반응을 유도할 수도 있다고 제안하였다(Harper et al.,1997).

간혹 간과할 수 있는 부분이 하악골 신장시 음식물 섭취에 따른 악관절의 영향이다. Bouvier & Zimmy(1987)은 음식물의 경도에 따라 연식을 섭취한 경우는 과두면이 평활하고 기공이 없으나 경식인 경우는 거칠고 기공이 많이 관찰되었다고 하였다. 본 실험에서 임프란트 식립과 신장장치 장착후 하루만 유동식을 제공하고 그 후는 고형식을 주었다. 본 실험에서 나타난 악관절 변화는 음식물에 대한 변화는 아니라고 사료된다. 그러나 하악골 신장술시 음식물 섭취는 계속 이루어져야 하므로 음식물 경도에 따른 악관절의 영향은 앞으로 연구되어야 할 사항으로 생각된다.

명백한 사실은 하악골 신장술 시행시 악관절에는 조직학적으로 변화는 있으나 이것이 가역적인지 비가역적인지는 신장의 크기보다는 빈도와 안정기의 시간, 장치의 형태 및 위치의 선정등이 더 중요한 관점이며 임상적으로 하악과두부 및 하악골의 비정상적인 성장으로 인한 왜소증이나 변이를 주소로 내원한 환자에게 보다 안락한 방법의 개발이 연구되어야 할 것이다.

본 연구는 이러한 하악골 왜소증이나 악 변형증 환자의 치료에 있어서 좀 더 바람직한 결과를 얻기위해 하악골의 편측신장술에 의한 악관절의 변화를 규명하고 이에 대한 문제점과 앞으로의 연구에 대한 방향을 제시하는데 그 의의가 있다 하겠다.

V. 결 론

본 연구는 성견 하악골 편측에 2개의 임플란트를 매식한 후 그 중간부에 골 절골술을 시행하고 신장장치를 이용하여 골 신장술로 하루 0.75mm의 신장을 2회로 나누어 14일 동안 총 10.5mm의 신장을 시행한 후 신장 완료로부터 2, 4, 6, 8주에 각각 희생하여 신장측과 비신장측의 악관절에 미치는 영향을 알아보기 위한 것으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

2주군에서 측두골과 하악과두의 연골, 유골 융합선은 비교적 잘 유지되었고 신장측, 비신장측에서 큰 차이는 보이지 않았으

며, 4주군에서 골막 반응이 활발히 일어나고 신장측에서 측두골과 하악과두의 연골, 유골융합선이 뚜렷이 비후되는 소견을 보이고 특히 신장측 관절 후방부에서 현저하게 비후되는 소견을 나타내었다. 이는 편측 하악골 신장시 비신장측 보다는 신장측에서, 전방부 보다는 후방부에서 그 영향이 현저하고 힘이 크게 작용하는 결과로 보인다. 6주군에서는 관절원판의 두께는 크기가 점차 회복되었고, 측두골과 하악과두의 관절연골, 유골 융합선이 감소하는 소견을 보였으며 비신장측에서는 비교적 안정적 인 모습을 나타내었다. 8주군에서는 6주군과 비슷한 소견을 보이며 점차 초기화하는 과정을 나타내었다.

이러한 악관절 소견의 관찰 결과 비록 일정 기간의 경과후 자연적인 치유가 가능한 가역적 변화라고 판단되지만 골 신장술의 확실한 성공을 위해서는 초기에 신장측 관절조직의 손상을 최소화하기 위한 교합장치, 골 신장속도 및 신장장치의 안정성등에 대한 다양한 고려가 필요하다고 사료된다. 더불어 전후방적인 관찰 뿐만 아니라 내외측을 포함한 전체 관절조직의 변화에 대해 좀 더 정확한 연구가 요구된다고 하겠다. 골 신장술에 의한 악관절의 변화는 가역적인 테두리 안에서 최적의 치료 결과를 위한 필요충분 조건이라고 사료된다.

참고문헌

1. 권종진, 정훈, 남동석, 악관절사전 I, 서울, 지성출판사,1999.
2. 엄기정, 신성수, 김성철, 최동주, 권순용, 박영주, 박준우, 이건주, 하악골 과두부의 운동방향에 따른 유한요소법에 의한 삼차원적 응력 해석, 대한구강악안면외과학회지, 24:263-277,1998.
3. 한훈, 김여갑, 시상분할골절단술 후 나사고정 방법에 따른 응력분포에 관한 유한요소법적 연구, 대한구강악안면외과학회지, 22:251-266,1996.
4. 三 常美,サル顎關節關節圓板における實驗的微細損傷の治癒經過に關する組織學的觀察,口病誌, 49:211-238,1982.
5. 泉祐幸,顎間固定下におけるサル顎關節圓板微細損傷の治癒經過に關する實驗的研究,口病誌, 50:374-417,1983.
6. Arnett GW, A redefinition of bilateral sagittal osteotomy advancement relapse, Am J Orthod, 506-515,1993.
7. Aronson J, Good B, Stewart C, Harrison B & Harp J, Preliminary study of mineralization during distraction osteogenesis, Clin Orthop Relat Res, 250:43-49,1989.
8. Bell WH, Harper RP, Gonzalez M, Cherkashin AM, Samchukov ML, Distraction osteogenesis to widen the mandible, British J Oral Maxillofac Surg, 35:11-19,1997.
9. Bouvier M, Zimmy ML, Effects of mechanical loads on surface morphology of the condylar cartilage of the mandible in rats, Acta Anat, 129:293-300,1987.
10. Chin LPY, Aker FD & Zarrinnia K, The viscoelastic properties of the human temporomandibular joint disc, J Oral Maxillofac Surg, 54:315-318,1996.
11. Codvilla A, On the means of lengthening the lower limbs, The muscles and tissues which are shortened through deformity, Am J Orthop Surg, 2:353-369,1905. (incited from 35)
12. Copray JCVM, Jansen HWB & Duterloo HS, Effects of compressive forces on proliferation and matrix synthesis in mandibular condylar cartilage of the rat in vitro, Archs Oral Biol, 30:299-304,1985. a
13. Copray JCVM, Jansen HWB & Duterloo HS, An in-vitro system for studying the effect of variable compressive forces on the mandibular condylar cartilage of the rat, Archs Oral Biol, 30:305-311,1985. b
14. Costantino PD, Shybut G, Friedman CD, Pelzer HJ, Masini M, Shindo ML, Sisson GA, Segmental mandibular regeneration by distraction osteogenesis. Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 116:535-

- 545,1990.
15. Costantino MPD, Friedman CD, Shindo ML, Houston CG, Sisson GA, Experimental mandibular regrowth by distraction osteogenesis, Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 119:511-516,1993.
 16. Delloye C, Delefortrie G, Coutelier L & Vincent A, Bone regenerate formation in cortical bone during distraction lengthening, Clin Orthop Relat Res, 250:34-42,1990.
 17. Ellis III E & Carson DS, Histologic comparison of the costochondral, sternoclavicular, and temporomandibular joints during growth in Macaca mulatta, J Oral Maxillofac Surg, 44:312-321,1986.
 18. Ellis III E & Hinton RJ, Histologic examination of the temporomandibular joint after mandibular advancement with and without rigid fixation, J Oral Maxillofac Surg, 49:1316-1327,1991.
 19. Harper RP, Bell WH, Hinton RJ, Browne R, Cherkashin AM, Samchukov ML, British J Oral Maxillofac Surg, 35:20-25,1997.
 20. Hede A, Svalastoga E & Reimann I, Articular cartilage changes following meniscal lesions, Acta Orthop Scand, 62(4):319-322,1991.
 21. Illizarov GA, The tension-stress effect on the genesis and growth of tissue: part 1, The influence of stability of fixation and soft tissue preservation, Clin.Orthop, 238:249-281,1989. a
 22. Illizarov GA, The tension-stress effect on the genesis and growth of tissue: part 2, The influence of the rate and frequency of distraction, Clin. Orthop, 239:263-285,1989. b
 23. Ishibashi H, Takenoshita Y, Ishibashi K, Oka M, Expression of extracellular matrix in hyman mandibular condyle, Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 81:402-14,1996.
 24. Karaharju-Suvanto T, Peltonen J, Ranta R, Laitinen O, Kahri A, The effect of gradual distraction of the mandible on the sheep temporomandibular joint, Int J Oral Maxillofac Surg, 25:152-156,1996.
 25. Karp NS, Thorne CHM, McCarthy JG, Sisson HA, Bone lengthening in the craniofacial skeleton, Ann Plast Surg, 24:231-237,1990.
 26. Karp NS, McCarthy JG, Schreiber JS, Sisson HA, Thorne CHM, Membranous bone lengthening :a serial histological study, Ann Plast Surg, 29:2-7,1992.
 27. Kerstens HCJ, Tuinzing BD, Golding RP & van der Kwast WAM, Condylar atrophy and osteoarthritis after bimaxillary surgery, Oral Surg Oral Pathol, 69:274-280,1990.
 28. Kuboki T, Shinoda M, Orsini MG & Yamashita A, Viscoelastic properties of the pig temporomandibular joint articular soft tissues of the condyle and disc, J Dent Res, 76:1760-1769,1997.
 29. Luz JGC, Jaeger RG, de Araujo VC, de Rezende JRV, The effect of indirect trauma on the rat temporomandibular joint, Int J Oral Maxillofac Surg, 20:48-52,1991.
 30. Mankin HJ, Current concepts review The response of articular cartilage to mechanical injury, J Bone and Joint Surg, 64:460-466,1982.
 31. McCarthy JG, Schreiber J, Karp N, Thorne CH & Grayson BH, Lengthening the human mandible by gradual distraction, Plast Reconstr Surg, 89:1-8,1992.
 32. McCormick SU, McCarthy JG, Grayson BH, Staffenberg D, McCormick SA, Effect of mandibular distraction on the temporomandibular joint : part1, canine study, J Craniofac Surg, 6:358-363,1995. a
 33. McCormick SU, Grayson BH, McCarthy JG, Staffenberg D, Effect of mandibular distraction on the temporomandibular joint : part2, clinical study, J Craniofac Surg, 6:364-367,1995. b
 34. McCormick SU, Osteodistractraction, seleted Readings in Oral Maxillofac Surg, 4-7:1-24,1996.
 35. McNamara Jr JA, Hinton RJ & Hoffman DL, Histologic analysis of temporomandibular joint adaptation to protrusive function in young adult rhesus monkeys(macaca mulatta), Am J Orthod, 82:288-298,1986.
 36. Nakai H, Niimi A, Ueda M, The influence of compressive loading on growth of cartilage of the mandibular condyle in vitro, Archs Oral Biol, 43:505-515,1998.
 37. Nakamura E, Mizuta H, Sei A & Takagi K, Knee articular cartilage injury in leg lengthening : histologic studies in rabbits, Acta Orthop Scand, 64:437-440,1993.
 38. Nishimura A, Sakurada S, Iwase M & Nagumo M, Positional changes in the mandibular condyle and amount of mouth opening after sagittal split ramus osteotomy with rigid or nonrigid osteosynthesis, J Oral Maxillofac Surg, 55:672-676,1997.
 39. Samcbukov ML, Cope JB, Harper RP & Ross JD, Biomechanical considerations of mandibular lengthening and widening by gradual distraction using a computer model, J Oral Maxillofac Surg, 56:51-59,1998.
 40. Sesenna E, Raffaini M, Bilateral condylar atrophy after combined osteotomy for correction of mandibular retrusion, J Maxillofac Surg, 13:263-266,1985.
 41. Snyder CC, Levine GA, Swanson HM, Mandibular lengthening by gradual distraction preliminary report, Plast Reconstr Surg, 51:506-508,1973.
 42. Stanitski DF, The effect of limb lengthening on articular cartilage : an experimental study, Clin Othop, 301:68-72,1994.
 43. Stucki-McCormick SU, Mizrahi RD, Distraction osteogenesis of the craniofacial skeleton, J Oral Maxillofac Surg, knowledge update,1997.
 44. Ten Cate AR, The temporomandibular joint, St louis, Mosby,1985.
 45. Weinberg S & Craft J, Unilateral atrophy of the mandibular condyle after closed subcondylar osteotomy for correction of mandibular prognathism, J Oral Surg, 38:366-368,1980.