

상악골 확장이 안면골에 미치는 영향에 관한 Laser Holography 연구

서울대학교 치과대학 교정학교실

박 준 상·양 원 식

- 목 차 -

- I. 서 론
- II. 연구자료 및 연구방법
 - 1. 연구자료
 - 2. 연구방법
- III. 연구성적
- IV. 총괄 및 고찰
- V. 결 론
 - 참고문헌
 - 영문초록
 - 사진부도

I. 서 론

교정 장치가 치아와 인근 골조직에 영향을 주어 나타나는 역학적인 반응을 연구함은 매우 중요한 의의가 있다.^{26, 29}

상악골 확장을 위한 교정 장치의 하나인 정중구개 봉합선의 이개 장치는 1860년 E. C. Angell 이 최초로 상악의 이개를 사도한 이래로 여러 학자들에 의하여 연구가 계속되어 왔다.²⁹

Starnbach 등³¹⁾은 상악골 급속 확장시에 rhesus monkey를 사용한 실험에서 정중구개 봉합선을 중심으로 치아, 치조골, 구개돌기가 전체적으로 하나의 단위로 회전된다고 하였으며, David와 Kronman¹¹⁾은 두부방사선 계측사진 분석에서 "A"점이 전하방으로 변위를 보였으며 SN평면과 구개평면의 각도가 증가되었다고 보고하였다.

Biederman²⁸⁾은 상악골 급속 확장시에 정중구개 봉합선이 부재할 형태로 이개되는 작용기전에 대한

가설을 제창하였으며, Timms²⁴⁾는 상악골 급속 확장 치료환자의 구치간 폭경과 익돌기간 폭경의 변화를 연구하였다.

Isaacson²⁷⁾, Zimring⁴³⁾은 screw에 금속판을 부착하여 생물리학적 연구를 행하였다.

Burstone과 Schafer⁷⁾는 봉합선의 성장에 대해 연구하였으며, Persson²⁵⁾은 연령증가에 따른 해부학적 구조와 성별에 따른 차이를 주장하였다.

Harberson¹⁸⁾은 구치부 반대교합 환자의 치료에 상악골 확장술을 사용하였으며, Laptook²²⁾은 이비인후과 영역에서 상악골 확장술을 이용하여 비강의 용적 증가가 있었다는 보고와 함께 그 사용 영역이 점차로 확대되었다.

상악골 확장시에 나타나는 안면골 반응에 대한 연구는 임상 연구^{17, 19, 33)}나 동물실험^{13, 15, 29)}으로 행하여져 왔다.

임상 연구에서의 두부 방사선 계측학^{13, 16)}은 결과가 정상 성장으로 야기된 변화에 의한 것인지, 교정력에 의한 변화에 의한 것인지를 구별이 어려우며 동물 실험은 결과를 인간에게 적용하기에 문제점이 있다.

Holography는 1947년 Dr. Dennis Gabor가 개념적으로 발견했는데 이때 그는 불완전한 단색 광원을 사용하였다.⁴⁴⁾

1958년 Schalow와 Townes는 laser광의 의학적 이용가치의 이론을 제시한 후³⁹⁾, 1960년 Mainman이 처음으로 ruby laser를 의학에 도입 했는데⁴⁰⁾, 이 laser는 일정한 주파수의 위상으로 빛을 내는 장치인 것으로 1970년 대에 와서 laser의 응용 연구가 다방면으로 본격화되고 laser와 함께 holography 는

더욱 발전하게 되었다.⁴⁾

우리가 어떤 물체를 본다는 것은 거기서 나오는 빛의 파동을 인식 하는 것으로, 물체로부터 나오는 빛의 파동을 도중에 완전하게 기록하여 나중에 재생할 수 있다면 실물에 가까운 허상을 볼 수 있다.

Holography의 기본 원리는 물체로부터 나오는 빛의 파동을 holography용 사진 건판에 기록했다가 나중에 laser 장치를 이용하여 그대로 재생하는 것이다.³⁾

이 연구의 목적은 상악골 확장을 함에 치아, 치조골과 이에 연관된 봉합 부위와 골의 역학적인 초기 반응을 인간의 전조 두개골을 실험 대상으로 하여 다소의 지견을 얻었기에 이를 보고하는 바이다.

II. 연구자료 및 연구방법

1. 연구 자료

본 연구에서는 상악의 치아가 정상적으로 배열되어 있는 치열궁에 상악골 확장 장치인 Biederman type의 Hyrax(Dentaurum 602-807)를 제 1대구치와 제 1소구치에 연결시켰다(Fig. 1).

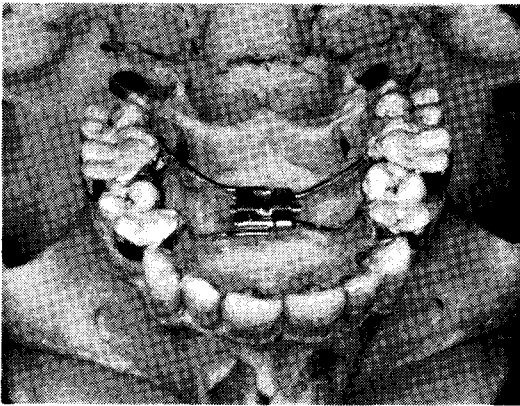


Fig. 1. Biederman type appliance in situ.

Hyrax를 장착한 전조 두개골을 고정 장치에 epoxy resin의 접착제를 사용하여 양측 두정골과 후두골 부위를 고정시켰다(Fig. 2).

광학 기구와 고정된 전조 두개골을 진동이 방지된 탁자위에 설치하였다(Fig. 3).

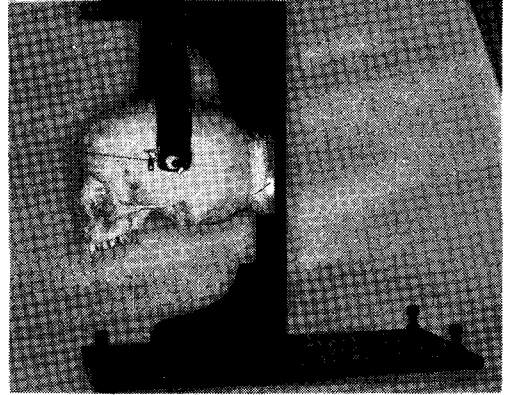


Fig. 2. The skull was fixed at three points of the cranium within a constructed metal frame.

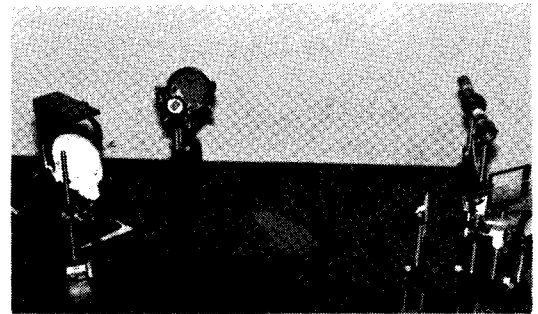


Fig. 3. Holographic equipment and the skull mounted on the antivibration table.

이 장치에 10mW He-Ne(N. E. C.)기체 laser 를 조사하여 Agfa-Gevaert, 10E75인 사진판에 감광시켰다.

2. 연구 방법

본 실험에서 광량 조절은 reference beam과 objective beam은 1 : 4로 하였으며 holography 장치를 도시하면 다음과 같다(Fig. 4).

Screw는 90°회전시에 0.2mm씩 이개되는 것으로 이개되는 양은 0.02mm(9°) 거리의 일정한 간격을 두고 순서적으로 0.02mm(9°), 0.04mm(18°), 0.06mm(27°), 0.08mm(36°), 0.1mm(45°), 0.2mm(90°) 까지 확대시켰다.

Interferogram은 측면과 정면을 촬영하였으며, 원상태와 힘을 준 상태에서의 촬영시, 각기 3초의 노출시간을 주었다.

또한 90°회전 시킨 다음 약 8분 이내에 재차 0.02mm(9°) 및 0.04mm(18°)까지 확대시킨 상태의 holo-

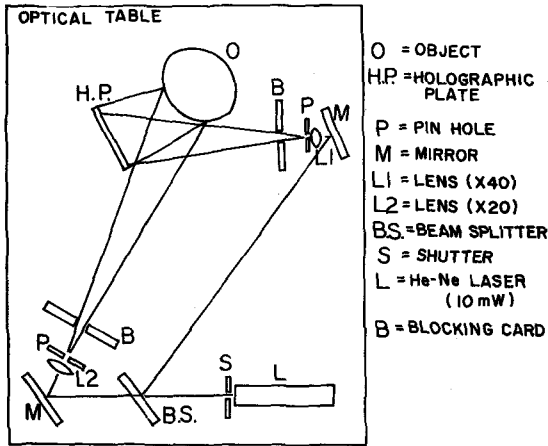


Fig. 4. Schematic representation of the holographic set up.

gram을 촬영하였다.

Laser광의 조사에 의해 hologram의 재현은 간섭호로 완전히 나타난 3차원적인 허상이다.

채득된 hologram은 암실에서 작업을 시행하는데,

적색광선의 He-Ne laser로 만든 holographic film은 녹색광선에 덜 예민하다. 암실 작업 순서는 Kodak D-19로 현상을 했으며 수세 후, Kodak rapid fixer로 정착시킨 후, 수세 하였다.

다음에 Ferric nitrate와 Potassium bromide로 표백용액을 만들어 건판이 맑아질 때까지 표백시키고 수세후에 건조시켰다.

III. 연구 성적

Interferogram에 나타난 치조골, 상악골, 그리고 인접해 있는 골과 봉합부위의 이동을 분석하는 방법으로 그림 5는 그 일례를 제시하고 있다 (Fig. 5) 사진상에서 X축은 전, 후방 방향을, Y축은 상, 하방 방향을 나타내며, 실제상의 길이를 표시했으며 단위는 cm가 된다.

Z축은 X축과 Y축을 이루는 평면에 대한 90° 방향으로, 관찰 방향에서의 변위량을 나타낸 것이다.

각 점은 fringe와 흰 fringe 사이의 중간거리는

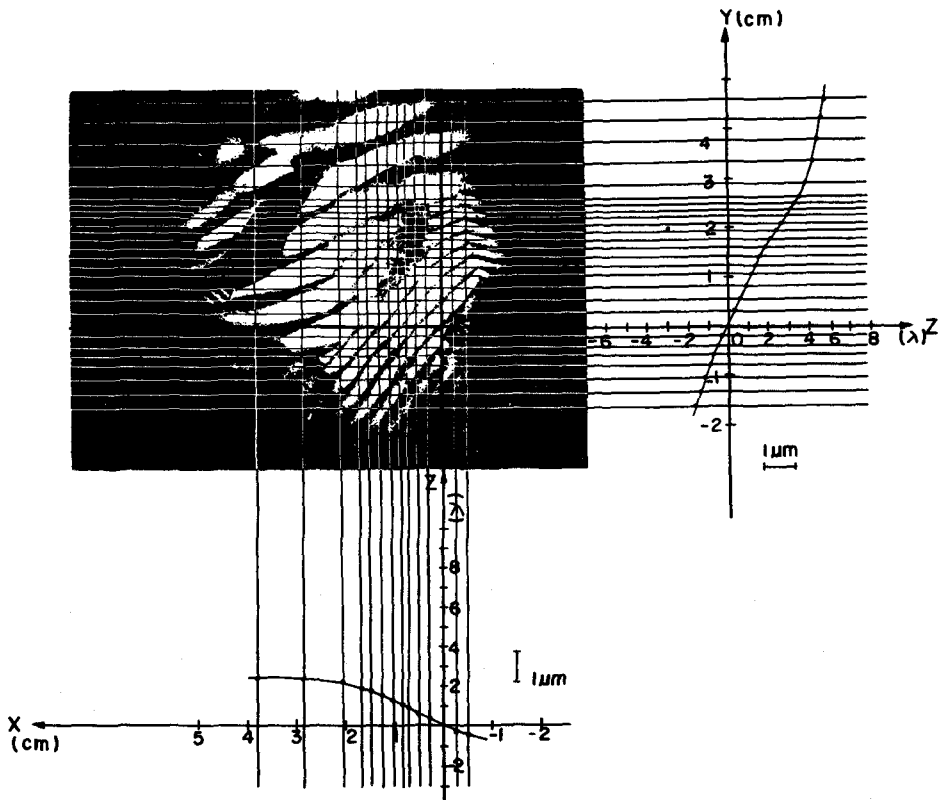


Fig. 5. Representation of the graphic determination of the deformation curves on the bony surface.

HeNe laser 파장의 1/4에 해당된다($1/4\lambda=1582 \text{ \AA}$).

도표상에서는 $1/4\lambda$ 를 1mm거리로 설정했으므로 Z축에서의 4mm는 He-Ne laser의 파장이 된다.

각 좌표를 3차원적인 그림으로 나타내면 아래와 같다(Fig. 6).

0 점은 임의적으로 선정된 것으로 canine fossa부위를 가리킨다.

좌표상에서 나타난 minus부위는 수평축에서는 상악 전반부이며, 수직축에서는 안면골 하부이다 (Fig. 7, 8, 9).

도표 7과 8을 비교해 보면 동일한 힘을 주어도 후자는 90° 회전후 힘을 준 것으로 골 자체에 stress가 가해진 상태이므로 골의 변형이 더 많았던 것으로 사료된다.

도표 7과 9를 비교해 보면 확장을 증가시켰을 때 골의 변형이 더 많이 일어났음을 보여주고 있다.

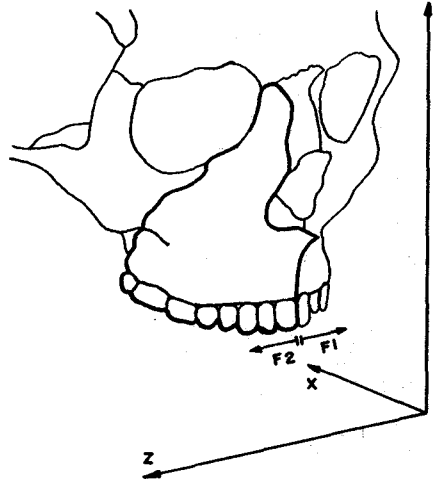


Fig. 6. Three-dimensional co-ordinate system
 F_1, F_2 =transversal expansion X=horizontal axis
 Y=vertical axis Z=transversal axis

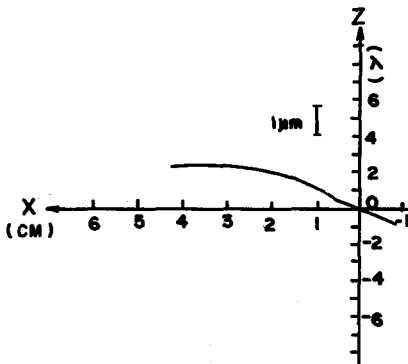


Fig. 7. Curves of deformation of bony surface in the horizontal plane and vertical plane by 0.04mm widening.

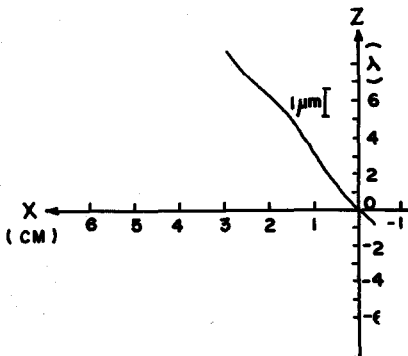
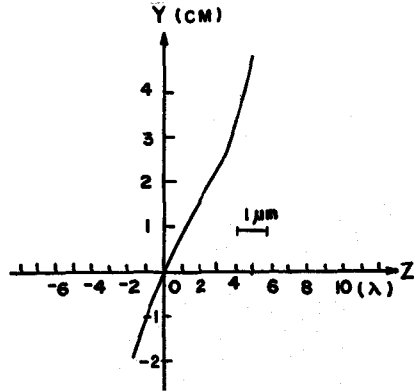


Fig. 8. Curves of deformation of bony surface in the horizontal plane and vertical plane by 0.04mm widening after 90° turn.

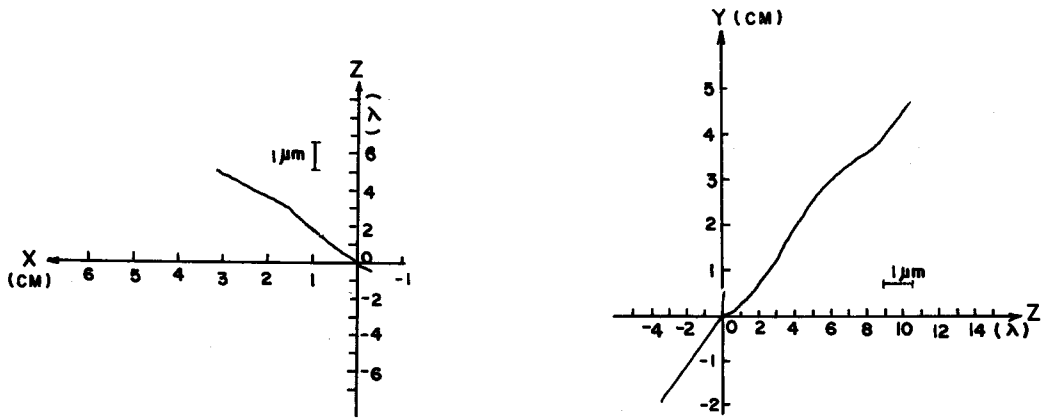


Fig. 9. Curves of deformation of bony surface in the horizontal plane and vertical plane by 0.1mm widening.

90° 회전시에는 상악골의 변형이 매우 크므로 fringe가 극도로 조밀하게 형성되어 fringe가 없는 것처럼 보였다(사진 7, 8).

확장력이 커감에 따라 간섭호의 수는 증가하였으나 간섭호의 주행양상에 있어서는 확장력의 크기에 관계없이 비슷하였다.

인접 상악골(접형골, 협골, 전두골, 비골)에서도 간섭호가 나타났으며, 간섭호 주행 양상은 각 봉합부에서 변화였다(사진 1~10).

IV. 총괄 및 고찰

응력 분석의 한 방법이 될 수 있는 holography는 1960년대에 laser의 출현으로 발전하게 되었다.²⁹⁾

Laser는 일반적인 광원과 달리 광속의 평행성이 양호하고 휘도가 높으며, coherent한 단색광으로 적외선과 가시광선 범위에 속한다.³⁰⁾

Holography란 모든 파장에서 다음 peak간의 거리는 일정하게 유지된다는 Huygens의 원리에 의한 회절현상으로 입체적 상을 기록하는 촬영술을 의미한다.

Hologram에는 여러 종류가 있는데, transmission hologram은 laser로 조명을 하고 그 반대편에서 관찰자가 직접 보는 것이고, reflection hologram은 조명원이 관찰자와 같은 편에 있는데 이때는 laser가 아닌 흰 광선으로 조명하며 hologram에서 반사된 빛이 상을 나타내며, integram은 관찰자가 투명한 cylindrical hologram을 통해서 그 안의 상을 볼

수 있다.

Hologram의 원리는 물체에 닿아서 환상으로 반사되어 건판에 구형파를 형성하는 object beam과 직접 건판에 닿아서 평면파를 형성하는 reference beam으로 이 두 광선은 동심원의 circular fringe 형태를 건판에 그리게 되는데 이런 간섭현상에 의해 형성된 fringe를 primary fringe라 하며 이것이 입체상을 나타낸다.³⁰⁾

Interferometry의 원리는 물체가 변위될 경우, 변위되기 전후에 각각 노출시키는 이중 노출시에 그 쌍곡선간의 간섭현상이며 interferogram 상에는 첫 번째 노출과 두 번째 노출에 의한 secondary fringe가 형성된다.³¹⁾

이와 같은 holographic technique은 1970년대에 들어와서 치과영역에서 Victorin등⁴²⁾이 solder joint의 탄성변형을, Wedendal과 Bjelkhagen³⁸⁾이 저작력에 의한 치아에, Burstone^{5, 6)}과 Pryputniewicz등^{28, 29, 30)}은 3차원적인 치아 이동을 측정하였다.

Isaacson과 Ingram²⁹⁾의 임상 연구에서는 상악 급속 확장시에 preload된 상태에서 힘을 주는 것은 잔여분의 힘이 조직에 축적된다는 보고로, 본 실험 결과와 유사하였다.

Brossman⁴⁾, Cotton³⁰⁾, Walters²⁷⁾는 상악골 확장시에 정중 구개 봉합선의 이개는 치조돌기의 변형과 상악골의 이동으로 이루어 졌다는 견해인데 반해, Linge²⁴⁾, Starnbach등³¹⁾은 치조돌기의 변형없이 상악골의 이동만으로 이루어졌다고 하였다.

본 실험 결과에서는 치조돌기의 변형없이 상악골

의 이동이 나타난 것으로 관찰되었다.

Isaacson등²¹⁾은 정중 구개 봉합선 이개의 저항은 봉합선 자체가 아니라 상악골에 인접해 있는 주위 조직에서의 저항이라 했으며, Bell¹⁷⁾과 Wertz^{22,23)}은 봉합부의 이개는 전반부에서는 크며 후반부에서는 감소한다고 하였으며 본 실험에서도 전반부가 다소 큰 것으로 나타났다.

Chaconas와 Caputo⁹⁾는 상악 확장이 치아, 치조골 부위에서 구개골, 익상돌기, 협골, 전두골까지 영향을 미친다고 했으며 본 실험에서도 상악 주위 골에 영향을 미쳤다.

Haas^{11,12)}는 정중구개 봉합부가 1~11mm의 확장이 생겼으며 "A"점의 전하방 이동을 보고하였는데, interferogram상에 나타난 간섭호의 주행 방향으로 보아서 본 실험에서도 전하방 이동이 나타났다고 사료된다.

종래 치의학 분야에서 응력과 변위를 측정하는 방법으로는 strain-gauge법, 광탄성 분석법²⁴⁾, 유한 요소법²⁵⁾ 등이 사용되었다.

Strain-gauge법은 경계 부위에서의 측정이 곤란하고 내부의 응력측정이 불가능하며 조작이 복잡한 단점이 있으며, 광탄성 분석법은 모형 절단시 또 다른 응력이 개입 될 수 있다는 결점이 있고, 유한 요소법은 고정점 설치에 문제점이 있다.

이에 holography를 이용한 연구는 입체적으로 광범위하게 관찰할 수 있으며 미세한 변위의 측정도 가능케하므로 상악골 확장시에 안면골에 미치는 영향을 분석하는데 효과적인 방법으로 사료된다.

V. 결 론

상악골 확장 시에 상악 및 인접되어 있는 골과 봉합부위에 고정력에 의한 초기 역학적인 반응을 laser holographic interferometry방법으로 측정하였다.

실험 대상으로는 고정성 상악 확장 장치를 장착한 인간의 건조두개골을 사용하였으며, 상악 복합체의 측면과 정면의 interferogram을 촬영하였다.

두개골 변형을 기록한 간섭호 주행양상의 분석은 선택된 수평, 수직 면으로 나누었으며, 골 표면에 관련된 변형 곡선을 작성하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 확장력이 커 감에 따라 간섭호의 밀도가 조밀하였다.
2. 상악골 확장은 상악골 자체 뿐만 아니라 인접골 및 봉합 부위에 영향을 미쳤다.
3. 처음에 힘을 준 골의 변위량보다, 90°회전후 동일한 힘을 준 골의 변위량이 많았다.
4. 간섭호 주행양상은 확장력의 크기에 관계없이 유사하였다.

REFERENCES

1. Bell R.A.: A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age, Am. J. Orthod., 81: 31-37, 1982.
2. Bell R.A.: The effects of maxillary expansion using a quad-helix appliance during the deciduous and mixed dentitions, Am. J. Orthod., 79: 152-161, 1981.
3. Biederman W.: Rapid correction of class III malocclusion by midpalatal expansion, Am. J. Orthod., 63: 47-55, 1973.
4. Brossman R.E., Bennett C.G., Merow W.W.: Facioskeletal remodelling resulting from rapid palatal expansion in the monkey, Arch. Oral. Biol., 18: 987, 1973.
5. Burstone C.J., Pryputniewicz R.J.: Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces, Am. J. Orthod., 77: 396-409, 1980.
6. Burstone C.J., Pryputniewicz R.J., Bowley W.W.: Holographic measurement of tooth mobility in three dimension, J Periodont. Res., 13: 283-294, 1978.
7. Burstone C.J., Schafer W.C.: Sutural expansion by controlled mechanical stress in the rat, J.D.R. 38: 534-540, 1959.
8. Chaconas S.J., Caputo A.A.: Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances, Am.

- J. Orthod., 82: 492-501, 1982.
9. Cleall J.F., Bayne D.I., Posen J.M., Subtelny J.D.: Expansion of the midpalatal suture in the monkey, *Angle Orthod.*, 35: 23-35, 1965.
 10. Cotton L.A.: Slow maxillary expansion: Skeletal versus dental response to low magnitude force in *Macaca mulatta*, *Am. J. Orthod.*, 73: 1-23, 1978.
 11. David W.M., Kronman J.H.: Anatomical changes induced by splitting of the midpalatal suture, *Angle Orthod.*, 39: 126-131, 1969.
 12. Debbane E.F.: A cephalometric and histologic study of the effect of orthodontic expansion of the midpalatal suture of the cat, *Am. J. Orthod.*, 44: 187-219, 1958.
 13. Gardner G.E., Kronman J.F.: Cranio-skeletal displacements caused by rapid palatal expansion in the rhesus monkey, *Am. J. Orthod.*, 59: 146-155, 1971.
 14. Haas A.J.: Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics, *Am. J. Orthod.*, 57:219-255, 1970.
 15. Hass A.J.: Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture, *Angle Orthod.*, 31: 73-90, 1961.
 16. Halflin B.M.: A three-dimensional cephalometric study of the influence of expansion of the midpalatal suture on the bone of the face (Abstract), *Am. J. Orthod.*, 57: 194, 1970.
 17. Halpren M.R.: A study of the maxillary changes during rapid palatal expansion (Abstract), *Am. J. Orthod.*, 57: 90, 1970.
 18. Harberson V.A.: Midpalatal suture opening during functional posterior cross-bite correction, *Am. J. Orthod.*, 74: 1978.
 19. Hicks E.P.: Slow maxillary expansion: a clinical study of skeletal versus dental response to low magnitude force, *Am. J. Orthod.*, 73: 121-141, 1978.
 20. Isaacson R.J., Ingram A.H.: Forces produced by rapid maxillary expansion. II. Forces present during treatment, *Angle Orthod.*, 34: 261-270, 1964.
 21. Isaacson R.J., Murphy T.D.: Some effects of rapid maxillary expansion in cleft lip and palate patients, *Angle Orthod.*, 34: 142-154, 1964.
 22. Kragt G., Duterloo H.S.: The initial reaction of a macerated human skull caused by orthodontic cervical traction determined by laser metrology, *Am. J. Orthod.*, 81: 49-59, 1982.
 23. Laptook T.: Conductive hearing loss and rapid maxillary expansion, *Am. J. Orthod.* Vol. 80, 1981.
 24. Linge I.: Tissue changes in facial sutures incident to mechanical influences, Thesis, University of Oslo, 1973.
 25. Murray J.M., Cleall J.F.: Early tissue response to rapid maxillary expansion in the midpalatal suture of the rhesus monkey, *J. Dent. Res.*, 50: 1654-1660, 1971.
 26. Pavlin D., Vukicevic D.: Mechanical reactions of facial skeleton to maxillary expansion determined by laser holography, *Am. J. Orthod.*, 85: 498-507, 1984.
 27. Persson M.: Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age, *Am. J. Orthod.*, 72: 42-52, 1977.
 28. Prypuniewicz R.J., Burstone C.J.: Primary centers of rotation in human teeth, *J. Dent. Res.*, 58A: 402, 1979.
 29. Pryputniewicz R.J., Burstone C.J.: The effect of time and force magnitude on orthodontic tooth movement, *J. Dent. Res.*, 58: 1754-1964, 1979.

30. Sapp C.C., Pryputniewicz R.J., Nanda R.: Skull bone displacements generated by extraoral forces, *J. Dent. Res.*, 58A: 374, 1979.
31. Starnbach H., Bayne D.I., Cleall J.F., Subtelny J.D.: Facioskeletal and dental changes resulting from rapid expansion. *Angle Orthod.*, 36: 152-164, 1966.
32. Storey E.: Tissue response to the movement of bones, *Am. J. Orthod.*, 64: 229-247, 1973.
33. Subtelny J.D., Brodie A.G.: An analysis of orthodontic expansion in unilateral cleft lip and cleft palate patients, *Am. J. Orthod.*, 40: 686-697, 1954.
34. Timms D.J.: A study of basal movement with rapid maxillary expansion, *Am. J. Orthod.*, 77: 500-507, 1980.
35. Timms D.J.: Rapid maxillary expansion, Quintessence Publishing Co., Inc. 1981.
36. Tung H.J.: Holography using a helium-neon laser, Lake Forest College, 1978.
37. Walters R.D.: Facial changes in the Macaca mulatta monkey by orthopedic opening of the midpalatal suture, *Angle Orthod.*, 45: 169-179, 1975.
38. Wedendal P.R., Bjelkhagen H.T.: Dental holographic interferometry in vivo utilizing a ruby laser system, *Acta. Odont. Scand.*, 32: 345-356, 1974.
39. Wertz R.A.: Changes in nasal air flow incident to rapid maxillary expansion, *Angle Orthod.*, 38: 1-9, 1968.
40. Wertz R.A.: Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening, *Am. J. Orthod.*, 58: 41-46, 1970.
41. Wertz R.A.: Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening: a normative study, *Am. J. Orthod.*, 71: 367-381, 1977.
42. Wictorin L., Bjelkhagen H., Abramson N.: Holographic investigation of elastic deformation of defective gold solder joints, *Acta. Odont. Scand.*, 30: 659-670, 1972.
43. Zimring J.F., Isaacson R.J.: Forces produced by rapid maxillary expansion, *Angle Orthod.*, 35: 178-186, 1965.
44. 新井治成: ホログラフィ干渉法による上顎顎外固定装置の作用機序に関する研究, *日矯歯誌*, 44: 288-301, 1985.
45. 김경남: 레이저가 치과구조용 비금속 합금에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대치지*, 22: 781, 1984.
46. 김광호: 각종의 HEAD GEAR를 사용한 정형력이 두개 안면골에 미치는 영향에 대한 광탄성적 연구. *대치교지*, Vol. 16, No. 1: 71-84, 1986.
47. 이종만: CO₂ 레이저조사에 따른 치수강내 온도 변화에 관한 실험적연구. *대한치과보존학회지*, 10: 43, 1984.
48. 전훈식: Laser 조사가 치아 경조직에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대치지*, 24: 261-276, 1986.
49. 조봉재: 상악골 급속 확장시 상악골의 응력 분산과 변위에 대한 유한요소법적 분석. *대치교지* Vol. 15, 43-54, 1985.
50. 황도윤: 외과 영역에서의 Laser의 이용. *인간과학*, Vol. 2, No. 10: 797-804, 1978.

LASER HOLOGRAPHIC STUDY ON THE EFFECT OF FACIAL SKELETON TO MAXILLARY EXPANSION

Jun Sang Park, Won Sik Yang

Dept. of Orthodontics, College of Dentistry

Seoul National University

.....» **Abstract** «.....

The highly accurate laser holographic interferometry method was used to determine in what way low-magnitude forces during maxillary expansion are transmitted to the entire maxillary complex and its surrounding structures.

The experiments were carried out on a dried human skull which had a perfectly preserved, normally aligned maxillary dental arch and intact alveolar process.

The skull was fixed within a constructed metal frame which ensured maximal stability of the object.

The optical equipment and the object were mounted on antivibration table.

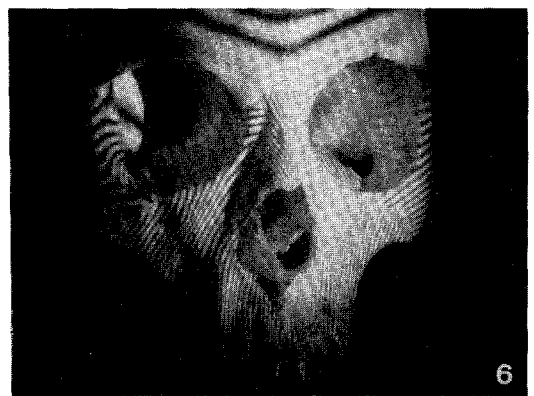
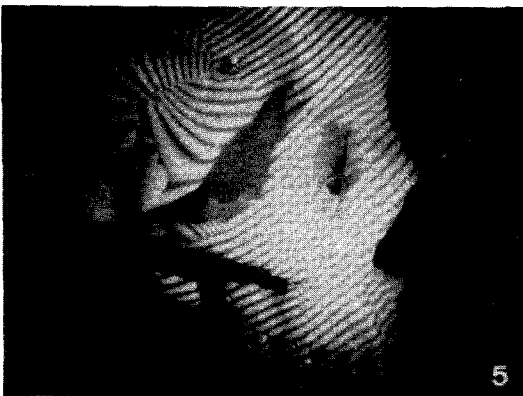
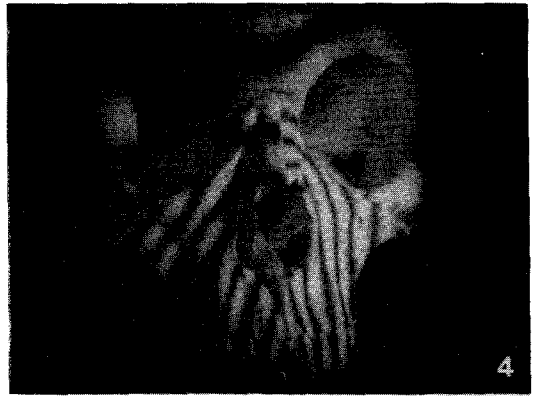
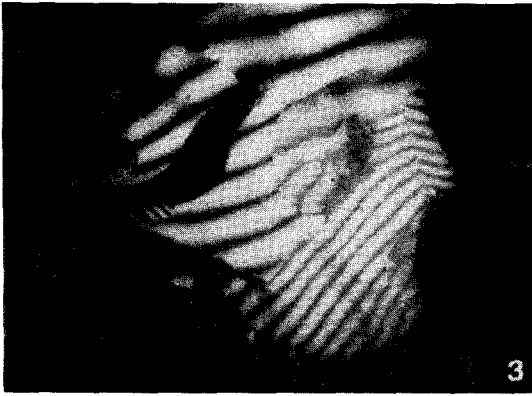
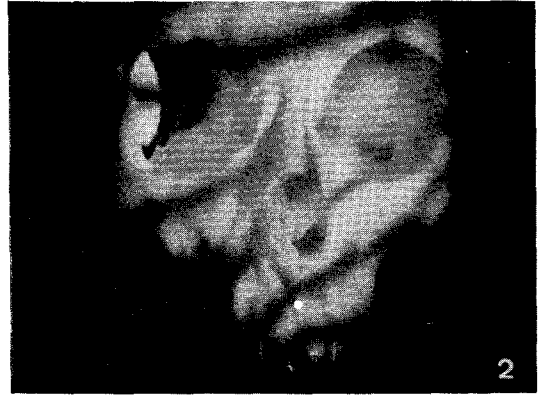
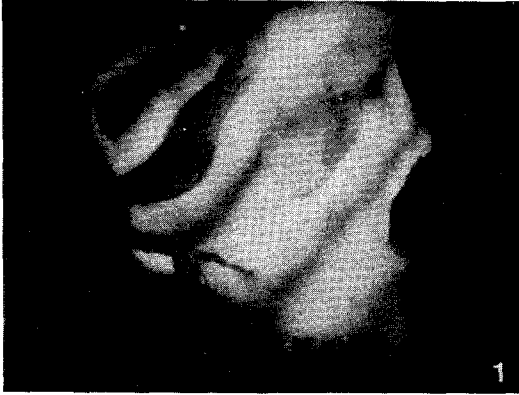
Interferograms were taken on the lateral and frontal sides of the maxillary complex, using the 10mW He-Ne laser and the double-exposure method.

Analysis of the fringe pattern on the recorded object surface was performed by graphically determining the deformation curves related to the bony surface in selected horizontal and vertical planes.

On the basis of this study, the following conclusions can be drawn:

1. The density of the interference fringes was gradually increased with the degree of expansion force.
2. Mechanical reactions on the maxillary complex, circummaxillary sutures, and surrounding bones were clearly visible, even with the lowest loading degree.
3. The amount of bone displacement was greater in application of the force after 90° turn than in initial application of the same force.
4. The direction of interference fringes on the bony surface was similar at all loading degrees.

論文 寫真附圖①



論文 寫真附圖②

