

각종의 HEAD GEAR를 사용한 정형력이 두개안면 골에 미치는 영향에 대한 광탄성적 연구

연세대학교 대학원 치의학과

(지도교수 손병화, 박영철)

김 광 호

I. 서 론

치과교정학분야에서 정형력을 이용한 부정교합의 치료는 오래전부터 시도되어왔으며 그동안 많은 관심의 대상이 되어왔다. 부정교합중 상당수가 단지 치아 관계뿐 아니라 기저골 자체의 이상에 기인하고 있다. 정형력을 사용하여 이러한 근본적인 골격 자체를 변형시킬 수 있다면 치료는 보다 용이하고 치료결과 또한 안정될 것이다. 골격형 II 급부정교합 치료의 주된 목표는 상악악 관계의 개선에 있으며 이경우 대부분 상악에 정형력을 주기 위해서 head gear를 사용한다. head gear는 악외고정장치 (extra oral anchorage)의 일종으로 악외력의 역사는 매우 오래되어 1803년에 Fox와 Cellier⁴⁵⁾가 턱 고정장치를 사용한 이래로 Gunnell, Kingsley, Calvin, Case¹⁶⁾ 등이 head cap을 사용하였으며, 특히 Case⁷⁾은 II 급부정교합 치료에 악외력 사용을 적극적으로 추천하였다. 그후 Oppenheim³⁵⁾, Kloehn²⁸⁾, King²⁴⁾, Fischer¹⁵⁾ 등에 의해 이 방법이 재평가된 이래로 현재에는 임상에서 매우 유효한 치료 수단으로 사용되고 있다. 초기에는 악외력을 이용한 치료가 단지 치아와 기저골에만 영향을 준다는 설과 악외력이 보다 깊숙한 구조물에 전달되어 두개안면부의 성장에 직접 영향을 줄 수 있다는 설이 대립되고 있었으나 Ricketts³⁸⁾는 상악골에 정형력을 주면 구개면이 변할수 있다는 것을 보고 했으며, Sandusky³⁹⁾도 20명의 환자를 cervical traction으로 치료한 후 일정기간 동안 정확한 힘을 연속적으로 가하

면 익상판과 접형골의 위치를 변화시킬 수 있다고 했다. Hinricksen과 Storey²³⁾는 정형력이 봉합선들에 많은 영향을 준다고 했으며, Damon⁹⁾은 high pull head gear로 상악골에 정형력을 주었을때 그 가해진 힘의 방향에 따라 상악골의 위치가 변했다고 보고했다.

정형력이 두개안면골들에 미치는 영향을 증명하기 위하여 금속매식법, 생체염색법, 두부방사선사진을 이용한 방법¹⁰⁾ 등이 사용되었으며 응력분석 (stress analysis)을 위해서는 Strain gauge법, Holography법, 광탄성법, 유한요소법등이 이용되어왔다.^{40, 44)} 특히 최근에는 이론 수치적방법으로서 컴퓨터를 이용한 유한요소법으로 활발한 연구가 행하여 지고 있는데 보철학^{55, 56)}, 교정학^{49, 51, 53)} 분야에서 많은 연구 결과가 보고 된 바 있으며 광탄성법은 실제로 힘을 가하여 응력을 분석하는 방법으로서 관찰하고자 하는 물체의 전표면에서의 응력분포를 측정할 수 있고 주응력의 방향, 응력의 크기등을 쉽게 알수 있는 장점을 가지고 있다. 광탄성법이 치의학분야에 소개되면서 이 방법을 이용하여 Zak⁴⁸⁾는 치조골 안에서의 교정력의 영향에 대해 연구했고, Caputo와 Standlee⁶⁾는 치아 구조물 위에서 pin의 효과에 대해 보고 했으며, Nikolai와 Schwiker³³⁾는 치근과 치주조직 접촉부위에서의 응력에 대해 연구했다.

Chaconas, Caputo, Davis⁸⁾는 광탄성 물질을 처음으로 악외력의 연구에 사용했으며 근래에는 De Alba¹⁰⁾등이 chin cap사용시 하악골 내에 발생하는 응력을 광탄성법으로 연구한 바 있다. 국내에서도

보철학^{50, 52, 54)} 분야에서는 광탄성법을 이용한 많은 연구가 있었으나 교정학분야에는 최소한 실정이며 최근 교정학분야에서 head gear를 사용한 상악골의 전방견인⁴⁹⁾ 및 후방견인⁵¹⁾에 대한 역학적분석을 유한요소법으로 연구하여 보고한 바 있으나 광탄성법을 이용한 연구는 최소한 실정이므로 이에 저자는 각종의 head gear를 사용하여 상악골에 정형력을 주었을때 두개안면골에 미치는 응력을 광탄성법을 이용하여 비교 분석한 결과 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 방법

가. 연구재료

실험 모형의 제작을 위해 제 2 대구치의 맹출시기에 해당하는 인간의 견조두개골을 사용하였다. 먼저 치아와 치아를 포함한 치조골 및 구개골을 두개골로 부터 분리하여 이들과 유사한 광탄성물질로 재현시켰다. 치아는 wax로 조각해서 개개치아의 음형을 silicone rubber (Rhordorsil, Germany)로 제작한 다음 치아와 유사한 높은 재료계수(Young's modulus ; 420,000psi)를 가진 epoxy based plastic (PL-1, Photolastic, Inc., U. S. A)을 부어 제작하였다. 치근막을 재현시키기 위해서 치근에 wax를 얇게 바른후 silicone 음형을 제작하였다. urethane based material(solithane)을 이 음형에 부은후 wax

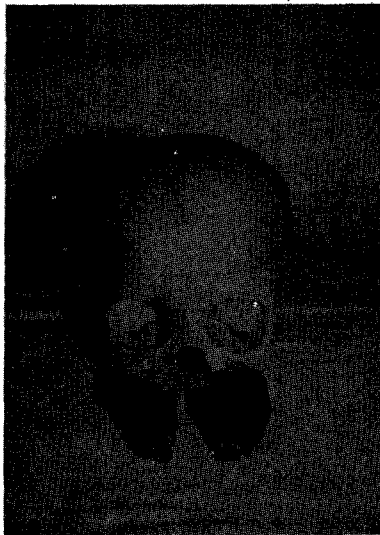


Fig. 1. 상악치아와 치조골, 구개, 전비극 부위를 포함한 상악골을 광탄성 물질로 재현시킨 모습.

를 제거한 치아를 음형에 삽입시킨 다음 경화시켜서 치근막과 유사한 solithane막으로 싸인 plastic치아를 완성시켰다. 이 완성된 치아를 분리한 상악골에 위치 시킨다음 mold용 silicone rubber (Shin Etsu 1402, Japan)를 사용해서 음형을 제작하였다. 음형이 완성된 후 치아를 위치시킨 상태에서 골과 재료계수가 유사한 광탄성 재료(Young's modulus;30,000psi)인 PL-2(Photolastic, Inc., U. S. A)를 부어서 치근막을 가진 치아를 포함한 상악골을 재현시켰다. (Fig.1 참조)

그후 이 모형을 골과 유사한 재료계수 (Young's modulus ; 30,000psi)를 가진 접착제 (PC-6, Photolastic, Inc., U. S. A)로 원래의 두개골에 초기 경화시까지 정확한 관계를 유지하도록 주의하면서 접착시켰다. 24시간이 지나 완전경화후 여분의 접착제를 제거하고 모형을 pumice와 물로 깨끗이 세척하였다. 다음에 두개골 표면에 광탄성물질 coating을 위한 sheet를 제작하기 위하여 PL-8(Photolastic, Inc., U. S. A) photoelastic liquid를 사용하여 미리 준비된 casting plate에 광탄성 재료(PL-8)를 부었다. 1½~2시간 정도 지나서 손으로 들어 올릴수 있을 정도로 연화된 상태인 semi-polymerized 된 두께 1.5mm sheet를 coating하려는 부분에 손으로 적당한 압력을 가하면서 부착하였다. 봉합선을 경계로 해서 두개골의 각 부분별로 시편을 만든다음 불필요한 부분은 가위로 잘라내고서 그 상태를 유지하며 상온에서 24시간이 경과하도록 해서 완전경화시켰다. 완전히 경화된 광탄성 재료를 두개골 표면에서 떼어낸 후에 좀 더 정확한 모양을 위하여 열에 의한 잔류응력이 발생하지 않도록 물속에서 출동을 사용하여 가공하였다. PC-1 (Photolastic, Inc., U. S. A) 접착제를 용법에 따라 적당량 사용



Fig. 2. 완성된 실험모형.

하여 베어낸 광탄성 재료와 두개골의 접촉될 부분에 골고루 바른후 광탄성 재료를 다시 원래의 부분에 위치시키고 접착제의 두께가 너무 두껍지 않도록(0.01~0.03mm)하고 내부에 기포가 발생하지 않도록 잘 누르면서 접착후 상온에서 24시간 경화시켜서 실험모형을 완성시켰다. (Fig.2 참조)

나. 연구방법

완성된 실험모형의 양측 상악제 1 대구치에 stainless steel band를 하고 0.045인치 double buccal tube를 부착시켰다. face bow는 상악구치의 bodily movement를 위해서 high pull head gear에서는 outer bow가 inner bow에 비해 짧은 것을 사용하였으며 straight pull head gear와 cervical pull head gear에서는 outer bow가 inner bow보다 긴 것을 사용하였다. 정형력의 각도는 high pull head gear에서는 정형력이 교합면과 이루는 각도가 30°, straight pull head gear에서는 교합면에 대해서 0°, cervical pull head gear는 교합면에 대해서 하방으로 23°의 각도를 주었다. 정형력을 가하기 위하여 Dead weight type의 하중장치를 제작하였다. (Fig. 3 참조)

Dead weight type은 정형력을 주는 강철선의 늘어남에 관계없이 계속 일정한 하중을 가할 수 있는 장점이 있다. 버팀대 역할을 하는 강철봉에 맞도록 두개골의 대공(Foramen magnum)에 직경 170mm의 Brass를 가공하여 끼우고 safe-T-poxy를 부어 24시간 경화시켜 고정시켰다. 두개골의 후두부를 받쳐주어 고정효과를 부가시키기 위하여 강철판을 부



Fig. 3. Dead weight type의 하중장치.

착 시켰으며 강철 bar를 끼우는 위치에 따라 정형력의 각도를 조절할 수 있도록 했으며 하중을 가하는 추와 연결된 직경 0.5mm 강철선을 face bow에 연결해서 정형력을 주었다. 정형력은 face bow의 양쪽에 각각 1300g의 후방전인력을 주었으며 이러한 힘을 가하는 동안 모형의 각 부위에서 발생하는 응력에 대한 광탄성적 관찰을 반사식 편광기(Reflection Polariscope Model 631)와 투과식 편광기(Transmission Polariscope Model 060)를 사용하여



Fig. 4. 투과식 편광기.

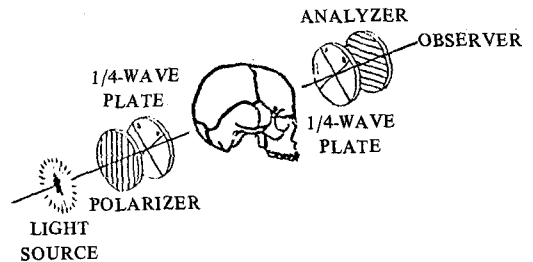


Fig. 5. 투과식 편광기 구조.



Fig. 6. 반사식 편광기.

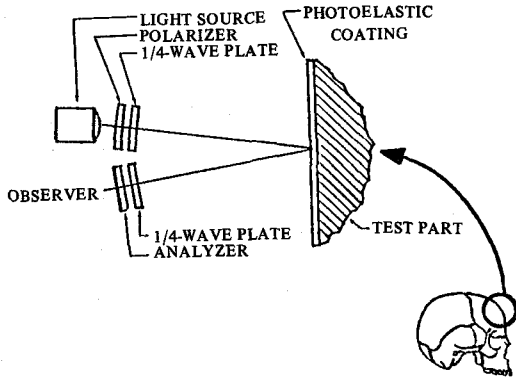


Fig. 7. 반사식 편광기구조.

분석한 후 사진촬영 하였으며 사진의 판독을 돕기 위하여 컴퓨터 (IBM PC-XT) 를 이용하여 도해 (computer graphic) 하였다. (Fig. 4, 5, 6, 7 참조)

III. 연구 성적

상악 치아와 치조골, 구개 (Palate), 전비극 (Anterior Nasal Spine) 부위는 광탄성 물질로 재현시켜 투과식 편광기를 사용하여 응력을 관찰하였으며 나머지 두개안면부위는 광탄성 물질을 coating 하여 반사식 편광기에 의하여 응력을 관찰하였다.

1. 상악치아 (Maxillary Teeth) 에서의 응력

3 종류의 head gear에서 다같이 상악 제 1 대구치에서 가장 큰 응력을 나타내었으며 응력의 크기는 cervical pull head gear에서 가장 크게 나타났고 straight pull head gear, high pull head gear 순으로 감소되었다. cervical pull head gear 사용시 응력은 제 1 대구치의 근심협측치근의 중간 1/3 지점과 원심협측치근의 치근단 부위에서 나타났고 제 2 소구치의 치근단 부위에서도 나타났다. fringe pattern은 제 2 대구치의 치근단에서 원심쪽으로 상악결절부위를 향해 퍼져나갔다. straight pull head gear와 high pull head gear에서도 cervical pull head gear와 같은 부위에서 응력을 나타내었고 다만 제 1 대구치의 원심협측치근에 나타난 응력은 cervical pull head gear에 비해 다소 치관부쪽으로 위치해서 나타났다. (Fig. 8, 사진 1 참조)

2. 접형골의 익상판 (Pterygoid plates of Sphenoid) 에서의 응력

모든 종류의 head gear에서 다같이 강한 응력을 나타냈다. 응력의 강도는 cervical pull head gear에

서 가장 크게 나타났다. fringe pattern은 익상판의 후방만곡 (Posterior Curvature)의 중간부위와, 익상판이 구개골 및 상악골과 만나는 전방접합부 (anterior junction)의 바로 상부에서 시작해서 힘이 증가될수록 접형골의 몸체를 향해 상부쪽으로 진행되어졌다. (Fig. 9, 사진 2 참조)

3. 협골궁 (Zygomatic Arch) 에서의 응력

모든 종류의 head gear에서 다같이 응력을 보였다. 응력은 협골궁의 전방부에서 더 크게 나타났으며 협골측두봉합선의 하연에서 측두골의 협골돌기 (Zygomatic process of Temporal bone)를 따라 후방으로 진행되었다. cervical pull head gear로는 straight pull head gear나 high pull head gear에 비해 측두골의 협골돌기를 따라 더욱 후방에 까지 응력을 나타내었다. (Fig. 10, 사진 3 참조)

4. 상악골이 누골 (Lacrimal Bone) 및 사골 (Ethmoid Bone)과 만나는 부위에서의 응력

모든 종류의 head gear에서 다같이 상악골이 누골과 만나는 하방부위에서와 상악골이 사골의 orbital plate와 만나는 곳에서 응력의 집중을 보였다. 이 두 부위는 응력의 point concentration을 보여 주었고 응력의 강도에 있어서도 3 종류의 head gear에서 거의 동일하게 나타났다. (Fig. 11, 사진 4 참조)

5. 상악골의 전두돌기 (Frontal process of Maxilla)에서의 응력

cervical pull head gear와 straight pull head gear에서만 응력을 나타냈고 high pull head gear로는 응력을 보이지 않았다. 응력은 비누공 (nasolacrimal foramen)의 앞쪽으로 상악골의 전두돌기를 따라서 집중되었으며 힘이 증가될수록 비골 (nasal bone) 쪽으로 퍼져 나갔다. (Fig. 11, 사진 4 참조)

6. 전두상악봉합선 (Frontomaxillary Suture)에서의 응력

cervical pull head gear와 straight pull head gear에서만 인장응력 (Tensile stress)을 보였고 high pull head gear로는 응력을 보이지 않았다. 응력은 봉합선의 전방으로 비골과 근접한 부위에서 시작했으며 봉합선을 따라 후방으로 이동되는 양상을 보였다. straight pull head gear로도 인장응력을 보였지만 강도에 있어서는 미약했다. (Fig. 11, 사진 5 참조)

7. 협골전두봉합선 (Zygomaticofrontal suture)에서의 응력

cervical pull head gear에 의해서만 응력을 보였다. fringe pattern은 봉합선의 중간 부위에 집중되었으며 봉합선의 전방으로 진행한후 전두골(frontal bone)을 따라 상방으로, 협골의 orbital margin을 따라 하방으로 진행되었다. (Fig. 12, 사진 6 참조)

8. 구개(Palate)에서의 응력

cervical pull head gear에 의해서만 구개의 후방 부위에서 응력을 보였다. fringe pattern은 정중구개봉합선(midpalatal suture)과 구개상악봉합선(palatomaxillary suture)이 만나는 지점의 상부에서 시작해서 정중구개봉합선과 평행하게 진행되다 양측 치조골을 향해 측면으로 분산되었다. (Fig. 13, 사진 7 참조)

9. 전비극(Anterior Nasal Spine)하부에서의 응력

cervical pull head gear로는 응력을 보이지 않았고 straight pull head gear와 high pull head gear에 의해서만 응력을 나타내었다. 응력은 전비극하부 상악골간봉합선(intermaxillary suture) 측면에 집중되었으며 straight pull head gear에서 보다 high pull head gear에서 더 큰 응력을 보였다. (Fig. 14, 사진 8 참조)

IV. 총괄 및 고찰

Hellman²¹⁾은 안모의 성장은 교정치료로 영향을 받지 않고 교정치료의 성공이 성장의 영향에 달려 있다고 했으며, Brodie³⁾는 교정치료 결과에 대한 두부측방사선사진을 통한 평가에서 골격형태는 예정되어 있고 교정치료시 실제의 골 변화는 치조골에 국한되어 진다고 했다. 그러나 그 후 Kloehn²⁶⁾은 교정치료가 성장양상에 영향을 줄수있고 정상적인 발육으로 성장방향을 유도할 수 있다는 가능성에 대해서 이야기했으며, Moore³⁴⁾는 II 급부정교합의 치료에서 cervical pull head gear로 안모성장에 좋은 영향을 주었다고 강조하였다. 현재에는 교정치료에서 head gear를 사용하는 것이 보편화 되어있으며 구치의 후방이동이나 anchorage의 보강을 위해서만이 아니라 정형력을 주어서 상악골 자체를 변형시키거나 이동시키는 데에도 사용되고 있다. 교정적 정형력이 상악골체에 미치는 영향에 대해서는 많은 임상적 또는 동물실험이 있어 왔으며^{9, 11, 12, 23,}

^{38, 39)} 따라서 정형력으로 상악골에 직접적인 영향을 줄 수 있다는 것은 널리 알려져 있다. 상악골은 봉합선에 의해서 인접 두개안면골들과 결합되어 있으므로 정형력이 상악골에 미치는 영향은 이러한 인접골들에 전달될 수 있고 따라서 떨어져 있는 다른 부위에도 영향을 줄 수 있다고 사료되었다. 본 실험에서는 상악골에 가해진 정형력이 상악골 및 두개안면골에 전달되는 응력을 측정하는 데에는 광탄성법이 효과적일 것으로 사료되어 이 방법을 사용하였다. 응력분석(stress analysis)의 방법은 크게 나누어 이론 수치적방법과 실험에 의한 방법으로 구분할 수 있는데 이들은 상호보완적인 관계에 있다고 볼 수 있다. 이론적인 방법의 수치해를 구하는 도구로서 유한요소법(Finite Element Method)이 근자에 많이 사용되고 있다. 실험적인 방법에 의한 예를 들면 광탄성법, Brittle-coating법, Holography법, Strain-gage법 등이 있다.^{40, 44)} Brittle-coating법은 측정하고자 하는 표면에 부서지기 쉬운 재질을 도포하고 하중에 의하여 이들이 갈라진 양, 방향에 의하여 변형율의 분포를 관찰하는 것이며 Holography법은 laser를 광원으로 하고 partial mirror를 통과한 두 빛을 사용하여 물체에서 반사된 빛과 또 다른 빛의 간섭에 의하여 물체 표면에서의 변형을 측정하는 것이며 Strain-gage법은 미세한 저항체를 물체 표면에 접착하고 물체의 변형에 의한 저항변화를 이용하여 물체의 변형율을 측정하는 것이다. 광탄성법은 David Brewster(1816)가 편광된 빛을 통하여 유리를 관찰하였을때 아름다운 무늬의 빛깔을 관찰하고서 공학에서 이러한 색깔무늬를 응력의 측정에 사용할 수 있으리라고 제안한 이래로 물리학자 Maxwell, C. Wilson등 많은 사람들에 의해 방법의 개선, 재료의 개발을 통해 현재에 이르렀다.⁴⁰⁾ 이 방법은 광탄성 성질을 가지는 재료로 만들어진 모델을 실제와 같은 방법으로 하중을 가하고 편광기(Polariscope)를 사용하여 편광된 빛을 사용한다. 편광된 빛이 광탄성 물질을 통과할때 모델의 한점에서의 빛은 그 점에서 주응력(Principal stress) 방향으로 분리가 되며 각 성분의 빛은 그 점에서의 주응력 크기에 비례하여 감속된다. 따라서 두 성분의 상대적인 감속(relative retardation)은 그 점에서의 주응력의 차이에 비례하게 된다. 이와같은 성질을 이용하여 응력을 측정하는 방법이다.^{40, 44)} 이상의 모든 방법들은 그 나름대로의 특징을 가지므로 개개의 연구목적에 적합한

방법을 선택하는 것이 중요하다고 사료되며, 본 연구에서는 줄무늬형태(fringe pattern)에 의하여 관찰하고자 하는 물체의 전표면에서의 응력분포를 측정할 수 있고 주응력의 방향, 응력의 크기등을 쉽게 알수 있는 장점을 가진 광탄성법이 매우 효과적이라고 사료되어 광탄성법을 이용하여 상악골 및 두개안면골에 미치는 응력을 측정 분석하였다. 광탄성법의 종류에는 투과식과 반사식이 있는데 투과식은 분석하고자 하는 물체와 똑같은 모형을 광탄성 재료를 사용하여 제작하고 하중을 가하여 fringe를 관찰하는 것으로서 비교적 간단한 모형에 사용되며 높은 치수의 fringe를 얻을 수 있으며 반사식은 실제 물체에 광탄성 재료를 입힌다음 반사된 빛을 이용하여 분석하는 방법으로 비교적 복잡한 모형에 사용되며 물체 표면의 변형율을 측정하는데 유리하다. 두께가 불균일한 물체는 두께 방향으로의 응력변화가 각 지점마다 달라지게 되므로 투과식을 사용하였을때 관찰된 fringe는 두께의 영향이 반영된 것이므로 이를 고려해야만 한다. 일반적으로 이를 고려하려면 3차원 광탄성 방법을 사용하여 응력을 재료 내부에 동결시킨다음 이를 균일한 두께로 절편을 만든 다음 투과식을 사용하여 해석해야만 한다.³⁰ 본 실험에서는 두개골과 같은 복잡하고 두께가 균일하지 않은 모형의 분석에는 반사식이 유리하다고 사료되어 이 방법을 택하였으며 반사식은 분석하고자 하는 대상이 복잡하더라도 균일한 두께의 광탄성 재료를 coating하여 관찰하게 되므로 물체표면의 변형율을 잘 해석할 수 있다. 그러나 치아 및 치조골은 반사식에 의하여 관찰이 불가능하므로 광탄성 재료로 재현시킨 다음 투과식으로 관찰하였다. head gear는 여러가지 목적에 사용되고 있으며 각기 그 목적에 따라 힘의 크기를 다르게 주고 있는데 상악구치를 원심이동 시키기 위해서는 보통 300~500g의 힘을 준다. 상악골의 전방성장을 억제하는 목적으로 사용할때는 일반적으로 300g을 주게되며 상악전치의 설측이동을 위해서는 100~300g 정도의 비교적 약한 힘을 주게된다. 그러나 상악골의 변형을 목적으로 하는 정형력을출 때는 800~1500g 정도의 매우 강한 힘을 적용하고 있다. 힘의 크기는 부정교합의 정도, 성장방향, 조직의 민감도(sensitivity), 장착시간, 환자의 협조도 등에 따라 달라지게 되는데 일반적으로 장착시간이 길면 힘의 크기를 줄일 수 있다고 하며 적어도 하루 12~14시간의 장착시간을 요하고 있다.^{38, 42)} Graber

¹⁷⁾는 400g 이상이거나 혹은 1~2lb(450~900g)의 cervical force가 편측에 전달될때 이 힘은 치아 이동에는 너무 큰 힘으로서 치아이동한계(tooth moving threshold)를 초과하는 것으로서 상악골의 성장을 억제할때 사용되어야 한다고 했으며, Damon⁹⁾은 high pull head gear로서 편측에 3lb의 강한 간헐적인 힘(heavy interrupted force)을 주어서 치아들을 intrusion시킬수 있었고 상악골을 이동시킬수 있었다고 보고 했으며, Hass²⁰⁾는 3~5lb(1360~2270g)의 cervical force를 주어서 상악골의 뚜렷한 이동을 관찰할 수 있었다고 했다. 본 연구의 목적은 상악골의 변형을 초래할 수 있을 정도의 강한 정형력을 주었을때 인접 두개안면골에 전달되는 응력을 연구 분석하는 것이므로 단순한 치아이동이나 고정효과와 보강을 위한 힘보다는 훨씬 큰 힘을 사용하였다. Graber¹⁸⁾는 발육중인 골은 성숙된 골에 비해 외부에서 가해지는 힘을 훨씬 더 잘 받아들이며 최대의 형태변화를 원할때는 급속 성장 시기에 힘을 가해야 한다고 했으며, Woodside⁴⁷⁾에 의하면 어린이들은 유아시기, 아동기, 전사춘기(prepubertal)의 세번의 growth spurt를 갖게되며 여자는 태어나서 12~13세까지, 남자는 18세까지 정형적유도 잠재력(orthopedic guidance potential)이 존재한다고 했다. 본 연구에서도 정형력으로 잘 유도될수 있는 시기인 초기영구치열기의 건조두개골을 사용하였으며 이것은 생체내에서와는 차이가 있겠으나 가능한한 유사한 조건을 가지고 실험을 한다는데 의미가 있다고 하겠다. 상악구치를 정출됨이 없이 원심으로 bodily movement시키려면 교합면과 평행한 방향의 힘이 center of resistance를 통과해야만 하는데 center of resistance는 치근의 중간 1/3지점에 존재한다고 한다. cervical pull head gear 사용하는 가해지는 힘이 교합면과 평행하지도 않고 하방으로 떨어져 위치하며 후하방으로 당기는 힘이 작용하게 되므로 치관의 원심경사(distal tipping)와 정출이 일어난다고 한다.²²⁾

straight pull head gear도 힘의 방향을 교합면과 평행하게 주려고 노력한 것이지만 실제로는 귀의 위치때문에 방향을 제대로 변경할 수 없어서 여전히 후하방의 힘이 작용되고 상악구치의 center of resistance보다 교합면 쪽으로 힘이 작용하게 된다.

Thurrow⁴⁸⁾는 기능적 교합력이 너무 약해서 간헐적이고 약한 힘을 주었을때 발생되는 vertical effect에도 대항하지 못할 경우에는 cervical traction

은 사용하지 않는 것이 좋다고 했다. 본 연구에서는 정형력이 가능한 상악구치의 center of resistance를 통과할 수 있도록 하기 위하여 cervical pull head gear와 straight pull head gear에서는 face bow의 outer bow를 inner bow보다 긴 것을 사용하였으며, high pull head gear에서는 inner bow 보다 짧은 outer bow를 사용해서 outer bow의 위치가 상악제 1 대구치의 전방에 위치하도록 해서 head gear에 의한 견인력이 상악구치의 center of resistance를 통과하게끔 했다. Armstrong¹¹⁾은 high pull head gear는 상악구치의 원심이동과 intrusion을 가져오게되며 따라서 높은 mandibular angle을 가진 II 급부정교합환자에서는 구치의 정출을 방지하는 것이 중요하므로 이 경우 high pull head gear를 사용하는 것이 유리하다고 했다. 본 실험에서는 모든 head gear에서 다같이 상악제 1 대구치에서 가장 큰 응력을 보였으며 응력의 크기는 cervical pull head gear가 가장 크게 나타났고 straight pull head gear, high pull head gear 순서로 나타났다. 이것은 cervical pull head gear가 상악제 1 대구치에 더 많은 경사효과(tipping effect)를 갖는다는 것을 나타내는 것으로서 Armstrong¹¹⁾, 이⁵¹⁾등의 보고와 일치하였다. 또한 이⁵¹⁾는 치근부위의 응력에 있어서 high pull head gear와 straight pull head gear 사용시는 상악제 2 대구치 치근에서 가장 큰 응력을 보였으며 cervical pull head gear에서는 제 1 대구치에서 가장 큰 응력을 보였다고 했으나 본 실험에서는 정도의 차이는 있었으나 모든 head gear에서 다같이 상악제 1 대구치의 근심협축치근의 중간부위와 원심협축치근단부위, 제 2 소구치 치근단부위에서 응력을 보였고 제 2 대구치의 치근단 원심쪽에서 상악결절쪽을 향하여 응력이 확산됨을 보이고 있어 이⁵¹⁾의 보고와 다소 차이가 있었으며 이것은 실험방법의 차이와 힘의 크기의 차이에서 오는 것이라고 사료된다. Wieslander⁴⁶⁾는 혼합치열기의 II 급부정교합환자에게 cervical pull head gear를 사용하여 치료한 결과 상악골 뿐만이 아니라 상악골과 직접 결합된 주위 골들의 성장양상에도 변화를 주었다고 했다. 그는 익돌상악열구(Pterygomaxillary Fissure)의 위치가 후방에서 변화를 보였으며 전비극 (Anterior Nasal Spine)이 전방 이동했고 구개면의 전방부위가 하방으로 변위했다고 했으며 접형골이 시계방향으로 회전했다고 보고했다. Ricketts³⁸⁾도 상악골에 정형력을 주었을때 이 정형력이 접형골의 익상관에

영향을 주어서 위치 변화를 일으킨다고 보고하였으며, 이⁵¹⁾도 그의 유한요소법에 의한 연구에서 cervical pull head gear를 사용한 경우 전비극이 하방 변위를 보였다고 했으며 high pull head gear, straight pull head gear, cervical pull head gear에 있어서 다같이 상악제 2 대구치 원심쪽의 상악결절 부위에서 압축응력을 나타냈다고 보고했다. 임상적으로 상악결절과 함께 접형골의 익상관의 버팀벽효과(Buttressing effect)는 상악복합체에 정형력으로 변화를 주려고 할때 중요한 인자가 되는 것으로서 본 실험에서는 그 정도에 차이는 있었으나 모든 head gear에서 다같이 상악결절과 접형골의 익상관에서 강한 응력을 나타냈으며, 이러한 응력은 익상관의 후방만곡의 중간지점과 익상관이 구개골 및 상악골과 만나는 전방접합부(anterior junction)의 바로 상부에서 시작되었으며 힘이 증가될수록 접형골의 몸체를 향해 상부쪽으로 진행 되어졌다. 본 실험에서는 변위의 관찰은 불가능 하기 때문에 접형골의 회전을 직접 관찰할 수는 없었지만 접형골의 익상관에서의 강한 응력관찰과 접형골의 몸체를 향한 응력의 확산양상으로 미루어보아 이러한 것이 접형골의 회전을 암시하는 것이라고 볼 수 있어서 Wieslander⁴⁶⁾의 보고와 일치한다고 하겠다. Merrifield와 Cross³²⁾는 cervical pull head gear는 협골상악융합선에서는 전단력(shearing force)을, 전두상악융합선에서는 인장력을, 익구개융합선에서는 압축력을 야기시킨다고 결론지었으며, Hinricksen과 Storey²³⁾는 정형력이 융합선들에 많은 영향을 준다고 했으며 인장력하에서는 융합선이 이개된다고 하였다. Sandusky³⁹⁾는 cervical pull head gear로 치료한 환자분석에서 일정기간 지속적인 강한 힘을 주면 익상관과 접형골의 위치를 변경시킬수 있다고 결론지었다. Droschl^{11, 12)}은 동물실험에서 원송이의 상악골에 지속적인 강한 정형력을 주었을때 상악골의 후방이동뿐 아니라 비상악복합체(nasomaxillary complex) 전체가 회전된다고 보고했으며 또한 조직학적 관찰에서 전두상악융합선, 익구개융합선, 협골상악융합선, 협골전두융합선들의 넓이가 커진다고 했으며 특히 전두상악융합선과 협골전두 융합선에서 그러한 현상이 더욱 두드러졌는데 이것 역시 상악골의 회전효과에 기인한다고 보고하였다. 이⁵¹⁾는 cervical pull head gear를 사용한 경우 협골측두융합선 부위에서는 압축응력을 보였으며 협골전두융합선 직하부에서는 인장응력을 보였다고 했으며

high pull head gear에서는 협골전두봉합선 직하부 위에서만 압축응력이 나타난다고 했으며 straight pull head gear에서는 협골전두봉합선 직하부위는 거의 응력을 받지 않았다고 했고 모든 종류의 head gear에서 협골궁의 전반부에 응력이 많이 발생되었다고 보고했다. 본 실험에서는 모든 종류의 head gear에서 협골궁의 전반부와 협골측두봉합선에서 응력을 관찰할 수 있어서 이³¹⁾의 보고와 일치하였으며 cervical pull head gear로 전두상악봉합선에서 인장응력을 관찰할 수 있어서 Merrifield와 Cross³²⁾의 보고와 일치하였으나 high pull head gear로는 협골전두봉합선 부위에서 응력을 관찰할 수 없어서 이³¹⁾의 보고와 차이를 보였다. 또한 본 실험에서 cervical pull head gear 사용시 협골측두봉합선, 협골전두봉합선, 접형골의 익상판, 상악골의 전두돌기(frontal process)를 따라 응력이 발생되었는데 이것은 상악골의 후하방경사를 가리키는 것으로서 이러한 구개면의 후하방경사와 익상판에 나타나는 강한 fringe order는 비상악복합체 전체가 회전하는 경향이 있다는 것을 가리키는 것으로서 Sandusky³³⁾, Droschl^{11, 12)}, Merrifield와 Cross³²⁾ 등의 보고와 일치한다고 하겠다. cervical pull head gear는 straight pull head gear나 high pull head gear보다 더 큰 정형적 변화를 일으킬 수 있다고 했는데 본 실험에서도 cervical pull head gear에 의해 발생하는 응력은 straight pull head gear나 high pull head gear에 의해 발생하는 응력보다 큰 응력을 나타내었다. 또한 응력의 크기에서 만이 아니고 다른 head gear에서는 응력을 보이지 않았던 협골전두봉합선과 구개후방 부위에서도 cervical pull head gear로는 응력을 나타내었다. 비상악복합체의 center of resistance는 협골상악봉합선의 후상방에 위치한다고 하며 치아에서와 마찬가지로 힘이 이 center of resistance와 떨어져 통과하게 되면 회전이 일어나게 된다. 따라서 cervical pull head gear사용시 force vector가 상악골의 center of resistance로부터 더 멀리 떨어져서 통과하게 되므로 더 많은 회전효과를 나타낸다고 보고 있는바 본 실험에서 cervical pull head gear가 다른 head gear에 비해 더 많은 곳에 영향을 주었던 것도 이러한 것에 기인한 것이라고 사료되어진다.²⁾ Meldrum³¹⁾은 상악골은 전하방으로 성장하기 때문에 골성II급부정교합 환자의 치료에는 상악골의 성장과 반대되는 후상방의 힘이 작용하는 high pull head gear가 유

리하다고 했으며 골매식을 통한 그의 동물실험에서 high pull head gear를 사용해서 상악골의 후상방이 동과 구개면의 counter clockwise rotation이 일어났다고 했으며 측두골이 다소 후상방으로 이동했고 협골상악봉합선과 협골측두봉합선 부위에서 implant가 후방으로 이동되었으며 실험동물중 일부는 협골전두봉합선 부위의 implant가 전하방으로 이동해서 두개기저에 대해서 협골이 다소 clockwise rotation하는 양상을 보였다고 했다. 본 실험에서도 high pull head gear로 협골측두봉합선에서 응력을 나타냈으며 측두골의 협골돌기를 따라 응력이 전달되는 양상을 보여서 Meldrum³¹⁾의 보고와 일치하였으나 협골전두봉합선에서는 cervical pull head gear를 사용했을때에만 응력이 나타났고, straight pull head gear와 high pull head gear로는 응력을 나타내지 않아서 차이를 보였다. Kragt²⁹⁾는 전조두개골의 상악골에 cervical traction에 의해 정형적 교정력을 가했을때의 초기 반응을 Hologram에 의해 실험한 결과 협골이 후하방으로 회전했으며 협골의 상부는 하부에 비해 외방(outward)으로 회전해서 협골궁을 포함한 협골전체가 외방으로 미는힘을 받게되므로 복잡한 안면골격에 있어서 협골상악봉합선의 형태와 위치는 직접적으로 중요한 역할을 하게 된다고 결론지었으며 협골궁은 상악골과 협골의 이동에 있어서 대들보와 같은 역할을 해서 버팀벽 효과(Buttressing effect)를 갖게 한다고 보고했다. 본 실험에서는 어떤 head gear에서도 다같이 협골궁에서 강한 응력의 집중을 보여서 Kragt의 실험과 같은 경향을 보였으나 협골상악봉합선에서는 별다른 응력을 관찰할 수 없어서 다소의 차이를 보였으며 이것은 본 실험에서는 협골자체의 회전보다는 비상악복합체 전체가 회전하는 경향을 보였기 때문이라고 사료되어진다. Chaconas⁸⁾는 그의 실험에서 cervical pull head gear로 구개후방부위가 이개 된다고 했으며 high pull head gear로는 전비극의 바로 아래인 cephalometric A점에서 응력의 집중을 보였다고 했다. 이³¹⁾는 그의 보고에서 high pull head gear와 straight pull head gear로 상악전구개의 앞부분에서 압축응력을 보였다고 했으며 cervical pull head gear로도 구개의 후방부위보다 전방부위의 변위량이 컸다고 보고했다. 본 실험에서는 cervical pull head gear로 구개의 후방부위에서 응력의 집중을 보여서 chaconas의 보고와 일치하였으나 이의 보고와는 차이를 보였으며 high pull head gear와

와 straight pull head gear로는 다같이 구개의 전방부위에서 응력의 집중을 보여서 이들의 보고와 일치하였다. 이러한 구개전방부위에 대한 high pull head gear의 영향과 구개후방부위에 대한 cervical pull head gear의 영향은 이러한 두가지 type의 head gear를 임상에서 병용해서 사용하는 것이 효과적이라고 보고한 선학들^{36, 38)}의 주장을 뒷받침하는 것이라고 사료된다. 광탄성법은 변위의 직접 측정은 불가능하지만 분석하고자 하는 물체의 전표면에서의 응력분포 및 응력의 방향, 크기를 비교적 쉽게 알 수 있어서 head gear에 의한 정형력이 두개안면부위에 미치는 영향을 분석하는데에 효과적이었다고 사료되었으며 장차 더 좋은 방법과 재료로 다양한 연구가 시도된다면 임상에 유익한 새로운 결과가 기대될 수 있다고 하겠다.

V. 결 론

각종의 head gear (high pull head gear, straight pull head gear, cervical pull head gear)를 사용하여 상악골에 강한 정형력을 주었을때 상악골 및 두개안면골에 미치는 영향을 투과식 편광기와 반사식 편광기를 사용한 광탄성법으로 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상악구치에는 cervical pull head gear가 가장 큰 경사효과(tipping effect)를 나타냈으며 high pull head gear에서 가장 약하게 나타났다.
2. 응력을 나타낸 모든 부위에서 cervical pull head gear에 의한 응력의 강도가 가장 강하게 나타났다.
3. 협골전두봉합선과 구개후방부위는 cervical pull head gear에 의해서만 응력을 보였다.
4. 전비극 직하부에서는 straight pull head gear와 high pull head gear로만 응력을 보였다.
5. 전두상악봉합선에서는 cervical pull head gear와 straight pull head gear에 의해서 인장응력을 보였다.
6. 접형골의 익상관, 협골궁, 상악골이 누골과 사골의 안와면과 만나는 부위, 상악구치에서는 모든 종류의 head gear에서 다같이 응력을 보였다.

REFERENCES

1. Armstrong, M.M.: Controlling the magnitude, direction and duration of extraoral force, AM. J. ORTHOD. 59: 217-243, 1971.
2. Blueher, W.A.: Cephalometric analysis of treatment with cervical anchorage, Angle orthod. 29: 45-53, 1959.
3. Brodie, A.G., et al.: Cephalometric Appraisal of Orthodontic Result, Angle Orthod 8: 261, 1938.
4. Brodsky, J.F., Caputo, A.A., and Furstman, L.L.: Tooth movement: A photoelastic and histopathologic correlation, AM. J. ORTHOD. 67: 1-10, 1975.
5. Caputo, A.A., Chaconas, S.J., and Hayashi, R.K.: Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction, AM. J. ORTHOD. 65: 250-259, 1974.
6. Caputo, A.A., and Standlee, J.P.: The mechanics of load transfer by retentive pins, J. Prosthet. Dent. 29: 442-449, 1973.
7. Case, C.S.: A Practical Treatise on the Techniques and Principles of Dental Orthopedics. Chicago: C.S. Case and Co., 1908.
8. Chaconas, S.J., Caputo, A.A., and Davis, J.C.: The effect of orthopedic forces on the craniofacial complex utilizing cervical and head gear appliances. AM. J. ORTHOD. 69: 527-539, 1976.
9. Damon, D.H.: A clinical study of extraoral high pull traction to the maxilla utilizing a heavy force: A cephalometric analysis of dentofacial changes, master's thesis, 1970, Department of Orthodontics, University of Washington School of Dentistry.
10. De Alba, J.A., Chaconas, S.J., and caputo, A.A.: Orthopedic effect of the chincup

- appliance in the mandible, AM. J. ORTHOD. 69: 29-41, 1976.
11. Droschl, H.: The effect of heavy orthopedic forces on the maxilla in the growing Saimiri Sciureus (squirrel monkey), AM. J. ORTHOD. 63: 449-461, 1973.
 12. _____: The effect of heavy orthopedic forces on the sutures of the facial bones. Angle Orthod. 45: 26-35, 1975.
 13. Epstein, W.N.: Analysis of changes in molar relationships by means of extraoral anchorage in treatment of malocclusion, Angle Orthod. 48: 63-69, 1948.
 14. Evans, F.G.: Stress and strain in bones, Springfield, Ill, 1957, Charles C Thomas Publisher.
 15. Fischer, B.: Clinical Orthodontics: A guide to the Sectional Method. Philadelphia. W.B. Saunders Co., 1957.
 16. Graber, T.M.: Extraoral force – facts and fallacies. AM. J. ORTHOD. 41: 490-505, 1955.
 17. _____: Current orthodontic concepts and techniques, Philadelphia. W.B. Saunders Co., 1969.
 18. Graber, T.M. and Swain: Current orthodontic concepts and techniques, Philadelphia. W.B. Saunders Co., 1975.
 19. Glickman, I., et al.: Photoelastic analysis of internal stresses in the periodontium created by occlusal forces, J. Periodontal. 41: 30-35, 1970.
 20. Haas, A.J.: Palatal expansion: Just the beginning of dentofacial orthopedics, AM. J. ORTHOD. 57: 219-255, 1970.
 21. Hellman, M.: Growth of the Face and Occlusion of the Teeth in Relation to Orthodontic Treatment, Int. J. Orthodontia. 19: 116, 1933.
 22. Hilgers, D.C.: Personal communication, Department of Orthodontics Loyola University, Chicago, Ill., 1970.
 23. Hinricksen, G.J., and Storey, E.: The effect of force on bone and bones, Angle orthod. 38: 155-165, 1968.
 24. King, E.W.: Cervical anchorage in class II, Division 1 treatment; a cephalometric appraisal, Angle Orthod. 27: 98-104, 1957.
 25. Klein, P.L.: An evaluation of cervical traction on the maxilla and the upper first permanent molar, Angle Orthod. 27: 61-68, 1957.
 26. Kloehn, S.J.: Guiding alveolar growth eruption of teeth to reduce treatment time and produce a more balance denture and face, Angle Orthod. 17: 10-33, 1947.
 27. _____: Orthodontics – Force of persuasion, Angle Orthod. 23: 56-65, 1953.
 28. _____: A new approach to analysis and treatment in the mixed dentition, AM. J. ORTHOD. 39: 161-186, 1953.
 29. Kragt, G., et al: The initial reaction of a macerated human skull caused by orthodontic cervical traction determined by laser metrology, Vol. 81. No. 1 AM. J. ORTHOD. 49-56, Jan. 1982.
 30. Mays, R.A.: A cephalometric comparison of two types of extraoral appliances used with the edgewise mechanism, AM. J. ORTHOD. 55: 195-196, 1969.
 31. Meldrum, R.J.: Alterations in the upper facial growth of Macata mulatta resulting from high-pull headgear, AM. J. ORTHOD. 67: 393-411, 1975.
 32. Merrifield, L.L., and Cross, J.J.: Directional forces AM. J. ORTHOD. 57: 435-464, 1970.
 33. Nikolai, R.J., and Schwieker, J.W.: Investigation of root Periodontium interface stresses and displacements for orthodontic applica-

- tion, Exp. Mechanics, 12: 406-413, 1972.
34. Moore, A.W.: Orthodontic Treatment Factors in Class II Malocclusion AM. J. ORTHOD. 45: 323, 1959.
 35. Oppenheim, A.: Biologic orthodontic therapy and reality, Angle Orthod. 6: 5-38, 69-116, 153-183, 1936.
 36. Poulton, D.R.: A three-year survey of class II malocclusions with and without headgear therapy, Angle Orthod. 34: 181-193, 1964.
 37. _____: The influence of extraoral traction, AM. J. ORTHOD. 53: 8-18, 1967.
 38. Ricketts, R.M.: The influence of orthodontic treatment on facial growth and development, Angle Orthod. 30: 103-131, 1960.
 39. Sandusky, W.S.: Cephalometric evaluation of the effects of kloehn type of cervical traction used as an auxiliary with the edge-wise mechanism following Tweed's principle for correction of class II, Division 1 malocclusion, AM. J. ORTHOD. 51: 262-287, 1965.
 40. Shames, I.H.: Introduction to solid mechanics, Prentice Hall Inc., 1975.
 41. Standlee, J.P., Collard, E.W., and caputo, A.A.: Dentinal defects caused by some twist drills and retentive pins, J. Prosthet. Dent. 24: 192-195, 1970.
 42. Stockli, P.W. and Teuscher, U.M.: Orthodontics current principles and techniques. The C.V. Mosby Company 1985.
 43. Thurow, R.C.: Craniomaxillary orthopedic correction with en masse dental control, AM. J. ORTHOD. 68: 601-624, 1975.
 44. Timoshenko, S.P.: Theory of Elasticity, Mcgrow Hill Ltd., 1970.
 45. Weinferger, B.W.: Orthodontics: A historical review of its origin and evolution. St. wuis, 1926.
 46. Wieslander, L.: The effect of orthodontic treatment on the concurrent development of the craniofacial complex, AM. J. ORTHOD. 49: 15-27, 1963.
 47. Woodside, D.G.: Distance, velocity and relative growth rate standards for mandibular growth for canadian males and females age three to twenty years. Unpublished manuscript, 1969.
 48. Zak, B.: Photoelastische Analyse in der Orthodontischen mechanik, A. Stomatol. 33: 22-37, 1935.
 49. 김주영: Reverse Head gear가 상악골체에 미치는 영향에 관한 유한요소법적분석. 대한치과교정학회지, 15: 7-22, 1985.
 50. 윤성일: 양측성 유리단 국소의치의 설계변화에 따른 광탄성 응력분석에 관한 연구. 대한치과의사협회지, 23: 45-57, 1985.
 51. 이인수: Head gear가 상악골에 미치는 영향에 관한 유한요소법적 분석. 연세치대논문, 1985.
 52. 임정규: 치관보철물의 인접 변연부위에 작용하는 응력에 관한 광탄성학적 분석. 대한치과보철학회지, 12: 15-35, 1972.
 53. 조봉제: 상악골 급속확장시 상악골의 응력분산과 변위에 대한 유한요소법적 분석. 대한치과교정학회지, 15: 43-54, 1985.
 54. 조인호: 총의치 교합형태에 따른 3 차원적 광탄성 응력분석. 대한치과외사협회지, 20: 945-966, 1982.
 55. 하주태: 유한요소법에 의한 Cantilever Bridge의 지대치 및 지지조직의 역학적 반응에 관한 연구. 대한치과보철학회지, 21: 41-57, 1983.
 56. 한무현: 유한요소법에 의한 Telescopic Crown과 지대치 및 지지조직의 역학적 반응에 관한 연구. 경희치대논문집, 4: 241-258, 1982.

Computer Graphic ①

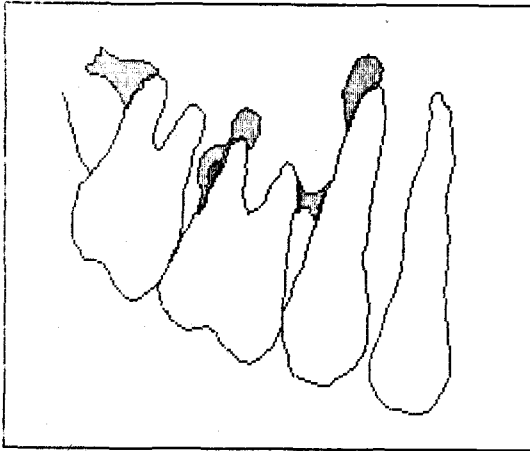


Fig. 8. 상악치아에서의 응력.

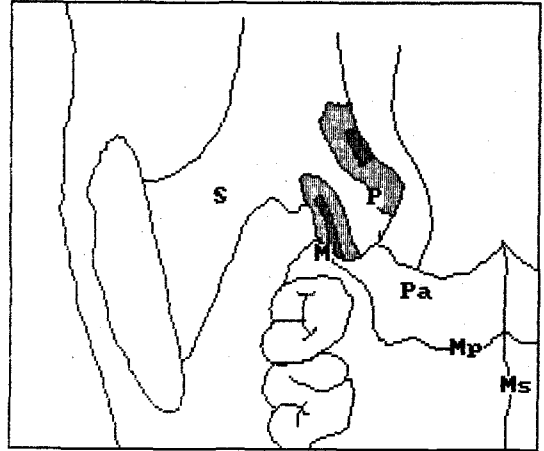


Fig. 9. 접형골의 익상판에서의 응력.
S: Sphenoid bone M: Maxilla

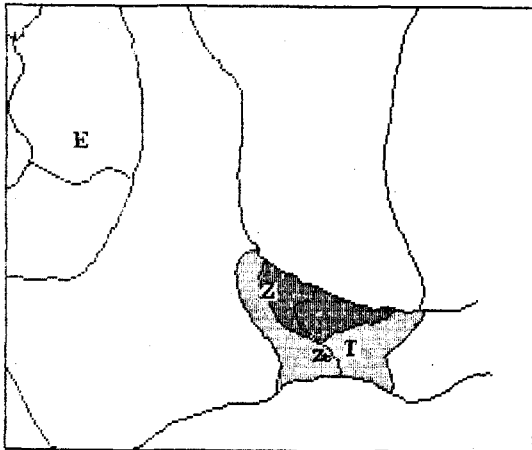


Fig. 10. 협골궁에서의 응력.
Z: Zygomatic bone
Zt: Zygomaticotemporal suture
T: Temporal bone

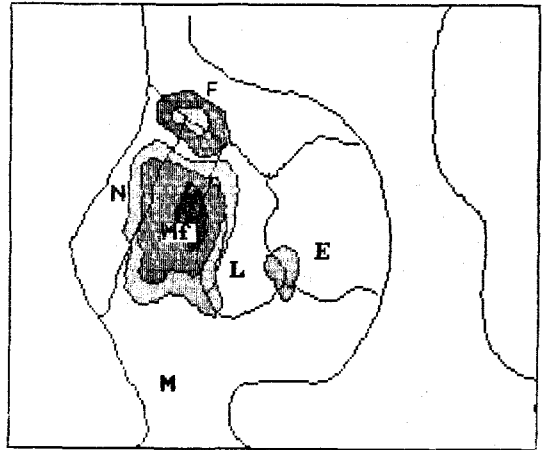


Fig. 11. 상악골이 누골 및 사골과 만나는 부위에서의 응력.
상악골의 전두돌기에서의 응력.
전두상악융합선에서의 응력.
Mf: Frontal process of Maxilla
L: Lacrimal bone E: Ethmoid bone
N: Nasal bone F: Frontal bone

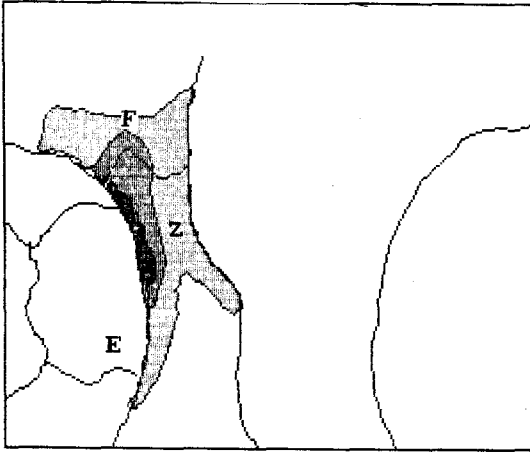


Fig. 12. 협골전두봉합선에서의 응력.
F: Frontal bone
Z: Zygomatic bone

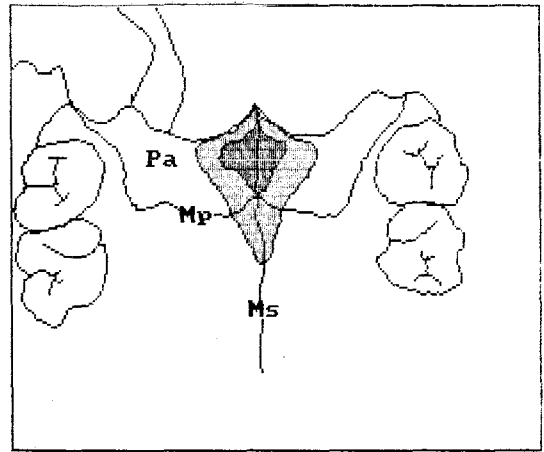


Fig. 13. 구개에서의 응력.
Pa: Palatine bone
Mp: Maxillopalatal suture
Ms: Midpalatal suture

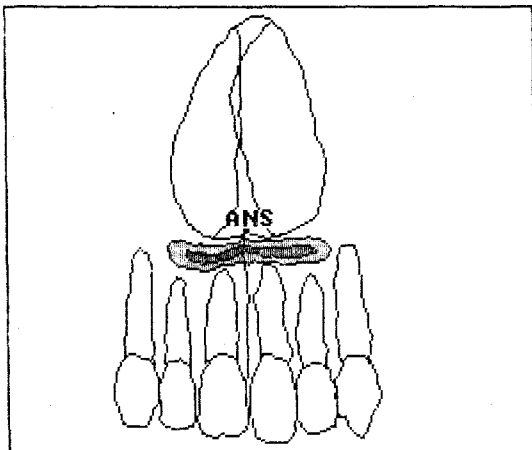


Fig. 14. 전비극직하부에서의 응력.
ANS: Anterior Nasal Spine

— ABSTRACT —

A PHOTOELASTIC ANALYSIS OF THE EFFECT OF ORTHOPEDIC FORCES ON THE CRANIOFACIAL COMPLEX UTILIZING THE THREE KINDS OF THE HEAD GEAR.

Kwang Ho Kim, D.D.S., M.S.D.

Department of Dental Science, Graduate School, Yonsei University
(Directed by Prof. **Byung Hwa Sohn, Yeong Cheol Park, D.D.S., M.S.D., Ph.D.**)

The purpose of this study was to analyze the effect of orthopedic forces on the craniofacial complex utilizing the three kinds of the head gear. (high pull head gear, straight pull head gear, cervical pull head gear)

For this study, the teeth and alveolar bone and palate were reproduced from birefringent materials and other parts of craniofacial complex were coated with birefringent material on the model.

The effect of orthopedic forces on the craniofacial complex was analyzed by photoelastic method using transmission polariscope and reflection polariscope.

The results were as follows :

1. The cervical pull head gear had the greatest tipping effect on the maxillary molars and high pull head gear had the least tipping effect.
2. In areas stressed, the cervical pull head gear stressed the greatest degree.
3. Only cervical pull head gear produced stress at the zygomaticofrontal suture and the posterior region of palate.
4. The straight pull head gear and high pull head gear produced stress at just inferior to the anterior nasal spine.
5. The cervical pull head gear and straight pull head gear produced tensile stress at the fronto-maxillary suture.
6. The pterygoid plates of the sphenoid bone, the zygomatic arches, the junction of the maxilla with the lacrimal and ethmoid bone, and the maxillary molars were affected by three types of head gear.

논문 사진부도 및 설명

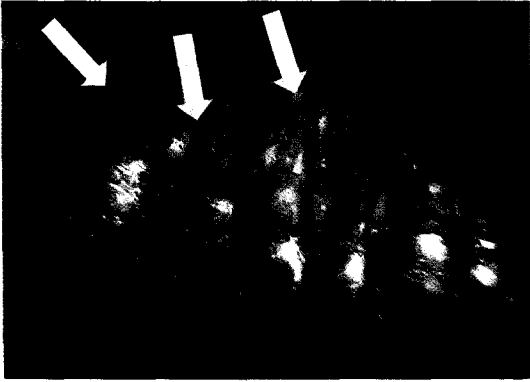


사진 1. 상악치아에서의 응력.

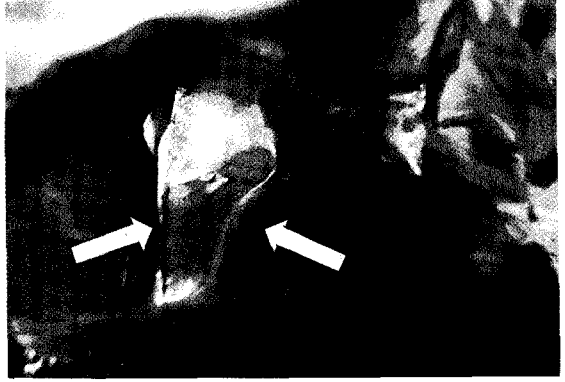


그림 2. 접형골의 익상판에서의 응력.

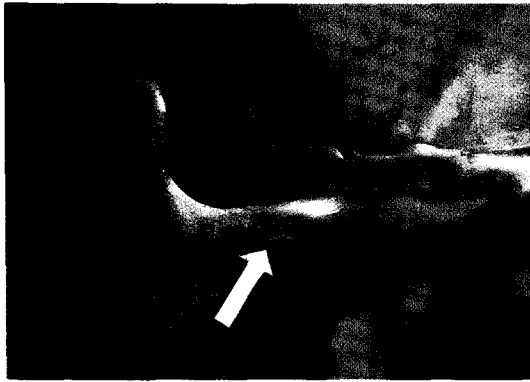


사진 3. 협골궁에서의 응력.

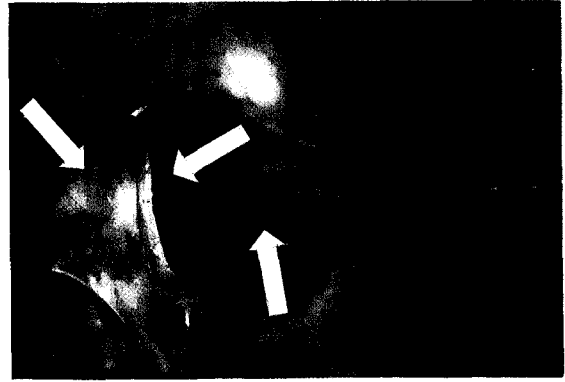


사진 4. 상악골의 전두돌기에서의 응력.
상악골이 누골 및 사골과 만나는 부위에서의 응력.



사진 5. 전두상악융합선에서의 응력.



사진 6. 협골전두융합선에서의 응력.

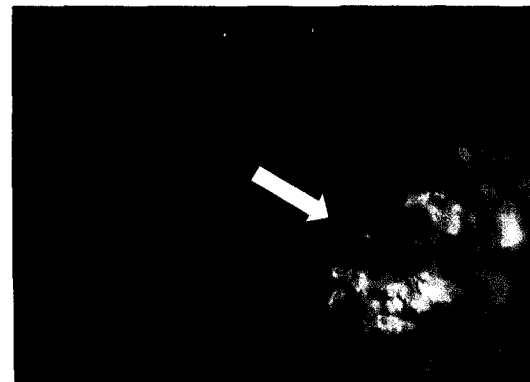


사진 7. 구개에서의 응력.

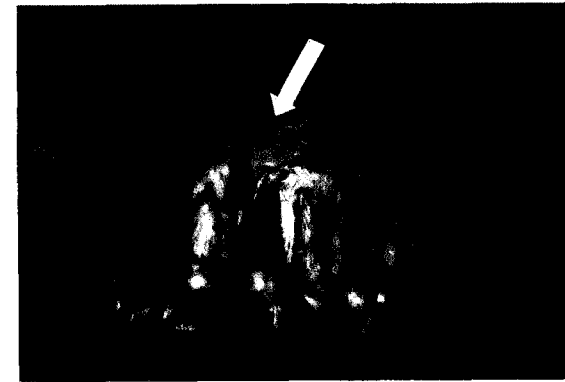


사진 8. 전비극직하부에서의 응력.